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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Омельченко Тарас Юрійович

УДК 656.61.052

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН

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
_____ Омельченко Т. Ю.

Науковий керівник к.т.н., доцент Тюпіков Є.Є.

Одеса – 2018

АНОТАЦІЯ

Омельченко Т. Ю. Удосконалення алгоритмів управління процесом розходження суден. – 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.

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

Проведеним аналізом був одержаний висновок про те, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів попередження зіткнень суден в ситуаціях їх небезпечних зближень в стислих районах плавання.

Здійснено обґрунтування основного напряму дисертаційного дослідження, яким є розробка способу вибору безпечного маневру розходження зміною курсу при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден з урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

В розробленій технологічній карті дослідження викладені мета дисертаційного дослідження та його головна задача, яка представлена трьома незалежними складовими задачами. Запропонована гіпотеза наукового дослідження, та показано, що результатом рішення незалежних складових

задач явилися відповідні наукові результати дисертаційної роботи, яким притаманна наукова новизна, і виділені ті положення дослідження, що одержані вперше.

Відзначена можливість впровадження практичних рекомендацій, одержаних в дисертаційній роботі, чим обумовлені значущість і практична цінність дисертаційного дослідження, а також сформульоване загальне наукове положення роботи.

В окремому підрозділі розглянута загальна методика рішення складових задач дисертаційної роботи, яка являється в першу чергу узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження, а не тільки описом основних етапів його виконання. При цьому отримані теоретичні розробки з використанням сучасних методів аналітичного аналізу та проведено імітаційне моделювання для підтвердження коректності одержаних теоретичних результатів дисертаційного дослідження.

В основній частині дисертаційного дослідження розглянуто залежність параметрів стратегії розходження судна від форми відносної траєкторії розходження, для чого виявлені чинники, які впливають на формування форми, та умови, що визначають реалізацію конкретної форми із можливої множини.

Початок роботи присвячений викладу аналітичних виразів, що зв'язують відносний і істинні курси судна та цілі. Показано, що на залежність відносного курсу від істинних курсів впливає співвідношення швидкостей судна і цілі.

Розглянуто стратегію розходження судна і її характеристику в ситуації небезпечного зближення з ціллю. Наведено оцінку рівня небезпеки зближення суден за допомогою ситуаційного збурення. Показано, що стратегії розходження судна в залежності від значення ситуаційного збурення відносяться до стандартних стратегій або стратегій екстреного розходження. Стандартні стратегії містять дві ділянки і розрізняються ухиленням вправо і ухиленням вліво. Структура стратегій екстреного розходження залежить від поведінки цілі в процесі зближення і в загальному випадку складається з чотирьох типів

стратегії. Розглянуті в роботі стратегії описують весь процес розходження з моменту часу початку ухилення з програмної траєкторії руху до моменту часу повернення на неї після розходження з ціллю.

Крім часткових стратегій розходження запропоновано повну стратегію розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації, яка для базового судна є набором часткових стратегій в залежності від розвитку процесу зближення і поведінки цілі.

Так як для розходження обираються форми істинної траєкторії, а їх параметри залежать від форми відносної траєкторії розходження, то розглянуто зв'язок форм відносної і істинної траєкторій розходження. Показано, що існує дві форми істинної траєкторії стандартної стратегії розходження і в загальному випадку їм можуть відповідати чотири форми відносної траєкторії розходження.

Тому в роботі розглянуто відображення двох елементарних форм істинної траєкторії розходження судна ухиленням вправо та вліво в множину форм відносної траєкторії розходження. Для елементарної форми істинної траєкторії розходження судна ухиленням вправо отримано підмножина з семи ситуацій форм відносної траєкторії розходження, причому кожна із ситуацій містить від однієї до трьох областей незмінною форми відносної траєкторії. Показано, що зміна ситуацій відбувається зі зміною різниці курсів судна і цілі та залежить від швидкостей судна і цілі, причому отримані аналітичні вирази для розрахунку меж зміни суміжних ситуацій. Якщо ситуація містить декілька областей незмінної форми відносної траєкторії, то знайдені залежності для кордонів, що розділяють суміжні області.

Аналогічні результати отримані для елементарної форми істинної траєкторії розходження судна ухиленням курсу вліво. Для обох підмножин ситуацій, що виникають при ухиленні судна вправо і вліво, отримані залежності кордонів між суміжними ситуаціями від відношення швидкості судна до

швидкості цілі, які дозволяють зробити декомпозицію площини ситуації на підмножини самих ситуацій.

В заключному розділі дисертації розглянуто метод оперативного визначення параметрів стандартного маневру розходження судна зміною курсу для випадку, коли швидкість судна більше швидкості цілі і в разі швидкості судна меншої від швидкості цілі. Отримано аналітичні вирази розрахунку значень параметрів маневру розходження з урахуванням різних форм відносної траєкторії розходження. Показано, що курс ухилення судна для безпечного розходження визначається початковою відносною позицією судна і цілі та відносними характеристиками їх руху, а момент часу початку ухилення додатково залежить від інерційних характеристик судна. Також одержані аналітичні вирази для розрахунку параметрів виходу на завдану траєкторію руху. Розрахунок параметрів стратегії розходження проводиться із урахуванням форми її відносної траєкторії. Коректність запропонованого методу вибору маневру попередження зіткнення зміною курсу була підтверджена імітаційним моделюванням процесу розходження в дев'яти різних ситуаціях, в яких відносні траєкторії розходження мали різну форму. Причому за параметрами ситуації небезпечного зближення спочатку розраховувався маневр розходження, коректність якого підтверджувалася його програванням.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в створенні нового методу вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який відрізняється урахуванням форми відносної траєкторії при визначенні параметрів маневру попередження зіткнення.

У дисертаційній роботі було отримано такі наукові результати:

- вперше запропоновано процедуру відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, яка враховує відношення швидкостей судна і цілі, що дозволяє підвищити ефективність розрахунку параметрів маневру розходження суден;

- вперше розроблено спосіб формування повної стратегії розходження суден, який включає системи бінарної координації, що дає змогу обрати безпечний маневр розходження в залежності від поточної ситуації зближення судна та цілі;

- вперше отримано метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна, який враховує форми відносної траєкторії, що забезпечує коректний вибір траєкторії безпечного маневру.

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

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим учбовим закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 04.04.2018 р.), буксирною компанією «ЛБ Шипінг» (акт впровадження від 29.03.2018 р.), крюїнговими компаніями «СМА Шипс Україна» і «Коламбія Шипменеджмент Україна» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден за напрямом «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 17.04.2018 р. та 24.04.2018 р. відповідно). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» (акт від 09.03.2018 р.).

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, локально-незалежне управління, форми траєкторії розходження, повна стратегія розходження.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

Основні наукові результати дисертації.

1. Омельченко Т.Ю. Учет динамики судна при повороте / Омельченко Т.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015. – С. 120-126.

2. Омельченко Т.Ю. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 137-143.

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

4. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Э.Н. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – № 23. – С. 77-84.

5. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 82-85.

6. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество относительных траекторий / Т.Ю. Омельченко, Э.Н. Пятаков, Е.Е. Тюпиков // East European Science Journal, , №11 (27), 2017, part 1. – С. 58-69.

7. Пятаков Э.Н. Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями/ Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, Т.Ю. Омельченко//.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 72-76.

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

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

9. Омельченко Т.Ю. Определение момента времени поворота судна к программной траектории после расхождения/ Омельченко Т.Ю. // XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 декабря 2017г. – Харьков – С. 29-34.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

10. Волков А.Н. Уравнение безопасной области судов/ А.Н. Волков, Т.Ю. Омельченко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 113-115.

11. Омельченко Т.Ю. Процедура оценки предельной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 128-130.

12. Омельченко Т.Ю. Влияние инерционности судна при расчете параметров поворота. // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса: ОНМА, 2015. – С. 134-136.

13. Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С. Минимальная допустимая дистанция сближения судов. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса: ОНМА, 2016. – С. 135-137.

14. Омельченко Т.Ю., Тюпиков Е.Е. Зависимость форм относительной траектории расхождения от формы истинной траектории судна.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУОМА, 2017. – С. 137-140.

ANNOTATION

Omelchenko T. Yu. Perfection of algorithms process control of divergence by the ships. 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.

As a result of review of literary sources, which the analysis of basic directions of decision of problem of decline of accident rate of vessels by providing of safety of navigation is conducted on the base of, it was set that the increase of exactness of control of place of ship and estimation of safety of navigator in the straitened terms, development of methods of design of motion of ship, at sailing in such districts are basic directions of decision of problem of providing of safety of navigation, that is instrumental in their more effective and safe sailing, and warning of collisions of vessels in the off-shore districts of sailing.

The conducted analysis got a conclusion that perfection of methods of warning of collisions of vessels in the situations of their dangerous rapprochements in the straitened districts of sailing is central direction of decision of the indicated problem.

The ground of basic direction of dissertation research which development of method of choice of safe maneuver of divergence by the change of course is at locally is carried out - independent process control of divergence of vessels taking into account the form of relative trajectory of divergence.

The purpose of dissertation research and his main task which is represented by three independent component tasks is expounded in the developed technological card of research. The hypothesis of scientific research is offered, and it is shown that the proper scientific dissertation job performances to which inherent scientific novelty were the result of decision of independent component tasks, and those positions of research, which are got first, are selected.

Noted possibility of introduction of the practical recommendations got in dissertation work, what meaningfulness and practical value of dissertation research is conditioned by, and also the formulated scientific general of work.

In separate subsection there is the considered general method of decision of component tasks of dissertation work which is the above all things generalized algorithm of implementation of dissertation research, rather than just by description of basic stages of his implementation. Theoretical developments are thus got with the use of modern methods of analytical analysis and the imitation design is conducted for confirmation of correctness of the got theoretical results of dissertation research.

Dependence of parameters of strategy of divergence of ship on the form of relative trajectory of divergence is considered in basic part of dissertation research, what factors, which influence on forming of form, and terms which determine realization of concrete form from the possible group, are exposed for.

Beginning of work is devoted to exposition of analytical expressions which link relative and veritable courses of ship and purpose. It is shown that on dependence of relative course correlation of speeds of ship and purpose influences on veritable courses.

Strategy of divergence of ship and its description is considered in the situation of dangerous rapprochement with target. Estimation of level of danger of rapprochement of vessels is resulted by situation indignation. It is shown that strategies of divergence of ship depending on the value of situation indignation belong or to standard strategies or strategies of urgent divergence. Standard strategies contain two areas and differentiate by deviation to the right and deviation to the left. The structure of strategies of urgent divergence depends on the conduct of purpose in the process of rapprochement and in general case consists of four types of strategy. The strategies considered in work describe all process of divergence from the moment of time of beginning of deviation from the programmatic trajectory of motion to the moment of time of returning on her after divergence with target.

Except for private strategies of divergence complete strategy of divergence of ship taking into account the requirements of the system of binary coordination which for a base ship is the set of private strategies depending on development of process of rapprochement and conduct of purpose is offered.

Because the forms of veritable trajectory get out for divergence, and their parameters depend on the form of relative trajectory of divergence, communication of forms of relative and veritable trajectories of divergence is considered. It is shown that two forms of veritable trajectory of standard strategy of divergence are and four forms of relative trajectory of divergence can answer them in general case.

Therefore in work the reflection of two elementary forms of veritable trajectory of divergence of ship is considered deviation to the right and to the left in the group of forms of relative trajectory of divergence. For the elementary form of veritable trajectory of divergence of ship deviation to the right gets group from seven situations of forms of relative trajectory of divergence, thus each of situations contains to three regions of unchanging form of relative trajectory from one. It is shown that the change of situations takes place with the change of difference of courses of ships and purpose and depends on speeds ships and target, thus the got analytical expressions for the calculation of scopes of change of contiguous situations. If a situation contains a few regions of unchanging form of relative trajectory, dependences for scopes which divide contiguous regions are found.

Similar results are got for the elementary form of veritable trajectory of divergence of ship deviation of course to the left. For both group of situations, which arise up at deviation of ship to the right and to the left, got dependences of scopes between contiguous situations from attitude of speed of ship toward speed of purpose, which allow to do decomposition of plane of situation on group of situations.

The method of operative determination of parameters of standard maneuver of divergence of ship by the change of course for a case is considered in the final section of dissertation, when speed of ship more of speed of target and in the case of speed of ship of less speed of target. Analytical expressions of calculation of values

of parameters of maneuver of divergence taking into account different forms of relative trajectory of divergence are got. It is shown that the course of deviation of ship for safe divergence is determined by relative position of ship and purpose and relative descriptions of their motion, and the moment of time of beginning of deviation additionally depends on inertia descriptions of ship. Also got analytical expressions for the calculation of parameters of output on the set trajectory of motion. The calculation of parameters of strategy of divergence is conducted taking into account the form of its relative trajectory.

Correctness of the offered method of choice of maneuver of warning of collision by the change of course was confirmed by the imitation design of process of divergence in nine different situations, in which the relative trajectories of divergence had a different form. Thus on the parameters of situation of dangerous rapprochement the maneuver of divergence settled accounts at first, correctness of which was confirmed by his playing.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in creation of new method of choice of safe maneuver of divergence of vessels at locally - independent management, which is realized in the computer program, and is differed by the account of form of relative trajectory at determination of parameters of maneuver of warning of collision.

In thesis work the following scientific research findings have been obtained:

- there has been suggested for the first time, the procedure for displaying elementary forms of the actual trajectory of the base vessel in the set of forms of the relative trajectory of passing, in which there is the ratio of vessel speeds and targets taken into account, that allows to increase the efficiency of calculating the parameters of maneuver of vessels passing;

- for the first time, a method for the formation of a complete strategy for vessel passing has been developed, which includes binary coordination systems, which enables to choose a safe maneuver for passing, depending on the current situation of approaching the vessel and targets;

- a method for the operative determination of the parameters of the vessels passing strategy, which includes the forms of the relative trajectory, which provides the correct choice of the trajectory of safe maneuver, has been obtained for the first time.

To the conducted dissertation research quality of practical value, which consists 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 local - independent process control of divergence of ship.

The practical results of the dissertation research are implemented by the private institute of higher education "Institute of Postgraduate Education" "Odessa Sea Training Center" for the training of navigators (implementation act dated January 19, 2018), towing company "LB Shiping" (act of introduction from 29.03. 2018), by the crewing companes "CMA Ships Ukraine" and "Columbia Shipmanagement 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 17.04.2018 and 24.04.2018). Materials of dissertation research are used in an educational process at teaching of discipline of "Providing of navigation safety of sailing" (act from 09.03.2018).

Keywords: safety of navigation, warning of collisions of vessels, local - independent management, forms of trajectory of divergence, complete strategy of divergence.

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

Basic scientific results of dissertation.

1. Омельченко Т.Ю. Учет динамики судна при повороте / Омельченко Т.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015. – С. 120-126.

2. Омельченко Т.Ю. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 137-143.

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

4. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Э.Н. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – № 23. – С. 77-84.

5. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 82-85.

6. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество относительных траекторий / Т.Ю. Омельченко, Э.Н. Пятаков, Е.Е. Тюпиков // East European Science Journal, , №11 (27), 2017, part 1. – С. 58-69.

7. Пятаков Э.Н. Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями/ Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, Т.Ю. Омельченко//.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 72-76.

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

9. Омельченко Т.Ю. Определение момента времени поворота судна к программной траектории после расхождения/ Омельченко Т.Ю. // XXX

Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 декабря 2017г. – Харьков – С. 29-34.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

10. Волков А.Н. Уравнение безопасной области судов/ А.Н. Волков, Омельченко Т.Ю. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 113-115.

11. Омельченко Т.Ю. Процедура оценки предельной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 128-130.

12. Омельченко Т.Ю. Влияние инерционности судна при расчете параметров поворота. // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса: ОНМА, 2015. – С. 134-136.

13. Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С. Минимальная допустимая дистанция сближения судов. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 135-137.

14. Омельченко Т.Ю., Тюпиков Е.Е. Зависимость форм относительной траектории расхождения от формы истинной траектории судна.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : НУ ОМА, 2017. – С. 137-140 .

ЗМІСТ

Стр.

ВСТУП.....18

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ.....23

1.1. Аналіз літератури за проблемою безпеки судноводіння морських суден.....23

1.2. Вибір основного напрямку дисертаційного дослідження..... 43

1.3. Висновки по першому розділу.....44

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ.....45

2.1. Вибір тематики дисертаційного дослідження.....45

2.2. Аналіз методів дослідження дисертаційної роботи.....47

2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження.....51

2.4. Висновки по другому розділу.....53

РОЗДІЛ 3. АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН З УРАХУВАННЯМ СИСТЕМИ КООРДИНАЦІЇ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ.....55

3.1. Залежність відносного курсу K_{ot} від істинного курсу K_o маневруючого судна.....55

3.2. Характеристики стратегії розходження судна в ситуації небезпечного зближення з ціллю.....68

3.3. Повна стратегія розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації.....78

3.4. Форми відносної траєкторії розходження і їх зв’язок з формою істинної траєкторії розходження.....86

3.5. Висновки по третьому розділу.....95

РОЗДІЛ 4. МНОЖИНА СИТУАЦІЙ ВІДНОСНИХ ФОРМ ТРАЄКТОРІЇ РОЗХОДЖЕННЯ СУДНА.....97

4.1. Формування підмножини ситуацій відносних форм для форми іс-

тинної стратегії розходження ухиленням вправо..... 97
4.2. Формування підмножини ситуацій відносних форм для форми істинної стратегії розходження ухиленням вліво.....121
4.3. Висновки по четвертому розділу.....141
РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРКА КОРЕКТНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ.....143
5.1. Метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна.....143
5.2. Використання імітаційного моделювання для перевірки коректності отриманих результатів дисертаційного дослідженняюююю..152
5.3. Висновки по п'ятому розділу.....188
ВИСНОВКИ...……..190
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....…….....193
ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації……..... 209
ДОДАТОК Б. Акти впровадження результатів дисертації.....……...212
ДОДАТОК В. Фрагмент коду імітаційної програми.....218

ВСТУП

Актуальність теми. Найбільшою проблемою безпеки мореплавання в умовах стабільно-зростаючої кількості суден світового флоту є забезпечення безаварійного судноводіння, що базується на підвищенні надійності судноплавства та зменшенні вірогідності аварійних випадків урахуванням різних складових процесу управління судном і призводить до зниження шкоди навколишньому середовищу, поліпшення охорони людського життя на морі і зменшення збитків від морських аварій. Проблема безпеки судноплавства охоплює велике коло питань, які потребують постійного дослідження та їх приведення до сучасних реалій експлуатації торгового флоту. Проте інтенсивне судноплавство, поганий мореходний стан суден та навігаційні перешкоди значно ускладнюють забезпечення безпеки мореплавання (особливо в стислих умовах) і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. За даними страхової компанії «Allianz» в стислих водах відбувається понад 80% всіх навігаційних аварій, що свідчить про недосконалість методів судноводіння в умовах мореплавання.

При плаванні в стислих районах одним із найбільш актуальних аспектів забезпечення безаварійного судноводіння є попередження зіткнень суден (47%), що пов'язане з вдосконаленням методів оцінки небезпеки зближення та оперативного вибору безпечного маневру розходження. Тому розробка способів управління суднами, що небезпечно зближуються, чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання роботи проводилося відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), 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.) та "Дослідження процесів розвитку транспортних технологій морського флоту" (№ ДР 0112U000356, 2016 р.), в якій здобувач виконав окремий підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження являється підвищення безпеки судноводіння.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження є допущення про залежність процесу попередження зіткнень суден від форми відносної траєкторії розходження. Головна задача дослідження полягає у розробці алгоритмів визначення стратегії розходження суден урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

Для вирішення головної задачі дисертаційної роботи методами системного аналізу була проведена її декомпозиція на допоміжні складові:

- розробка методу визначення форми відносної траєкторії розходження в залежності від істинного ухилення та відношення швидкостей судна та цілі;
- розробка методу синтезу відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження;
- формування процедури оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії.

Об'єктом дослідження дисертації є процес розходження суден.

Предметом дослідження є удосконалення методів вибору оптимального маневру розходження суден урахуванням форми відносної траєкторії.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та рішення поставлених задач, у дисертаційному дослідженні були використані наступні методи:

- дедукції при аналізі основних підходів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- експертного оцінювання і системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і при формуванні технології наукового дослідження;

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

- теоретичної механіки для складання рівнянь руху судна;

- комп’ютерного моделювання і математичного аналізу для вирішення рівнянь руху судна і пошуку залежності параметрів руху судна від керуючих впливів;

- математичного програмування і аналітичної геометрії для формалізації залежності форм відносної траєкторії розходження від суттєвих чинників.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в створенні нового методу вибору безпечного маневру розходження суден, що реалізований в комп'ютерній програмі, і відрізняється урахуванням форми відносної траєкторії при визначенні параметрів маневру попередження зіткнення.

У дисертаційній роботі було отримано такі наукові результати:

- вперше запропоновано процедуру відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, яка враховує відношення швидкостей судна і цілі, що дозволяє підвищити ефективність розрахунку параметрів маневру розходження суден;

- вперше розроблено спосіб формування повної стратегії розходження суден, який включає системи бінарної координації, що дає змогу обрати безпечний маневр розходження в залежності від поточної ситуації зближення судна та цілі;

- вперше отримано метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна, який враховує форми відносної траєкторії, що забезпечує коректний вибір траєкторії безпечного маневру.

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

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим учбовим закладом "Інститут післядипломної освіти" "Одеський

морський тренажерний центр" для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 04.04.2018 р.), буксирною компанією «ЛБ Шипінг» (акт впровадження від 29.03.2018 р.), крюїнговими компаніями "СМА Шипс Україна" і "Коламбія Шипменеджмент Україна" для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден по напряму "Судноводіння" з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 17.04.2018 р. та 24.04.2018 р. відповідно). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі при викладанні дисципліни "Забезпечення навігаційної безпеки плавання" (акт від 09.03.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертант самостійно виконав дисертаційну роботу: ним здійснено аналіз основних напрямків вирішення проблеми підвищення безпеки судноводіння та інформаційний пошук о темі дисертаційного дослідження, проведено обґрунтування методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, він розробив метод відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, ним також розроблені необхідні алгоритми, що дозволяють оперативне визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії, здобувачем запропонований спосіб формування повної стратегії розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації та впроваджені результати роботи в виробничий процес. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті положення, які належать автору особисто: процедура формування граничної дистанції допустимого зближення [128], визначення структури повної стратегії розходження суден [129], залежність курсу ухилення базового судна від форми відносної траєкторії розходження [130], принцип відображення форм істинних траєкторій розходження в множину відносних траєкторій [132], використання областей неприпустимих параметрів для вбору сумісного маневру розходження з двома цілями [133], характеристика областей неприпустимих параметрів відносно типу маневру розходження [134], умова формування

межі області неприпустимих параметрів руху судна [136], визначення факторів, які впливають на значення граничної дистанції допустимого зближення [137], аналітичний вираз розрахунку граничної дистанції зближення [139], процедура визначення форми відносної траєкторії від форми істинної траєкторії [140].

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 листоп. 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2016 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листоп. 2017 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.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 грудня 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 14 наукових праць (з них 4 одноосібно), в тому числі: в наукових фахових виданнях, що входять до переліку МОН України - 3 наукові статті [127-129]; в закордонних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [130-133]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 7 наукових доповідей [134-140].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (141 найменування) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 257 сторінок та містить 121 рисунок і 4 таблиці, зокрема: 192 сторінки основного тексту, 16 сторінок списку використаних джерел, 49 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

1.1. Аналіз літератури за проблемою безпеки судноводіння морських суден.

Проведений аналіз літературних джерел щодо проблеми забезпечення і підвищення безпеки судноводіння показав, що найбільш актуальними напрямками рішення цієї проблеми являються:

- розробка теорії і методів попередження зіткнень суден у прибережних районах інтенсивного судноплавства;
- упровадження сучасних інформаційно-управляючих технологій для моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, що сприяє більш безпечному плаванню;
- забезпечення точності контролю місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

Основні напрямки проблеми забезпечення безпеки судноводіння розглянуті в наступних роботах відомих вчених. Так, основоположним питанням забезпечення безпеки судноводіння шляхом підвищення точності контролю місця судна присвячені роботи [1, 2]. В роботі [3] розглянуті питання, присвячені розв'язанню проблем керованості і управління морських суден, а формалізація активного та пасивного гальмування суден викладена в роботах [4, 5], в яких також розглянуто розрахунок їх інерційних характеристик.

Для забезпечення безпеки судноводіння в роботі [6] розглянуто використання сучасних систем автоматичного управління рухом судна, а робота [7] присвячена розв'язанню проблеми безпечного розходження суден. Основні аспекти проблеми попередження зіткнення суден та їх управління в

різних ситуаціях розглянуті у роботах [8, 9], а в роботі [10] викладені питання мореходної безпеки судна.

Значна частина літературних джерел стосовно проблеми забезпечення безаварійного плавання суден присвячена точності визначення його місця та випадковим похибкам [11-30], що є одним із напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих умовах плавання.

Теорія випадкових похибок навігаційних вимірювань викладена у роботі [1], а в роботах [11, 12] розглянуто похибки вимірювань навігаційних параметрів. Вплив точності визначення місця судна на надійність навігації в стислих умовах плавання досліджено в роботі [13].

Можливість забезпечення високої точності визначення місця суден в стислих районах плавання за допомогою методів кореляційної навігації показана в статтях [14, 15], а в роботах [16, 17] приведені дослідження залежності критерію точності радіолокаційної системи оберненого типу від її структури.

Останнім часом поряд з нормальним законом розглядаються інші закони розподілу похибок навігаційних вимірювань. Аналіз вибірок випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів проведено у роботі [18], в якій показана найбільша відповідність статистичного матеріалу законам, відмінних від нормального. Тому обсервовані координати судна розраховані методом найменших квадратів мають ефективність меншу одиниці [19, 20].

Проблема опису систем залежних випадкових величин, як показали дослідження останніх років, може бути розв'язана за допомогою узагальненого розподілу Пуассона [21], а результати дослідження можливості опису систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого розподілу Пуассону з базовим нормальним законом приведені в роботі [22].

Аналізу різних підходів до оцінки точності визначення місця судна супутниковою радіонавігаційною системою присвячена робота [23], яка містить висновок про те, що гіпотеза про розподіл випадкових похибок визначення широти і довготи за нормальним законом не підтверджується.

Закон розподілу вірогідності похибок, які належать суміші нормально розподілених похибок з різною дисперсією, розглядається в роботах [24, 25]. Приведена оцінка ефективності координат судна в разі надмірних вимірювань з урахуванням змішаних розподілів похибок початкової вибірки.

В роботі [26] приведені результати дослідження можливості застосування початкових поправок станції в районі порту Щецін при використанні радіонавігаційної системи DGPS, які показали доцільність їх врахування.

У роботі [27] для оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих районах приведена модель з обмеженістю маршруту у вигляді розподілу частот бічних відстаней від середини фарватеру до його меж. Для розрахунку вірогідності безпечного плавання заданим маршрутом необхідно знати щільність розподілу похибки бічного відхилення судна і тривалість маршруту.

При визначенні місцеположення за системою GPS, як показано у роботі [28], проводиться корекція виникаючих похибок диференціальними методами, однак з часом поправки можуть виявитися недостатніми при збільшенні відстані користувача системи від станції нульового відліку. В роботі проведена оцінка зростання похибки в залежності з відстанню між приймачем системи DGPS і базовою станцією.

У роботі [29] вирішується задача позиціювання судна в заданих координатах за даними сигналів про момент часу рискання і силу подовжнього зносу. Вирішення досягається змінним в часі методом

управління із зворотним зв'язком з урахуванням складової управляючої дії по інтегралу.

Закони розподілу вірогідності, яким можуть бути підлеглі похибки вимірювань навігаційних параметрів, розглянуто в роботі [30]. Досліджено вплив точності і числа ліній положення, закону розподілу їх похибок, а також методу розрахунку координат на точність обсервованих координат судна. Для ліній положення, закон розподілу яких відрізняється від закону Гаусу, одержані аналітичні вирази оцінки ефективності обсервованих координат, розрахованих методом найменших квадратів при надмірних вимірюваннях. З допомогою комп'ютерного імітаційного моделювання підтверджена коректність одержаних аналітичних виразів. Визначені закони розподілу вірогідності для 12 вибірок випадкових похибок навігаційних вимірювань, сформованих в результаті натурних спостережень. Виявилося, що закони розподілу в своїй більшості відносяться до змішаних законів.

Ряд публікацій [31-54] присвячений моделюванню руху судна в стислих умовах плавання, що є одним із домінуючих напрямків наукових досліджень проблеми підвищення безпеки судноводіння.

В роботі [31] для різних типів морських рухомих об'єктів з постійною швидкістю, запропонована загальна математична модель руху в вигляді нелінійного матричного диференціального рівняння, яке визначає вимоги до систем управління морськими рухомими об'єктами. Зазначені вимоги формулюються як задачі оптимального управління.

Робота [32] викладає нелінійну задачу управління морським об'єктом з цілю його утримання в заданій позиції і з заданим курсом. Формування такого закону управління вимагає синтезу алгоритму нелінійного фільтра Калмана з локальними ітераціями, за допомогою якого оцінюється поточний стан об'єкту. Згідно одержаних результатів моделювання, утримання судна

можливе з точністю 4-8 м відносно заданої позиції при стабілізації курсу в межах не гірше 2°.

Розробка методів високоточного управління судном в стислих районах плавання розглянута в роботах [33, 34, 35], причому застосована динамічна модель повороту судна третього порядку з урахуванням часу перекладки пера керма.

Робота [36] присвячена розробці інформаційної системи імітаційного моделювання руху суден зі складними динамічними моделями, що враховують аналітичні залежності від кута кладки керма і оборотів двигуна. Новий тип планування маневрів судна та поточний контроль реалізації заданого маневру зможе забезпечити розглянута система. Передбачено відображати завдані маневри одночасно з фактичним рухом судна та з індикацією прогнозованої траєкторії, яка визначається реальними вхідними даними від датчиків судна.

В роботі [37] відзначається, що існуючі засоби прогнозу руху суден, які успішно використовувались протягом тривалого часу, забезпечують спрощені прогнози та обмежують їх використання в частині термінового поточного відображення руху судна при зміні положення пера керма та обертів двигуна. Тому для безпечного плавання сучасних суден та необхідної точності реалізації криволінійної траєкторії руху судна потрібна розробка більш вдосконалених прогнозних моделей його руху.

Робота [38] присвячена аналізу динамічних моделей обертального руху судна для опису зміни його курсу при повороті. Розглянуто три моделі зміни курсу судна під час його повороту. Перша модель описує зміну курсу судна з незмінною кутовою швидкістю, а друга та третя моделі представлені диференціальними рівняннями другого та третього порядку по змінній курсу. За допомогою натурних спостережень показано, що найбільш адекватною реальному процесу повороту судна є третя модель його обертального руху.

Характеристики сучасних бортових автоматизованих систем призначених для поточної оцінки, прогнозу та оптимізації процесу судноводіння приведені в роботі [39]. В роботі викладено методи прогнозу мореплавства та розглянуто основні принципи вибору судноводієм рішень для забезпечення безпеки при плаванні судна в штормових умовах. Відмічено особливості відображення інформації, наведено технічні характеристики їх функціональних можливостей.

В роботі [40] введені коефіцієнти впливу параметрів математичної моделі судна на його маневрені характеристики, причому визначені коефіцієнти впливу для таких маневрених характеристик, як радіус сталої циркуляції судна, висув, початкова поворотність судна та параметри його одержування.

В роботі [41] пропонується дворівнева система управління рухом швидкісних суден, що складається зі стратегічного і виконавчого рівнів. Визначається структура дворівневої системи та наводиться її склад на прикладі двох типів швидкісних суден. Також викладені підходи щодо проектування підсистем керування системи.

В роботі [42] розглянуто інтелектуальну систему прогнозу руху судна, яка імітує процес навчання автономного блоку керування, створеного за допомогою штучної нейронної мережі. Блок керування аналізує вхідні сигнали та обчислює значення необхідних параметрів маневрування судна в стислих водах. Основною задачею системи являються безперервний контроль навігаційних параметрів судна та прогноз їх значень, також можливе використання результату прогнозу для попередження судноводія про виникаючу загрозу.

Безпілотний морський об'єкт описаний в статті [43], причому дослідження стосується комбінованої моделі руху транспортного засобу, яка враховує навантаження підйомної сили та гідродинамічного характеру.

Також приведеною моделлю враховуються гравітаційні сили та переміщення, опір та сили тяги, підйомні сили та інші гідродинамічні сили. Одним із основних завдань проведеного дослідження являється задача забезпечення високоточного прогнозу положення транспортного засобу, що потребує розробки інтегрованої моделі формування, аналізу та обробки сигналів, які необхідні для точного управління курсом транспортного засобу. Зроблено висновок, що необхідною умовою структури транспортного засобу є обладнання системою стабілізації. В роботі коротко представлена інформація про комплексний підхід проектування рульового управління, системи стабілізації та позиціювання транспортного засобу.

Результати оцінки адекватності прийнятої до розгляду математичної моделі шляхом дослідження впливу додаткових її нелінійних членів на режими руху судна приведені в роботі [44]. Виявлено вплив зміни вітру на біфуркаційну картину. До алгоритму авторульового було введено інтелектуальну складову, що дозволило істотно підвищити його ефективність та подолати певний рівень некерованості судна.

Власні властивості лінійних моделей маневрування суден і настройки моделі повної версії розглядаються в статті [45], в якій представлені нові результати про властивості лінійної динаміки судна. Формулюванню незв'язаних рівнянь руху і рискання другого порядку надається основна увага дослідження, також акцентується увага на нестандартній поведінці їх похідної при виконанні зигзагоподібного маневру. Додатком до настройки моделі повної версії виводиться дуже важливий цикл поведінки судна у області дрейфового рискання при зигзагоподібному маневрі, який регулюється залежними від швидкості константами часу. Якщо будуть використані добре відомі рівняння руху судна наближення першого порядку, то цей і деякі інші залежні ефекти, такі як перевищення кута нахилу, швидше за все, будуть втрачені.

Питання ідентифікації суднових моделей маневрування розглянуті в статті [46]. За допомогою згаданих моделей проводиться дослідження маневреності судна, здійснюється проектування його систем управління рухом, та забезпечується розвиток систем управління судновими тренажерами. В 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, який забезпечує усування похибок, які були внесені під час процесу вимірювання. Ідентифікація параметрів експерименту потребувала використання циркуляції та зигзагоподібного маневру, які виконуються за допомогою імітатору управління судном.

В роботі [47] досліджений багатокритерійний алгоритм для планування траєкторії судна, який представляє новий підхід до рішення проблеми вибору траєкторії для судна, що знаходиться в навколишньому середовищі із статичними і динамічними перешкодами. Алгоритм використовує евристичний метод, так званий Оптимізацією колоній мурашок. Група агентів - штучних мурашок шукає в просторі рішень безпечну, оптимальну траєкторію для судна. Проблема розглядається як багатокритерійна задача оптимізації. Критерії, взяті до уваги при рішенні проблем: безпека шляху, довжина шляху, відповідність міжнародним правилам запобігання зіткненням на море (COLREG) і плавність ходу.

Викладенню теорії управління динамічними об'єктами зі змінними параметрами з позицій синергетики присвячена робота [48], в якій розглянуті нейромережі та їх архітектура, традиційні системи управління та системи із застосуванням нечіткої логіки для управління. Також приведені синтезовані нейромережеві системи управління та наведені приклади нейронного управління.

Метод ідентифікації параметрів моделей маневрування суден з використанням методу рекурсивного найменшого квадрату на основі векторних машин підтримки розглянутий в статті [49]. Серед декількох основних підходів до оцінки моделей маневрування суден переважною є ідентифікація системи в поєднанні з повномасштабним або вільним модельним тестом. В цьому разі програми ідентифікації системи реального часу з використанням рекурсивного методу найменших квадратів застосовуються для он-лайн ідентифікації моделей маневрування суден. Однак цей метод серйозно залежить від об'єктів дослідження і початкових значень ідентифікованих параметрів. Подолання цієї складності досягається використанням інтелектуальної технології, тобто опорними векторними машинами, які проводять оцінку початкових значень ідентифікованих параметрів з кінцевими вибірками. Так як реальні виміряні дані про рух судна класу Mariner завжди включають шум від датчиків і зовнішніх збурень, то дані моделювання симуляції зиґзаґа містять значну кількість білого шуму. Метод Wavelet і декомпозиція емпіричного режиму використовуються для фільтрації даних, спотворених шумом. Порівняння результатів ідентифікації і істинних значень параметрів показує, що ідентифіковані моделі маневрування суден мають хорошу згоду з імітованими процесами руху судна, а приріст розмірів вибірки позитивно впливає на результати ідентифікації.

Робота [50] присвячена моделі керованого об'єкта, яка заснована на використанні нейроних мереж і використовується у більшості сучасних систем управління складними динамічними об'єктами для формування керуючих впливів. До класу так званих невизначених об'єктів в роботі відносяться морські судна.

Послідовне навчання контролера штучної нейронної мережі розглянуто в статті [51], причому контролер призначений для автоматичного

причалювання суден за новою концепцією "віртуальне вікно", яка забезпечує мінімальний за часом маневр швартування. Одержані та узгоджені дані використовуються для навчання двох нейронних мереж по кладці пера керма та реверсу енергетичної установки. Після завершення навчання нейронних мереж проводилася оцінка ефективності пропонованого контролера з допомогою моделювання за методом Монте-Карло. Навчені мережі використовуються для експерименту з моделлю судна. Для забезпечення безпеки судно за допомогою контролера виводиться лише в фінішну позицію на деякій відстані від пірсу. В статті також розглядається доцільність автоматичної допомоги буксира для остаточного виведення судна до пірсу.

Розробці авторульового з використанням принципів нечіткої логіки присвячена стаття [52]. Розглядаються питання адаптації авторульового з урахуванням складної динаміки судна та нелінійності його математичної моделі при випадково змінюваних умовах роботи.

У роботі [53] представлені докладні відомості про навігаційно-інформаційні системи (НІС) судна та зазначається, що їм належить значна роль у забезпеченні безпеки судноводіння. В ній НІС та електронних картах, Наведені характеристики складових частин, функціональні можливості НІС та розглянуто принципи відображення ними інформації.

Синтез алгоритму управління рухом судна при його стабілізації на траєкторії за комплексним економічним критерієм і критерієм точності розглянутий в роботі [54], в якому ураховуються нелінійна модель судна і збурення. Пропонується ідентифікація математичної моделі судна з застосуванням лінійно-квадратичного методу і використанням багато альтернативної фільтрації.

Найбільш ефективною мірою підвищення безпеки судноводіння є попередження зіткнень суден в прибережних районах інтенсивного судноплавства. Роботи [55-85] присвячені питанням вирішення проблеми

попередження зіткнень суден.

В роботі [55] найбільш повно розглянуто різні аспекти вирішення проблеми попередження зіткнень суден, починаючи з аналізу концепцій управління суднами в ситуації небезпечного зближення. Перша концепція пов'язана з локально-незалежним методом управління процесом розходження, при застосуванні якого кожне з суден приймає рішення про власний маневр розходження в рамках вимог МППЗС-72 в частині маневрування суден, виходячи з ситуації зближення з кожною із цілей.

Другою концепцією передбачене повне управління системою суден, що зближаються, зовнішнім управлінцем з урахуванням всіх парних ситуацій зближення суден, який визначає загальну стратегію розходження, що містить їх скоординовані маневри.

Для кожної із концепцій розходження розроблені процедури вибору оптимальних безпечних стратегій розходження, які враховують навігаційні перешкоди і динаміку суден, що маневрують. В роботі приведені результати комп'ютерного імітаційного моделювання запропонованих методів управління суднами при небезпечному зближенні, за якими розглянуті методи являються коректними.

Локально-незалежне управління процесом розходження суден являється основним методом попередження зіткнення в даний час, чим і обумовлена та обставина, що основні дослідження по проблематиці попередження зіткнення суден присвячені розвитку даного методу.

Формування оптимального управління судном при розходженні методами теорії оптимальних дискретних процесів розглянуто в роботі [56]. При вирішенні задачі вважається, що зовнішні збурення відсутні, а швидкості і курси зустрічних суден незмінні. Пошук локально оптимальної безпечної траєкторії розходження судна з цілями проводиться з допомогою ЕОМ. Для рішення задачі використовується апарат теорії оптимальних

дискретних процесів, так як в явному вигляді одержати рішення неможливо через аналітичний тип критерію оптимальності і обмежень.

До перших досліджень проблеми розходження суден також належать роботи [57- 59], в яких розглядалось розходження судна з поодинокої ціллю при відсутності навігаційних перешкод. Приведені аналітичні вирази, що характеризують допустимі області безпечних курсів і швидкостей зустрічних суден. В роботах одержані залежності між істинними і відносними параметрами руху судна при відомих незмінних курсі та швидкості цілі. Рішення задачі одержано методами оптимального управління.

Процес розходження суден, як взаємодія конфліктуючих сторін на ґрунті перетину інтересів економічності руху, формалізується в роботах [60-63]. Спочатку спроба формалізації процесу розходження судна із кількома цілями з допомогою методів теорії оптимального управління розглянута в роботі [60], причому враховуються вимоги МППЗС-72. В роботі за допомогою дворівневої системи управління, яка використовує модель динамічного стану керованого судна, та алгоритму пошуку безпечного маневру прогнозується рух судна і небезпечних цілей при завданих збуреннях і керуючих діях. Виходячи з вибраного критерію оптимальності можна визначити необхідні керуючі дії, з урахуванням формалізованих МППЗС.

Поява теорії позиційних диференційних ігор сформувала новий тип формалізації процесу розходження, який значно доповнив початкову модель, як показано в роботах [61-63]. В приведеній математичній моделі судно і всі цілі розглядаються, як динамічна система, стан якої характеризується фазовим вектором, що змінюється відповідно до диференціальних рівнянь руху. Задача пошуку оптимальних значень стратегії розходження, як і в роботі [60], формалізується в термінах лінійного програмування з лінеаризацією нелінійних навігаційних обмежень, як і за безпекою розходження. Одночасно в роботі [64] також детально викладено

застосування диференційних ігор для аналітичного опису процесу розходження.

В роботах [65, 66] викладено метод нелінійної інтегральної інваріантності, який застосовується для аналітичного опису процесу розходження суден і розробки системи попередження їх зіткнень, чому присвячені роботи [66-70]. В роботі [65] стверджується, що метод нелінійної інтегральної інваріантності забезпечує формування стратегії управління динамічною системою, при якій має місце інваріантність деяких фазових координат керованої системи щодо поточних зовнішніх збурень. В задачі розходження в якості зовнішніх збурень розглядається 2n-мірний вектор швидкостей і курсів зустрічних небезпечних цілей, а інваріантними координатами запропоновані відстані найкоротшого зближення судна з зустрічними цілями. У роботі стверджується, що згаданим методом можна знайти допустиму область безпечних стратегій судна, виходячи з можливих найгірших для процесу розходження значень параметрів руху кожної із зустрічних цілей.

У роботах [67-70] пропонується процедура алгоритмізації МППЗС-72 та врахування їх при виборі однокрокових стратегій розходження. Так як МППЗС-72 застосовується при розходженні тільки пари суден, тобто вони реалізують бінарну координацію, то в згаданих роботах розглянута система парних відносин на множині всіх спостережуваних цілей та запропоновані композиції, породжуваних ними функцій. В результаті визначається ціль, відносно якої потрібно знаходити рішення задачі вибору, і визначається множина цілей, що зближуються з нею.

Питання визначення параметрів маневру безпечного розходження суден з урахуванням їх інерційності при виконанні повороту розглянуто в роботах [71-77], в яких показано використання різні моделі обертального руху судна. Приведена кінематична модель повороту судна з постійною кутовою

швидкістю, яка ускладнюється при формуванні більш адекватних реальному процесу повороту судна моделей шляхом використання диференціальних рівнянь другого та третього порядків відносно змінної курсу судна. В роботі [76 приводяться результати імітаційного моделювання процесу розходження суден з урахуванням їх динаміки, а процедура розрахунку характеристик поворотності судна по матеріалам натурного експерименту запропонована в роботі [77].

Дослідження ситуації небезпечного зближення судна з ціллю представлені в роботах [78-82], в яких визначені умови існування множини безпечних маневрів розходження, а також розглянуто процедуру вибору оптимального маневру по критерію втрат ходового часу, який слід мінімізувати. В згаданих роботах показана залежність стратегії розходження від області взаємних обов'язків суден, що виникла, та яка визначається вимогами МППЗС-72. Показано, що стратегія розходження складається із ділянки ухилення з програмної траєкторії руху та ділянки повернення на неї. Залежно від типу взаємодії суден, що визначається рівнем загрози зіткнення, оптимізація маневру розходження проводиться по різним критеріям оптимальності.

Аналіз результатів імітаційного моделювання процесу розходження суден проведено в роботі [81], який виявив наведені недоліки існуючої системи бінарної координації взаємодії суден, що реалізована в МППЗС-72 стосовно маневрування суден в ситуації виникнення загрози зіткнення.

В монографії [83] розглянуті особливості розходження суден в морі способом зміщення на паралельну лінію шляху. Відмічається, що підвищення ефективності запобігання зіткнень суден може досягатися створенням нових алгоритмів та інтелектуальних систем. В роботі для розходження використовується стратегія зміщення на паралельну лінію шляху під тим або іншим кутом до лінії вихідного курсу. Оптимальна

стратегія розходження вибирається з допустимої множини по комплексному критерію, який враховує вимоги до безпеки, помітності, завчасності та економічності маневру для запобігання зіткнення.

Роботи [84-86] пропонують розробку процедур врахування навігаційних перешкод при визначені параметрів безпечного маневру розходження судна з ціллю. В роботі [84] здійснено аналітичний опис навігаційних перешкод спрямований на їх урахування в разі розрахунку маневру розходження при вирішенні задачі розходження суден, причому встановлено, що навігаційні небезпеки розділяються на три типи: точкові навігаційні перешкоди, лінійні розподілені і складні розподілені навігаційні перешкоди, а в роботі [85] розглянуто рішення задачі урахування лінійної навігаційної перешкоди при розходженні суден. Для ситуації наявності навігаційних перешкод в районі маневрування суден, що зближаються, в роботі [86] одержана умова існування множини безпечних маневрів розходження.

В роботах [87, 88] розглянуто спосіб формування суднової безпечної зони для забезпечення розходження суден при виникненні загрози зіткнення. У них запропоновані математичні моделі, що містять системний облік істотних факторів, впливаючих на розміри безпечної зони, яка орієнтована на практичне використання в процесі плавання судна в різних умовах.

В роботі [89] розглянуті бінарні взаємодії суден, які виникають при їх небезпечному зближенні, їх координованість та ефективність. Запропоновано процедуру та отримано аналітичні вирази для їх чисельної оцінки. Показано, що МППЗС-72 являється бінарним координатором взаємодії пари суден при їх небезпечному зближенні та розглянута їх формалізація. Приведено математичну модель взаємодії групи суден, що небезпечно зближуються, та зовнішнє управління їх процесом розходження.

Роботи [90, 91] детально досліджують питання, пов'язані з ситуацією надмірного зближення суден та їх екстреного маневрування для

розходження. В публікації [90] викладено процедуру формування стратегії розходження суден в ситуації надмірного зближення з позиції прийняття рішення в умовах невизначеності із застосуванням мінімаксних стратегій. Урахування кутової швидкості судна при визначенні параметрів маневру розходження в ситуації надмірного зближення розглянуто в роботі [91].

В роботі [92] розглянуто особливості взаємодії суден при їх небезпечному зближенні, пов'язані з визначенням взаємних обов'язків в процесі розходження. Проведена формалізація бінарної координації, яка регламентує взаємодії суден згідно з МППЗС-72. Для ситуації надмірного зближенні суден при невизначеності їх подальшої поведінки та відсутності координації розроблено стратегію екстреного розходження.

Застосування віртуальних областей для забезпечення плавання в стислих водах розглянуто у роботах [93, 94], причому в роботі [93] приведена процедура відображення віртуальної безпечної області судна на електронній карті. В роботі [94] показано, що основною перевагою віртуальної області, як відображення суднової безпечної зони з простору відносного руху в простір істинного руху, являється можливість її використання для безпечного розходження суден при наявності навігаційних перешкод в разі графічного зображення ситуації зближення на електронній карті.

Як стверджується в роботі [95], індекс ризику зіткнення суден є основним показником попередження зіткнень суден. Проведено аналіз і указуються переваги та недоліки різних методів розрахунку індексу ризику зіткнення суден. Запропоновано модель оцінки ризику зіткнення суден на основі комплексної площини, яка компенсує недоліки моделі оцінки, запропонованої Kearon J. Розрахунок індексу ризику зіткнення, згідно розглянутої моделі, будується для ситуацій мультикоманд суден у вигляді тривимірного зображення просторової кривої індексу ризику. Для реалізації запропонованої моделі потрібен одиночний мікрокомп'ютерний чіп, причому

його доцільно використовувати для системи прийняття рішень по безпечному судноводінню.

У статті [96] контроль і управління рухом судна при його переході між портами розглядається в якості багаторівневої системи, яка керує судновими системами, причому функціональні шари контролю відповідають судновим підсистемам.

Як зазначається в роботах [97-99], процес управління рухом судна являється багатовимірним, а його характеристики є нелінійними і нестаціонарними, причому задача вибору оптимального маневру розходження носить ігровий характер, тому формалізація і рішення цієї задачі являється дуже складним завданням, а в означених роботах показані шляхи його вирішення.

Для судноводіїв безсумнівну важливість має коректна інформація про безпечні траєкторії розходження, особливо, коли в одному районі небезпечно зближуються кілька суден. В роботі [100] розглянуто декілька способів попередження зіткнень суден, таких як УКХ-радіо, радіолокаційні та оглядові. Приведені більш просунуті способи: застосування домену судна, генетичного алгоритму та теорії нечітких множин, які коректні в ситуаціях бінарних взаємодій, але їх застосування утруднене в ситуаціях небезпечного зближення групи суден. Тому в публікації для попередження зіткнень суден запропоновано розподілений локальний Алгоритм пошуку (DLSA), який є розподіленим та передбачає спілкування кількох суден один з одним в межах певної області на УКХ-радіо зв'язку. З допомогою інформації, отриманої від сусідніх суден, алгоритм DLSA обчислює ризик зіткнення.

В статті [101] розглянуто шість методів оптимальної теорії ігор та штучна нейрона мережа синтезу безаварійного управління в ситуаціях небезпечного зближення суден в морі. Показано, що з допомогою застосуванням оптимальних алгоритмів керування методами теорії ігор

можливе визначення безпечної стратегії власного судна при розходженні з цілями для гарної та обмеженої видимості. В роботі, також були розглянуті багатокрокові позиційні некооперативні та кооперативні ігри, а також приведене порівняння безпечного управління судном в ситуації небезпечного зближення за допомогою методів антагоністичної та кооперативної ігор. В роботі наведені приклади комп'ютерного моделювання ситуації зближення судна із вісьмома зустрічними цілями з метою визначення безпечних власних суднових траєкторій розходження.

В роботі [102] представлена базова модель процесу безпечного управління судном у ситуації загрози зіткнення на базі моделі гри N об'єктів, що включає нелінійні рівняння стану та переміні в часі обмеження змінних стану. Якість індексу управління грою запропонована у формах гри інтегральної оплати та остаточного платежу. В першому наближені модель багатокрокової матричної гри у вигляді двоїстої задачі лінійного програмування була прийнята в якості моделі управління процесом розходження. Комп'ютерна програма ігрового управління GSC у програмному забезпеченні Matlab / Simulink була розроблена для визначення безпечної траєкторії власного судна. З метою визначення безпечної траєкторії руху судна у реальній навігаційної обстановці одержані аналітичні результати були перевірені та підтверджені прикладами комп'ютерного моделювання із використанням програми GSC.

В роботі [103] запропонований новий фузі-метод, як додаток до засобів можливості ухилення від зіткнення системи СУРС/АІС. Данні СУРС спільно з даними АІС вводяться в Морську географічну інформаційну систему MGIS (Marine Geographic Information System) для розрахунку даних про область знаходження судна та інерційних сил, що діють на судно. Ця інформація також використовується для визначення захисного кола і небезпечного індексу. З використанням аналітичної моделі морської системи GIS може

бути отримано точне прогнозування часу і позиції зіткнення. Завдяки запропонованому методу оператор СУРС одержує можливість прийняття рішень щодо попередження зіткнення суден.

Зміст автономної суднової системи попередження зіткнення СА (Collision avoidance) викладається в роботі [104], в якій також прведене її теоретичне обґрунтування. Приведено алгоритм розходження суден, що небезпечно зближується, та розглядаються вимоги до автономної навігації з урахуванням чинників, що впливають на процес розходження суден. Представлена в роботі програма базується на використанні штучного інтелекту, причому його методами є логіка фуззі, еволюційні алгоритми, нейромережа та комбінація цих методів.

Робота [105] присвячена вдосконаленню зовнішнього управління рухом суден в районах контролю СУРС, в ній на принципах повного зовнішнього управління процесом розходження суден засновані підходи формування безпечних траєкторій руху суден з допомогою системи експертних знань, які постачаються судноводіям та службам руху суден.

В статті також аналізується процедура планування траєкторій руху суден із використанням спеціалізованих алгоритмів узгодження за допомогою попередніх домовленостей по досягненню рішення, прийнятного для всіх суден, що підпорядковуватиметься правилам запобігання зіткнень, враховує динаміку суден та проведення переговорів для оптимізації траєкторій без втручання зовнішнього управлінця. 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.

Сучасні підходи формування системи координації взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення викладені в роботах [106-108], в яких розглянута система бінарної координації, регулююча 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. Одержані умови, що задовольняють вимогам закону необхідної різноманітності, які полягають в компенсації ситуативного збурення або обома судами, або судном з більшою швидкістю.

В роботах [109-112] розглянуті питання вибору маневру розходження декількох суден методами їх зовнішнього управління в ситуації небезпечного зближення зміною курсів або швидкостей.

Причому використання небезпечної області курсів двох суден для вибору безпечного маневру розходження розглянуто в роботах [113-115], а в роботах [116-119] приводиться процедура вибору маневру розходження трьох суден зміною курсів при їх зовнішньому управлінні.

Спосіб вибору безпечних курсів ухилення суден при зовнішньому управлінні за допомогою областей небезпечних курсів запропоновано в роботі [120]. Показано, що інерційність судна при повороті 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.

Роботи [121-126] присвячені попередженню зіткнень суден методами зовнішнього управління процесом розходження з використанням небезпечної області швидкостей суден.

Роботи [127-140], виконані автором одноосібно або в співавторстві, присвячені методу локально-незалежного управління процесом розходження суден з урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

1.2. Вибір основного напрямку дисертаційного дослідження.

Аналіз літературних джерел по вирішенню проблеми забезпечення безаварійного судноводіння показав, що основним аспектом зниження аварійності суден є попередження їх зіткнень особливо в стислих районах плавання за рахунок розробки нових методів вибору оптимальної стратегії розходження суден з урахуванням сучасних можливостей комп'ютерних інформаційно-управляючих технологій. Вказана проблема є особливо актуальною для суден, що знаходяться в стислих водах, плавання в яких при виникненні ситуації небезпечного зближення потребує урахування як навігаційних перешкод, так и навколишніх суден. Причому виникають ситуації небезпечного зближення трьох і більше суден.

В попередньому підрозділі показано, що основні розробки по проблемі попередження зіткнень суден присвячені локально-незалежному управлінню процесом їх розходження. Швидкоплинна зміна навігаційної ситуації являється особливостями стислих районів плавання, що актуалізує розробки оперативних методів вибору безпечного маневру розходження в разі виникнення ситуації небезпечного зближення. Сучасне комп’ютерне оснащення суднових виробничих процесів та високий рівень використання на судні інформаційних технологій роблять актуальним та перспективним комп’ютерну реалізацію нових методів запобігання зіткнення суден. При управлінні рухом суден в районі дії СУРС в ситуації їх небезпечного зближення використовується повне зовнішнє управління процесом розходження. На сьогодні локально-незалежне управління процесом розходження суден являється панівним, тому для розробки методів оперативного прийняття рішень в ситуаціях виникнення загрози можливого зіткнення доцільно використати принцип формування повної стратегії розходження згідно з вимогами системи координації взаємодії суден при

небезпечному зближенні та розрахунку параметрів стратегії розходження з урахуванням форми відносної траєкторії, чим і обумовлюється вибір напряму досліджень даної дисертаційної роботи.

1.3. Висновки по першому розділу.

У першому розділі здійснено огляд літературних джерел, на базі якого проведено аналіз основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння.

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

На базі проведеного аналізу був одержаний висновок про те, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів попередження зіткнень суден в ситуаціях їх небезпечних зближень.

В розділі запроваджено обґрунтування основного напряму дисертаційного дослідження, яким є розробка способу вибору безпечного маневру розходження зміною курсу при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден з урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

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

РОЗДІЛ 2.
МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ.

2.1. Вибір тематики дисертаційного дослідження.

Аналіз попереднього розділу показав, що попередження зіткнень суден при плаванні в стислих водах являється однією із найбільш важливих проблем забезпечення безпеки судноводіння, а істині та відносні траєкторії розходження не мають однозначного зв’язку, тому в дисертаційному дослідженні запропоновано розробку способу розрахунку параметрів маневру розходження при його локально-незалежному управлінні із урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

Вирішення вказаної задачі потребує, по-перше, дослідження відповідності форми відносної траєкторії формі істинної траєкторії розходження в залежності від різниці курсів суден, що зближаються, та відношення їх швидкостей. По-друге, одержати аналітичні вирази для меж між областями з стійкими формами відносної траєкторії розходження на площині з координатами різниці курсів суден та відношенням їх швидкостей. Розробити процедури розрахунку параметрів маневру розходження в залежності від форми відносної траєкторії розходження, причому одержані процедури слід представити у вигляді комп'ютерної програми, що забезпечить оперативність та простоту способу вибору маневру розходження судна з небезпечною ціллю з урахуванням форми відносної траєкторії.

Отже, проблема попередження зіткнень суден розробкою сучасних способів вдосконалення процесу розходження, що мають комп'ютерну реалізацію, є актуальною і перспективною, що обумовлює вибір теми дисертації в наступній редакції: «Удосконалення алгоритмів управління процесом розходження суден».

Вирішення задачі по вказаній проблематиці потребує розгляду наступних основних питань:

- методами системного аналізу провести декомпозицію головної задачі дисертаційного дослідження на допоміжні складові незалежні задачі;
- одержати аналітичні вирази меж областей з стійкими формами відносної траєкторії розходження суден і розробити процедуру її графічного відображення;
- сформувати спосіб вибору маневру розходження в залежності від форми відносної траєкторії, використовуючи аналітичні вирази розрахунку параметрів маневру;
- для перевірки коректності запропонованого в дисертації способу розходження суден розробити комп'ютерну імітаційну програму програвання вибраного маневру.

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

Розробка методу визначення форми відносної траєкторії розходження в залежності від форми істинної траєкторії розходження та процедури розрахунку параметрів маневру розходження судна з ціллю можуть скласти наукову новизну дослідження.

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

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

Об'єктом дослідження дисертації є процес розходження суден.

Предметом дослідження є удосконалення методів вибору оптимального маневру розходження суден урахуванням форми відносної траєкторії.

2.2. Аналіз методів дослідження дисертаційної роботи.

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

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

Метою дисертаційного дослідження являється підвищення безпеки судноводіння вдосконаленням методів локально-незалежного управління процесом розходження суден розробкою способу врахування форми відносної траєкторії розходження при визначені параметрів його маневру.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято припущення про залежність процесу попередження зіткнень суден від форми відносної траєкторії розходження і можливості його оптимізації урахуванням цієї обставини.

Головна задача дослідження полягає у розробці алгоритмів визначення стратегії розходження суден урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

Для вирішення головної задачі дисертації методами теорії дослідження операцій була проведена її декомпозиція на допоміжні складові задачі. Попереднім аналізом було виявлено, що головну задачу дисертаційного дослідження доцільно представити трьома наступними незалежними складовими задачами:

- розробка методу визначення форми відносної траєкторії розходження в залежності від істинного ухилення та відношення швидкостей судна та цілі.

- розробка методу синтезу відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження.

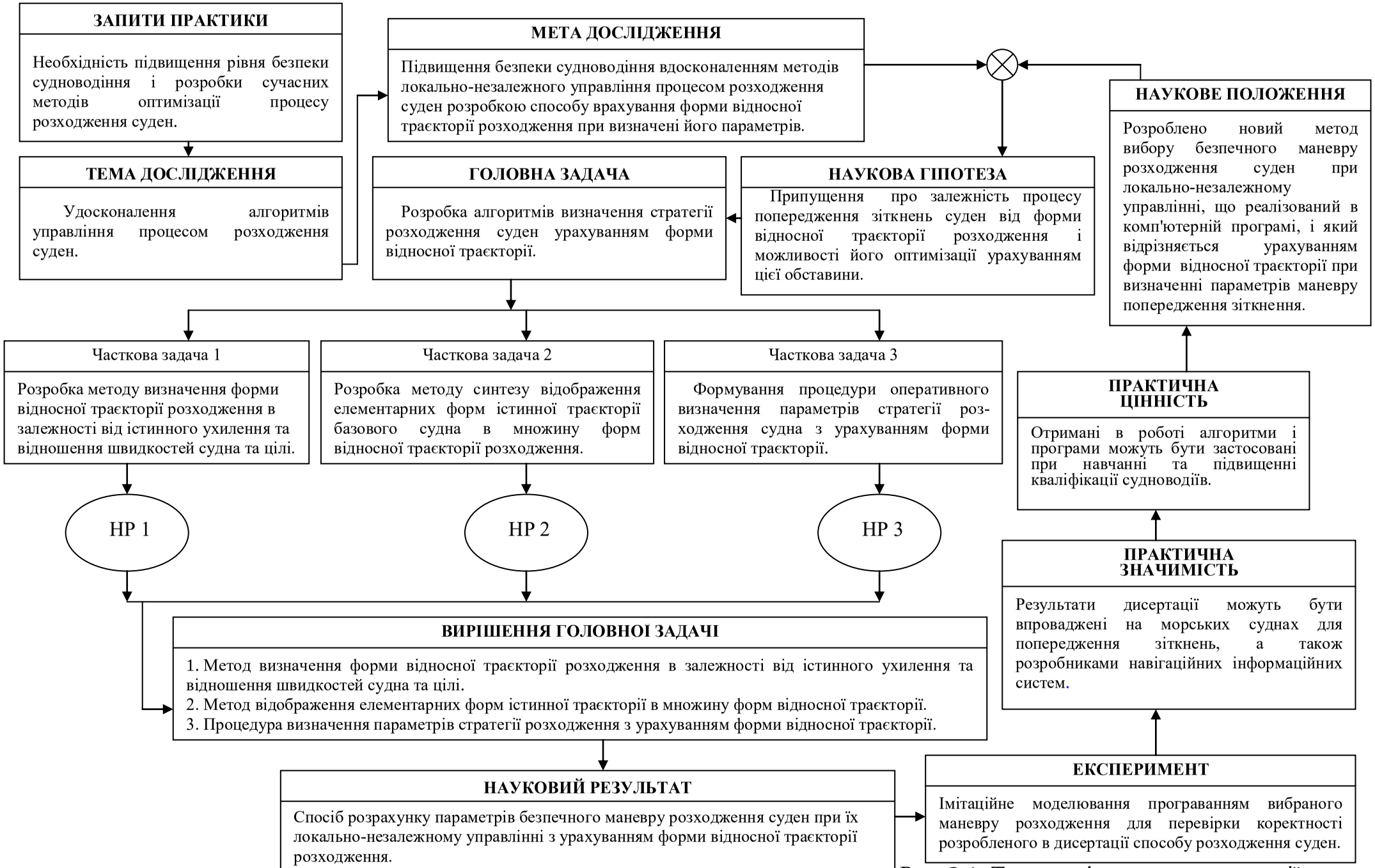


Рис. 2.1. Технологічна карта дисертації

- формування процедури оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії.

Для формалізації першої незалежної складової задачі необхідне використання аналітичної та графічної залежності відносного курсу від істинного курсу судна, що маневрує, для різних значень відношення швидкості судна до швидкості цілі. Спочатку належить показати, що в разі швидкості судна більшої ніж швидкість цілі форма відносної траєкторії розходження співпадає з формою істинної незалежно від параметрів початкової ситуації небезпечного зближення та сторони істинного ухилення.

Потім слід доказати, що в ситуації коли швидкість судна менша ніж швидкість цілі, то одній і тій же формі істинної траєкторії розходження можуть відповідати різні форми відносної траєкторії розходження. Необхідно визначити суттєві чинники, які впливають на залежність між формами відносної та істинної траєкторій розходження. Слід визначити залежність форми відносної траєкторії розходження від сторони істинного ухилення судна та параметрів початкової ситуації небезпечного зближення.

Показати, що можливі чотири форми відносної траєкторії розходження судна з ціллю, які крім значення відношення швидкості судна до швидкості цілі також залежать від різниці їх початкових курсів зближення.

Формування методу відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження є другою незалежною складовою задачею дисертаційного дослідження. За визначенням стратегії розходження її істинна траєкторія може мати лише дві форми: при ухиленні вправо та при ухиленні вліво, в той час, коли відносна траєкторія може мати чотири форми. Тому для кожної форми істинних траєкторій необхідно знайти відображення в множину форм відносних траєкторій в залежності від різниці курсів суден та відношення їх швидкостей. На площині згаданих двох параметрів необхідно виділити області незмінних форм відносної траєкторії розходження і знайти аналітичні вирази меж між областями сталих форм. Для вирішення вказаної задачі

потрібна розробка комп'ютерної програми, яка відображає межі та області, в яких відносні траєкторії розходження мають постійну форму.

Третя складова задача дисертаційного дослідження пов’язана з формуванням процедури оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії розходження. Вирішення цієї задачі передбачує розробку процедур визначення істинного курсу і моменту часу початку повороту судна на ділянку ухилення та інтервалу часу плавання цією ділянкою, причому сторона ухилення та інтервалу часу плавання визначається формою відносної траєкторії розходження. Для завершення вибору маневру розходження слід знайти вирази розрахунку моментів часу повороту для повернення в сторону програмної траєкторії руху судна та часу виходу судна на ділянку програмного руху судна. Також завершення третьої складової задачі потребує розробки комп'ютерної програми, яка містить модулі розрахунку параметрів стратегії розходження та з подальшим його програванням імітаційною програмою для перевірки коректності запропонованого методу з використанням комп'ютерної графіки.

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

- науковим результатом першої складової задачі НР1 є метод визначення форми відносної траєкторії розходження в залежності від істинного ухилення та відношення швидкостей судна та цілі;

- метод синтезу відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження є науковим результатом НР2 другої складової задачі;

- процедура оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії являється науковим результатом НР3 третьої складової задачі.

За допомогою розробленої комп'ютерної програми слід провести імітаційне моделювання для перевірки результатів дисертаційного дослідження в частині коректності розроблених способів вибору безпечного маневру розходження судна з ціллю.

Прийнята наукова гіпотеза припущення про залежність процесу попередження зіткнень суден від форми відносної траєкторії розходження і можливості його оптимізації урахуванням цієї обставини підтверджена одержаними в дисертаційній роботі теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Проведеному дисертаційному дослідженню властива практична значущість, яка полягає у тому, що його результати можуть бути упроваджені на судна для попередження зіткнень, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом розходження судна.

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

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

Розроблено новий метод вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який відрізняється урахуванням форми відносної траєкторії при визначенні параметрів маневру попередження зіткнення.

2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження.

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

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

Другим етапом роботи являється декомпозиція головної задачі дисертації на декілька незалежних складових задач з допомогою методів дослідження операцій, які також забезпечують методологічне обґрунтування дисертаційного дослідження. Надалі крім складових стратегій розходження необхідно досліджувати повну стратегію розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації, яка для базового судна є набором складових стратегій залежно від розвитку процесу зближення і поведінки цілі.

Оскільки для розходження вибираються форми істинної траєкторії, а їх параметри залежать від форми відносної траєкторії розходження, то слід розглянути зв'язок форм відносної і істинної траєкторій розходження. Слід показати, що існує дві форми істинної траєкторії стандартної стратегії розходження і в загальному випадку їм можуть відповідати чотири форми відносної траєкторії розходження.

Необхідно довести, що в ситуації коли швидкість судна менша ніж швидкість цілі, то одній і тій же формі істинної траєкторії розходження можуть відповідати різні форми відносної траєкторії розходження. Визначити суттєві чинники, які впливають на залежність між формами відносної та істинної траєкторій розходження. Слід визначити залежність форми відносної траєкторії розходження від сторони істинного ухилення судна та параметрів початкової ситуації небезпечного зближення.

Черговим етапом виконання дисертаційної роботи є дослідження відображення двох елементарних форм істинної траєкторії розходження судна в множину форм відносної траєкторії розходження. Показати, що зміна ситуацій відбувається із зміною різниці курсів судна і цілі, причому слід розробити аналітичні вирази для розрахунку меж зміни суміжних ситуацій.

Для ситуацій, які містять декілька областей незмінної форми відносної траєкторії, необхідно знайти залежності для меж, що розділяють суміжні області.

Для підмножин ситуацій, що виникають при ухиленні судна вправо і вліво, знайти залежності меж між суміжними ситуаціями від відношення швидкості судна до швидкості цілі, які дозволять провести декомпозицію площини ситуації на підмножину самих ситуацій.

Завершальним етапом роботи є розробка модулю програвання маневру розходження застосованим способом для перевірки коректності процедури вибору маневру розходження в заданій ситуації небезпечного зближення.

2.4. Висновки по другому розділу.

В другому розділі дисертаційної роботи здійснено вибір теми дослідження та його основних напрямків. Також приведена технологічна карта дослідження, в якій розглянута методологічна структура дисертації і приведено її методологічне забезпечення.

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

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

Коротко розглянута методика рішення складових задач, поставлених в дисертаційній роботі, яка представлена окремим підрозділом. Причому приведена методика являється не тільки описом основних етапів виконання наукового дослідження по темі дисертації, але і є узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження, який включає теоретичні розробки з використанням сучасних методів аналітичного аналізу та проведення імітаційного комп'ютерного моделювання, яке підтверджує коректність одержаних методів і процедур визначення параметрів безпечних маневрів розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії.

РОЗДІЛ 3.
АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН З УРАХУВАННЯМ СИСТЕМИ КООРДИНАЦІЇ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ.

У даному розділі приведемо матеріали і методи, які необхідні для розв'язку головного завдання дисертаційного дослідження.

3.1. Залежність відносного курсу K_{ot} від істинного курсу K_o маневруючого судна.

Розв'язок завдань розходження суден пов'язане з визначенням безпечних параметрів їх відносного руху, за якими знаходять параметри їх дійсного руху, тому необхідно мати у своєму розпорядженні аналітичні вираження, які зв'язують відносні і дійсні параметри руху суден.

Позначимо істинний курс маневруючого судна як K_o, а його швидкість – V_o. Аналогічно для судна, яке зберігає незмінний курс, параметри руху позначені K_c і V_c.

Залежність відносних параметрів руху двох суден (курсу K_{ot} і швидкості V_{ot}) від їх істинних швидкостей V_o, V_c і курсів K_o, K_c приведено в роботі [7] і виражається в такий спосіб:

$$K_{ot} = \begin{cases} \psi, \text{при } V_{otx} > 0, V_{oty} > 0, \\ \pi + \psi, \text{при } V_{oty} < 0, \\ 2\pi + \psi, \text{при } V_{otx} < 0, V_{oty} > 0 \end{cases} ; \qquad (3.1)$$

$$V_{ot} = [V_o^2 + V_c^2 - 2V_o V_c \cos(K_o - K_c)]^{1/2},$$

де $\psi = \arcsin[(V_o \sin K_o - V_c \sin K_c)/V_{ot}]$;

$V_{otx} = V_o \sin K_o - V_c \sin K_c$;

$V_{oty} = V_o \cos K_o - V_c \cos K_c$.

Розглянемо закономірності зміни відносного курсу K_{ot} в випадку зміни істинного курсу маневруючого судна при незмінному курсі другого судна.

Найдемо вираз першої похідної відносного курсу по істинному курсу маневруючого судна, тобто $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ і виконаємо його аналіз. З урахуванням виразу (3.1), отримаємо:

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

Враховуючи, що $\psi = \arcsin(\frac{V_{otx}}{\sqrt{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}})$, перша похідна цього виразу приймає наступний вид:

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

Очевидно:

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

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

$\frac{\partial V_{otx}}{\partial K_o} = \dot{X}_k$ і $\frac{\partial V_{oty}}{\partial K_o} = \dot{Y}_k$, отримаєм вираз для похідної, яку шукаємо:

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

або після перетворень:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} = \frac{\dot{X}_k V_{oty} - \dot{Y}_k V_{otx}}{V_{otx}{}^2 + V_{oty}{}^2}, \qquad (3.2)$$

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

В роботі [55] показано, що знак похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ відповідає знаку виразу $V_o - V_c \cos(K_o - K_c)$. Тому при $V_o > V_c$ вираз $V_o - V_c \cos(K_o - K_c)$, як і величина $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$, позитивні для всіх значень K_o. Зміна відносного курсу K_{ot} наведено на рис. 3. 1.

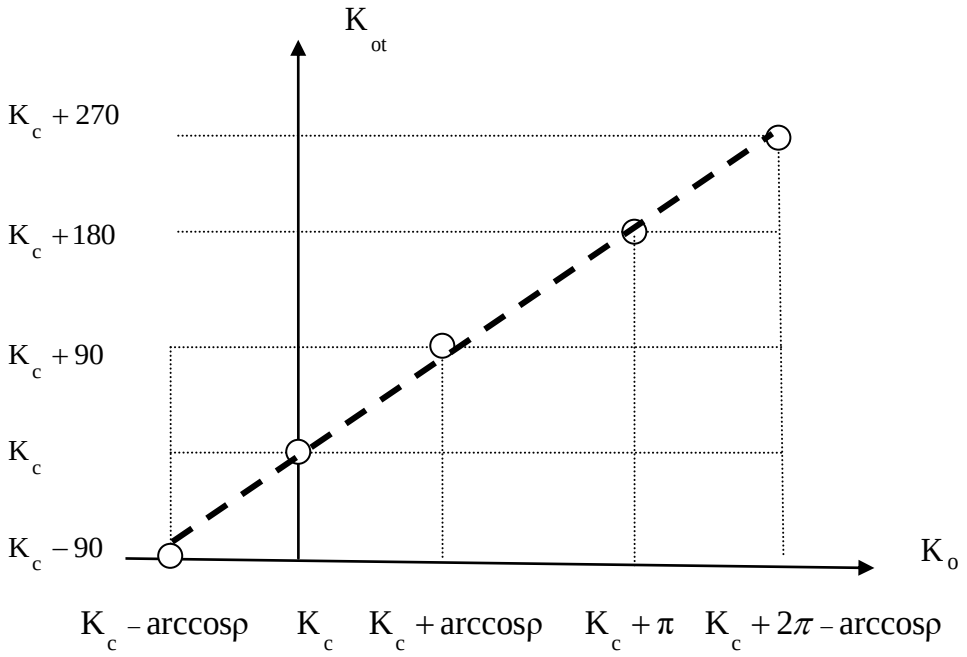


Рис. 3.1. Зміна відносного курсу K_{ot} при $V_o > V_c$

На рис. 3.2 показано, що при $V_o > V_c$ відносний курс K_{ot} може приймати будь-які значення від 0 до 2π. Зокрема відносний курс приймає значення $K_c + \frac{\pi}{2}$ при значенні курсу K_o, рівного $K_c + \arccos\rho$, і значення відносного курсу $K_c + \frac{3\pi}{2}$ досягається при $K_o = K_c - \arccos\rho$, де прийнято позначення $\rho = \frac{V_1}{V_2}$.

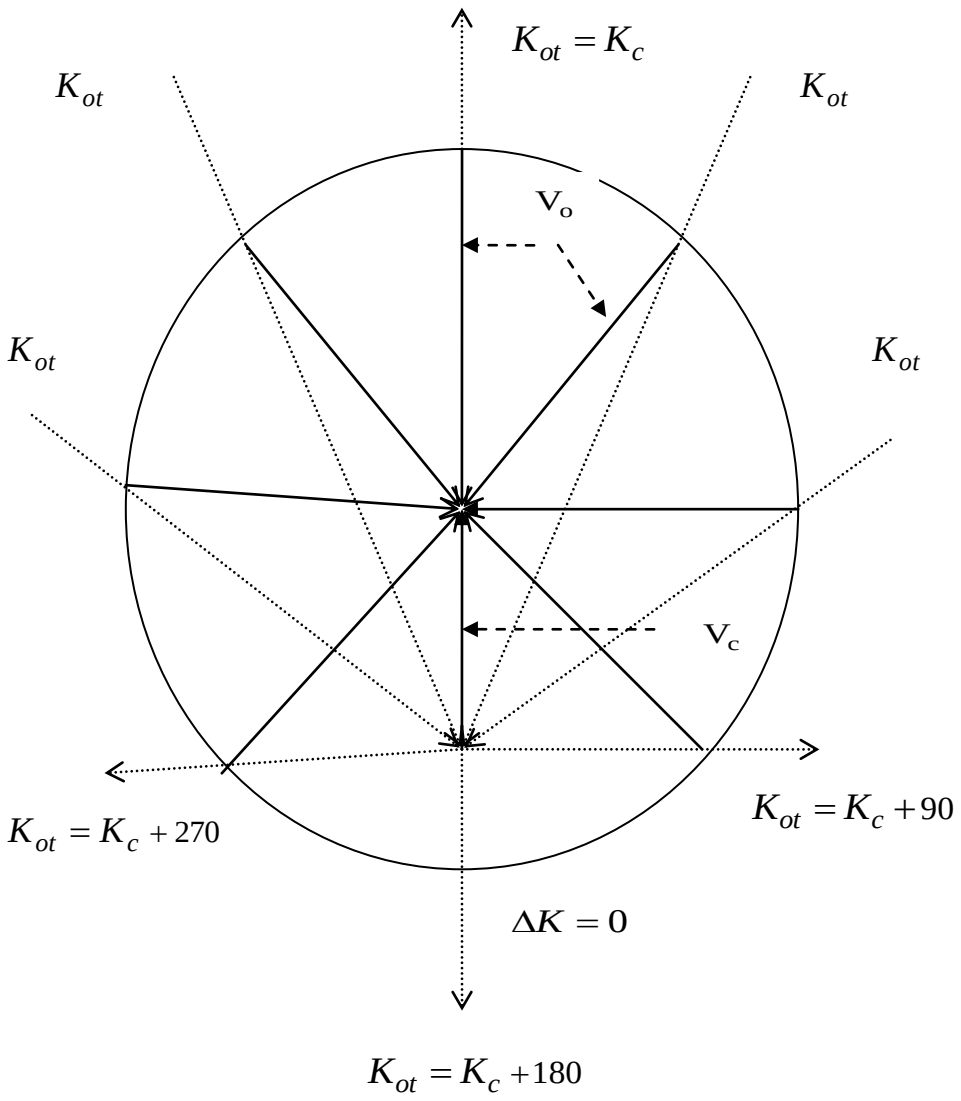


Рис. 3.2. Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу K_o при $V_o > V_c$

Швидкість зміни відносного курсу залежить від значень різниці курсів суден $\Delta K = K_c - K_o$. Тому враховуючи вираз (3.2) отримаємо:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} = \frac{V_c(V_c - V_o \cos\Delta K)}{V_c^2 + V_o^2 - 2\,V_c V_o \cos\Delta K}\ .$$

Звертаєм увагу на те, що екстремальні значення $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ досягаються при $\Delta K = 0$ і $\Delta K = 180$.

Найдемо вираз для $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ при вказаних значеннях ΔK.

Для $\Delta K = 0$ отримаємо:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}(\Delta K = 0) = \frac{V_c(V_c - V_o)}{V_c^2 + V_o^2 - 2\,V_c V_o} = \frac{V_c(V_c - V_o)}{(V_c - V_o)^2},\ \text{або}$$

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}(\Delta K = 0) = \frac{V_c}{(V_c - V_o)}\ .$$

У випадку $\Delta K = 180$ вираз для $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ приймає наступний вигляд:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}(\Delta K = 180) = \frac{V_c(V_c + V_o)}{V_c^2 + V_o^2 + 2\,V_c V_o} = \frac{V_c(V_c + V_o)}{(V_c + V_o)^2},\ \text{кінцева}$$

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}(\Delta K = 180) = \frac{V_c}{(V_c + V_o)}\ .$$

З отриманих виразів випливає, що максимальна швидкість зміни $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ досягається при $\Delta K = 0$, а мінімальна – при $\Delta K = 180$.

У випадку $V_o < V_c$, тобто швидкість маневруючого судна менша за швидкість другого судна, вираз $V_o - V_c \cos(K_o - K_c)$ і перша похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ може мати як позитивні, так і негативні значення, а область значень K_{ot} обмежується екстремальними значеннями, котрі позначені K_{otmin} і K_{otmax}, як показано на рис. 3.3.

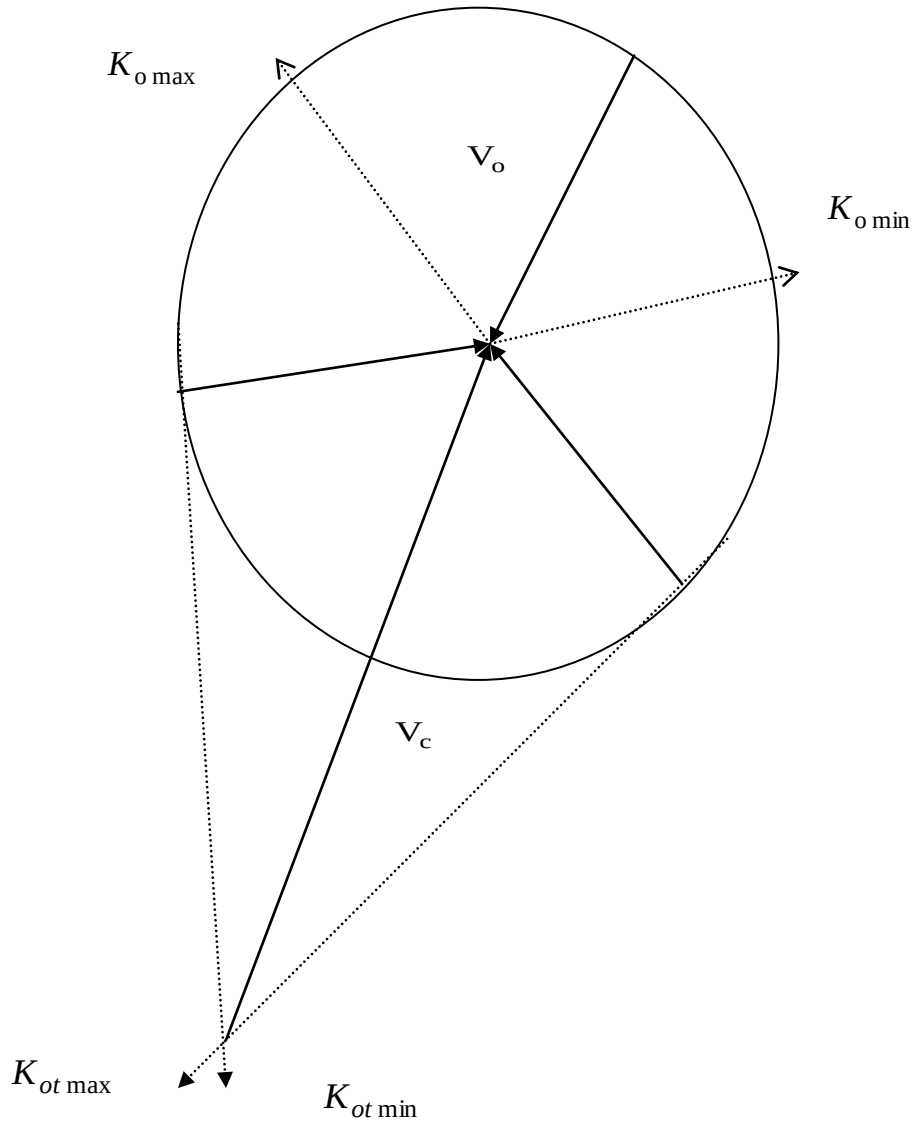


Рис. 3.3. Зміна відносного курсу K_{ot} при $V_o < V_c$

Як слідує з рис. 3.3, при зростанні курсу K_o, в залежності від його поточного значення відносний курс K_{ot} може, як збільшуватися, так і зменшуватися.

Так, при збільшенні курсу K_o від значення $K_{o\,min}$ до значення $K_{o\,max}$ через значення $K_c + 180$ відносний курс K_{ot} також збільшується від величини K_{otmin} до значення K_{otmax}. Таким чином, $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} > 0$ при $K_o \in [K_{omin}, K_{omax}]$.

При наступному збільшенні курсу K_o от $K_{o\,max}$ до $K_{o\,min}$ через значення K_c відносний курс K_{ot} зменшується, тобто $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} < 0$ при $K_o \in [K_{omax}, K_{omin}]$.

Екстремальним значенням відносних курсів K_{otmin} і K_{otmax} відповідають курси судна $K_{1\,min}$ і $K_{1\,max}$, котрі розраховуються із умови обігу першої похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ в нуль, тобто із рівняння:

$$V_o - V_c \cos(K_o - K_c) = 0 \quad \text{або} \quad \cos(K_o - K_c) = \frac{V_o}{V_c} = \rho .$$

Дане рівняння має два кореня:

$$K_{o1} = K_c + \arccos\rho, \qquad K_{o2} = K_c - \arccos\rho. \qquad (3.3)$$

Необхідно визначити відповідність отриманих значень курсів маневруючого судна екстремальним відносним курсам K_{otmin} і K_{otmax}. Ця невизначеність розрішається при перевірці знаків екстремумів другої похідної.

З урахуванням того, що в відносному переміщенні нерухомим обрано судно з постійними параметрами руху, в книзі [55] наведені вирази для екстремальних відносних курсів K_{otmin} і K_{otmax}:

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

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

а відповідні їм значення згідно (3.3):

$$K_{omin} = K_c + \arccos\rho,$$

$$K_{omax} = K_c - \arccos\rho.$$

Таким чином, при зміні курсу K_o маневруючого судна в діапазоні від 0 до 2π відносний курс K_{ot} буде приймати значення із діапазону $[K_{otmin}, K_{ot\,max}]$, як показано на рис. 3.4.

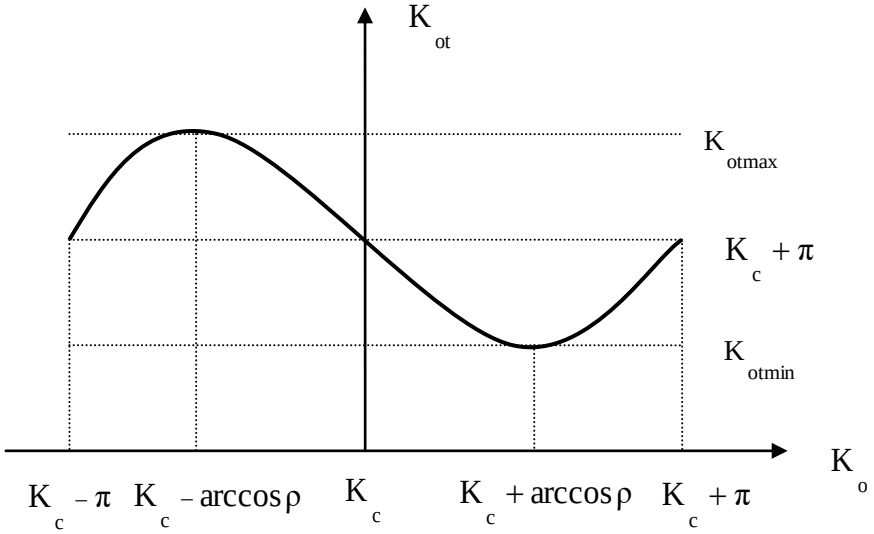


Рис. 3.4. Залежність відносного курсу K_{ot} від K_o при $V_o < V_c$

У випадку, коли швидкості суден рівні, тобто $V_o = V_c$, тоді залежність відносного курсу K_{ot} від курсу K_o маневруючого судна представлена на рис. 3.5.

Із рисунку випливає, що при зміні курсу судна K_o від 0 до 2π 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˚.

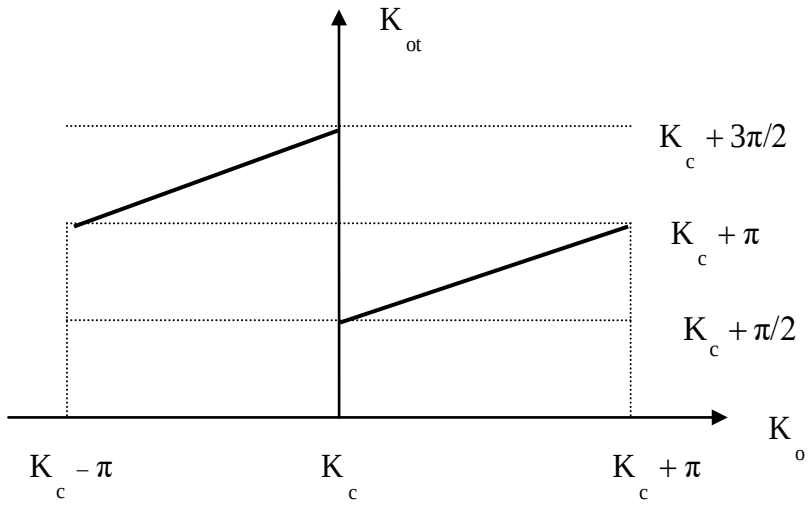


Рис. 3.5. Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу K_o при $V_o = V_c$

Знайдемо аналітичний вираз залежності істинного курсу K_o від відносного курсу K_{ot}. Для цього використовуємо вираз із роботи [89]:

$$tgK_{ot} = \frac{V_o \sin K_o - V_c \sin K_c}{V_o \cos K_o - V_c \cos K_c},$$

де V_o і K_o – параметри рухомого в відносному русі судна;

V_c і K_c – параметри не рухомого в відносному русі судна.

Із останнього виразу отримаємо:

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

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

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

Множимо обидві частини останнього рівняння на -1 і отримаємо:

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

Перепишемо останній вираз у вигляді:

$$\sin K_o - \cos K_o \operatorname{tg} K_{ot} = \rho^{-1} (\sin K_c - \cos K_c \operatorname{tg} K_{ot}), \text{ де } \rho = \frac{V_o}{V_c}.$$

Помноживши останню рівність на $\cos K_{ot}$, отримаємо:

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

або з урахуванням елементарних залежностей знаходимо:

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

Дане рівняння, вирішуємо відносно K_o, має два корені:

$$K_{o1} = K_{ot} + \arcsin[p^{-1} \sin(K_c - K_{ot})], \tag{3.4}$$

$$K_{o2} = K_{ot} + \pi - \arcsin[p^{-1} \sin(K_c - K_{ot})]. \tag{3.5}$$

З рис. 3.4 випливає наступне, що один із отриманих коренів має місце при $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} > 0$, а другий – навпаки. Тому слід установити відповідність між значеннями знаку вираз $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ і отриманими коренями K_{o1} і K_{o2}. Для цього необхідно визначити знаки похідних $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}}$ і $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}}$.

Спочатку знайдемо вираз для похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}}$, для чого рівняння (3.4) диференціюємо по змінній K_{o1}:

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

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

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

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 інших змінних. Отже, незалежно від знаку q справедливо рівняння $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}} > 0$.

Знайдемо вираз для похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}}$, з цією метою рівняння (3.5) диференцюємо по K_{o2}:

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

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

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}} = (1-q)^{-1}. \qquad (3.6)$$

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

Аналіз виразу (3.6) показує, що $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}} < 0$ у випадку $\rho < 1$ і при дотриманні судна попутними курсами. Звертаємо увагу, що при попутних курсах відносне ухилення Δ негативне, тобто при збільшенні курсу судна відносний курс зменшується і навпаки. Зустрічні курси характеризуються позитивним значенням Δ.

Таким чином, при $V_o > V_c$ має місце $\rho > 1$ і існує однозначне відображення безлічі відносних курсів в безліч справжніх курсів судна, так як знак першої похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} > 0$ для всіх значень курсу судна K_o, причому залежність має наступний вигляд:

$$K_o = K_{ot} + \arcsin[p^{-1}\sin(K_c - K_{ot})].$$

У випадку $V_o < V_c$ значення $\rho < 1$ і відображення безлічі відносних курсів в безліч істинних курсів судна не є однозначним (рис. 3.6), так як перша похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ може мати як позитивний, так і негативний знаки, тобто

кожному відносному курсу, окрім екстремальних, відповідає два значення K_{o1} і K_{o2} істинного курсу.

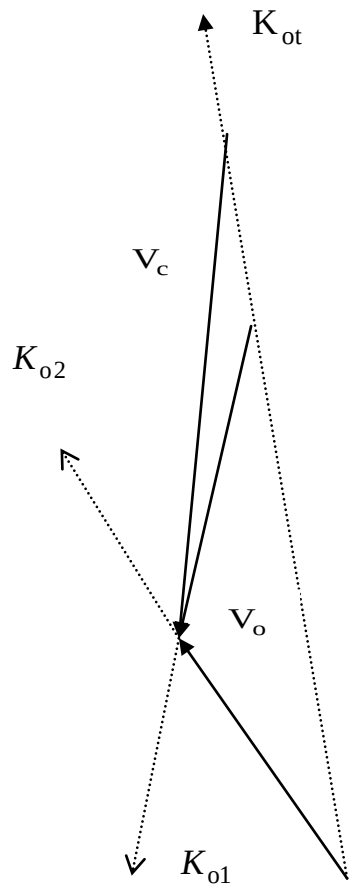


Рис. 3.6. Відповідність між відносним K_{ot} і істинним курсами K_o

Причому справедливо співвідношення:

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

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

У випадку, коли швидкості суден рівні $V_o = V_c$, тобто ρ = 1, отримаємо:

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

3.2. Характеристики стратегії розходження судна в ситуації небезпечного зближення з ціллю.

Для попередження зіткнення необхідно прогнозувати можливе значення дистанції найкоротшого зближення D_{min} (рис. 3.7) і зіставляти його із гранично-припустимою дистанцією D_{dop}, яка забезпечує безпечне розходження.

З рисунку слідує наступне:

$$D_{min} = \Delta_n D \sin(K_{ot} - \alpha), \qquad (3.7)$$

де Δ_n – співмножник, який забезпечує позитивне значення D_{min}.

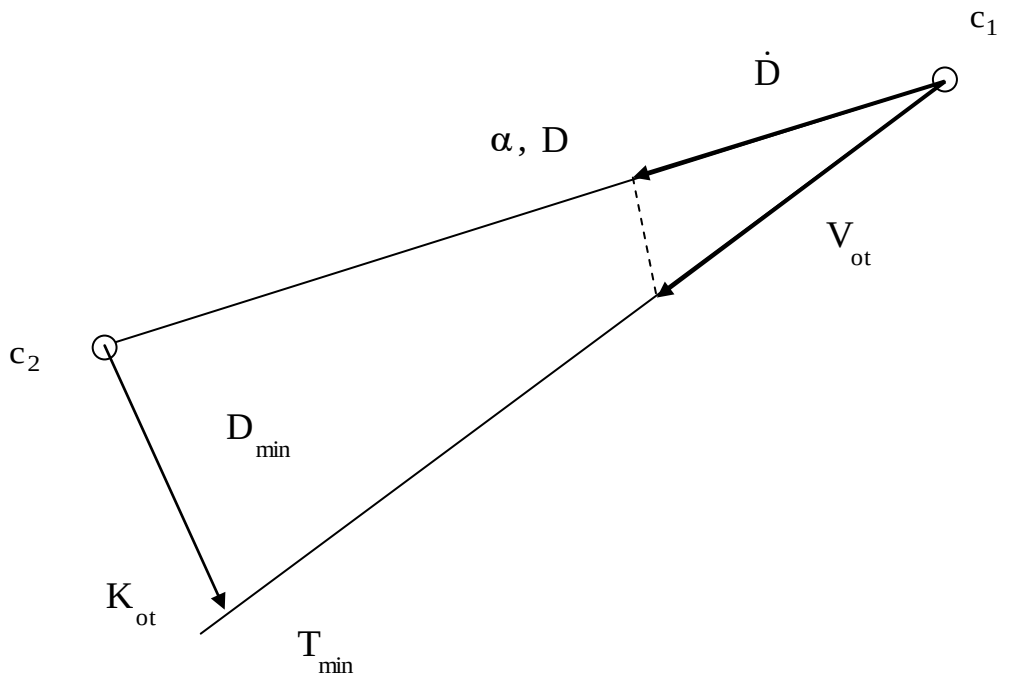


Рис. 3.7. Визначення величин $\dot{D}$ і D_{min}

Першою ознакою можливого зіткнення суден є їхнє зближення. Враховуючи, що у відносному русі нерухливим є судно c_2, то за допомогою рис. 3.7 отримаємо:

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

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

Вважаючи, що швидкості суден V_o і V_c є незмінним у роботі [55] отримана залежність швидкості $\dot{D}$ від курсів суден K_o і K_c:

$$\dot{D} = V_c\cos(K_c - \alpha) - V_o\cos(K_o - \alpha).$$

З кожним із суден зв'язується двовимірна область неприпустимих позицій, яка називається судновою безпечною областю, у якій небажано перебування будь-яких сторонніх об'єктів і котра повинна бути сформована таким чином, щоб її кордони відповідали нульовій ймовірності зіткнення. Кожній крапці усередині цієї області відповідає деяка відмінна від нуля ймовірність виникнення зіткнення, причому зріст ймовірності зіткнення суден відбувається зі скороченням найкоротшої дистанції між суднами.

При прогнозованому попаданні суден в область неприпустимих позицій виникає ситуаційне збурювання ω, яке виявляє можливу небезпечну позицію завчасно, прогнозуючи зміни відносної позиції пари суден. Тому воно носить умовний характер і виникає тоді, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення D_{min} менше значення гранично-припустимої дистанції зближення D_d.

Ще однією характеристикою ситуаційного збурювання є час запасу t_{zij}, який характеризує інтервал часу до настання рівності максимальної дистанції найкоротшого зближення $\max D_{min}$ і гранично-припустимої дистанції D_d. Ситуаційне збурювання ω може приймати три значення [55]:

$$\omega = \begin{cases} 0, \ D_{min} > D_d, \\ 1, \ D_{min} \le D_d, t_{zij} > 0, \\ 2, \ D_{min} \le D_d, t_{zij} \le 0. \end{cases} \qquad (3.8)$$

Для декомпозиції багатьох станів небезпечного зближення суден на підмножини ситуаційних збурень з значеннями 1 і 2 враховуємо співвідношення значень $\max D_{min}$ і D_d. Зміна значень ситуаційного обурення виконується на границі, коли досягається рівність $\max D_{min} = D_d$. У випадку $V_o > V_c$ маневруюче судно може зміною свого курсу забезпечити будь-який відносний курс, через це без урахування інерційності судна в першому наближенні максимальна дистанція найкоротшого зближення $\max D_{min}$ рівна дистанції між суднами D. Отже, в цьому випадку $\max D_{min} = D$. Якщо ж $V_o < V_c$, то величина $\max D_{min}$ визначається з очевидного виразу:

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

де α – пеленг на ціль.

В свою чергу, екстремальний відносний курс K_{extr} рівний K_{otmin} чи $K_{ot\max}$, на якому дистанція найкоротшого зближення D_{min} максимальна, то, очевидно, справедливі наступні дві рівності:

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

При цьому:

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

де $\rho = V_o / V_c$.

Очевидно, справедливий вираз:

$$\max D_{min} = \max[\max D_{min}^{(mx)}, \max D_{min}^{(mn)}]. \qquad (3.9)$$

Якщо згідно з виразом (3.8) ситуаційне обурення $\omega = 1$, то, як вказується в роботі [92], для його компенсації використовується стандартний маневр розходження зміною курсу, який містить дві ділянки: ділянку ухилення з програмної траєкторії руху, який характеризується курсом ухилення K_y і моментом часу початку ухилення t_y, а також ділянку виходу на задану (програмну) траєкторію руху з параметрами K_b – курсом виходу і t_b – моментом повороту на курс виходу. Кінцевою характеристикою маневру розходження є час t_k і курс K_k повороту судна з ділянки виходу на програмну траєкторію і кінцевий програмний курс [7, 78].

Якщо в районі маневрування судна є тільки одна програмна ділянка руху, то, очевидно, K_k рівний початковому програмному курсу K_o. У разі, коли маневрування походить в районі зміни програмної траєкторії руху, величина курсу K_k може приймати одне з двох можливих значень програмних курсів. Наступною дуже важливою характеристикою маневру розходження є форма його абсолютної траєкторія руху, яку позначимо через δ, причому $\delta = (\delta_y, \delta_b)$, де – відповідно характеристики ділянок ухилення і виходу маневру розходження в істинному русі суден. Величини δ_y і δ_b приймають одне з значень 1 або –1, причому:

$\delta_y = 1$, при ухиленні судна вправо;

$\delta_y = -1$, при ухиленні судна вліво.

Вочевидь, що значення δ_b завжди зворотні за значенням знаку δ_y, тобто $\delta_b = -\delta_y$.

Домовимося називати оперуючим судно, з позицій якого розглядається процес розходження. На рис. 3.8 показана абсолютна траєкторія розходження судна при умові, що $\delta_y = 1$.

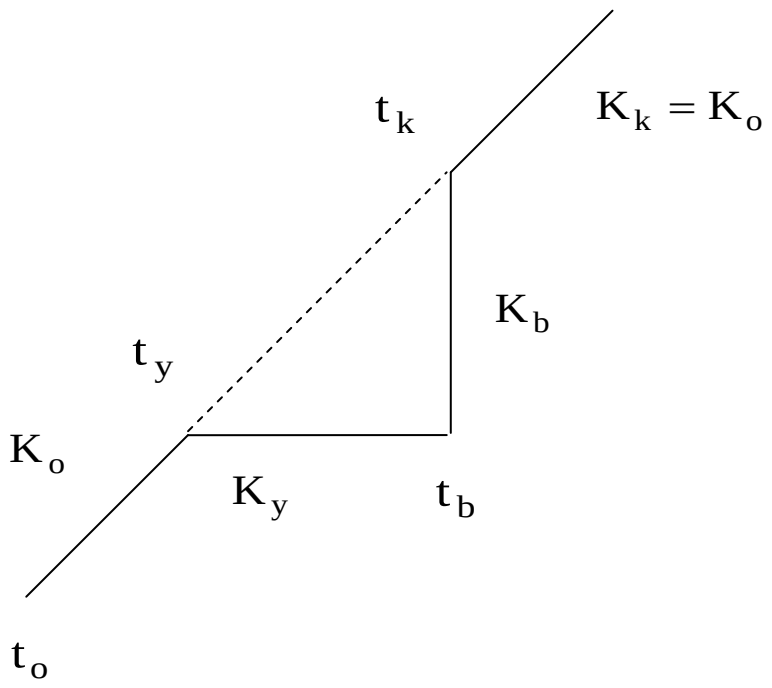


Рис. 3.8. Структура маневру розходження при $\delta_y = 1$.

Множина курсів ухилення K_y мають границі K_{y*} і K_y^*, а множина моментів часу початку ухилення t_y характеризуються границями t_{y*} і t_y^* – відповідно нижній і верхній межею. В свою чергу, параметри t_b і K_b ділянки виходу на програмну траєкторію залежать від параметрів ухилення і

характеризуються границями t_{b*}, t_b^* і K_{b*}, K_b^* – відповідно нижні і верхні границі часу і курсу повороту оперуючого судна в бік програмної траєкторії. Очевидно, що параметри t_k і K_k є залежними від інших і визначаються тільки умовою виходу судна на задану траєкторію після завершення розходження, тому не має сенсу шукати їх граничні значення.

У разі, якщо значення ситуаційного обурення $\omega = 2$, то застосовується стратегія екстреного розходження, структура якої докладно викладена в роботі [92]. Стратегія екстреного розходження передбачає маневрування судна зміною курсу з моменту виявлення ситуації надмірного зближення до моменту виходу на програмну траєкторію руху. Слідуючи роботі [92], дамо коротку характеристику структури стратегії екстреного розходження.

В нульовий момент часу (момент виявлення ситуації надмірного зближення) судно, слідуючи мінімаксної стратегії, яка передбачає найбільш несприятливий маневр ухилення цілі, має лягти на курс K_α, рівний зворотному пеленгу на ціль, тобто $K_\alpha = \alpha + 180$, де α – пеленг на ціль. При цьому поворот на вказаний курс проводиться в сторону від напрямку на ціль з максимальною кутовою швидкістю. Даний етап стратегії розходження можна назвати мінімізацією швидкості зближення з ціллю.

У разі, якщо швидкість судна перевершує швидкість цілі, тобто $V_o > V_c$, то дистанція між судном і ціллю збільшується і загроза зіткнення зникає. В іншому випадку ($V_o \le V_c$) дистанція скорочується з мінімальною швидкістю і максимально збільшується час найкоротшого зближення, що дає можливість цілі застосувати маневр безпечного розходження. В будь-якому випадку, якщо ціль не буде навмисно прагнути зіткнутися, а судно зробить запропонований маневр, дистанція між судном і ціллю почне збільшуватися. Коли вона досягне гранично-допустимого значення, судно може лягти на курс, при якому дистанція найкоротшого зближення не зменшується і відбувається зближення з програмною траєкторією руху. Надалі будемо

вважати, що швидкість цілі V_c перевершує швидкість судна V_o, тобто $V_c > V_o$.

На даному етапі необхідно уникнути ситуації надмірного зближення, змінюючи позицію судна відносно цілі так, щоб судно опинилося в ситуації, яка забезпечує безпечне зближення і рух судна до програмної траєкторії руху.

Таким чином, після повороту на курс K_α, коли максимально можлива дистанція найкоротшого зближення $\max D_{min}$ не перевищує гранично-допустиму дистанцію D_d, тобто $\max D_{min} \le D_d$, судно прямує курсом $K_\alpha = \alpha + 180$, причому цей курс змінюється зі зміною пеленгу α, так як відбувається переміщення цілі щодо судна, а дистанція між судном і ціллю в загальному випадку збільшується.

Так як з моменту часу початку відвертання судна від початкового програмного курсу α і дистанція D змінюються, то в момент часу t_{on} досягнення курсу судна значення курсу «тікання» K_α необхідно оцінити поточну відносну позицію. Для цього слід за допомогою формули (3.9) обчислити максимально можливу дистанцію найкоротшого зближення $\max D_{min}$. Потім слід перевірити справедливість нерівності $\max D_{min} \le D_d$. Якщо рівність справедлива, то слід дотримуватися курсу «тікання» K_α, утримуючи курс судна протилежним пеленгові на ціль, намагаючись збільшити дистанцію до цілі. При цьому слід контролювати співвідношення $\max D_{min} \le D_d$. При справедливості даної нерівності судно продовжує слідувати курсом K_α до тих пір, поки максимально можлива дистанція найкоротшого зближення $\max D_{min}$ не стане рівною дистанції найкоротшого зближення D_d, тобто $\max D_{min} = D_d$. Момент часу настання цієї події позначимо t_{ok}. В даний момент часу необхідно змінити курс судна на величину, при якій досягається екстремальне значення відносного курсу і максимальне значення дистанції найкоротшого зближення. Раніше було

показано, що екстремальні відносні курси K_{otmin} і K_{otmax} досягаються відповідно при курсах судна:

$$K_{o\,min} = K_2 + \arccos(\rho) \text{ і } K_{o\,max} = K_2 - \arccos(\rho).$$

Обираючи одним із зазначених курсів, судно переміщується в бік цілі, причому дистанція D між судном і ціллю скорочується, і проводиться контроль нерівності $D_{min} \le D_d$. Якщо нерівність справедлива, то судно продовжує слідувати екстремальним курсом. У момент часу, коли нерівність перетвориться в рівність, перевіряємо, чи не досягла дистанція між судном і ціллю значення D_d, тобто справедливість рівності $D = D_d$. Якщо рівність дотримується, то реалізувався момент часу t_b, і є можливість лягти на курс виходу на програмну траєкторію K_b, причому ділянка виходу на програмну траєкторію руху судна розташована під кутом γ=30°-40° до програмної траєкторії, тобто $K_b = K_n \pm \gamma$, де K_n – початковий курс судна. Судно рухається курсом виходу K_b до тих пір, поки не досягає програмної траєкторії, після чого лягає на початковий курс K_n, переміщаючись по програмній траєкторії.

Якщо ж рівність $D = D_d$ не виконується, тобто судно не досягло моменту повороту до програмної траєкторії t_b, то йому слід лягти на курс ухилення K_y, який згідно [2] розраховується за формулою:

$$K_y = K_{oty} + \arcsin\,[\rho^{-1}\sin(K_c - K_{oty})], \qquad (3.10)$$

де K_{oty} – відносний курс ухилення, який визначається з виразу:

$$K_{oty} = \alpha_y + \arcsin(\frac{D_d}{D_y}),$$

у виразі α_y і D_y – відповідно пеленг і дистанція в момент часу t_{ok}.

Якщо в момент часу t_{on} досягнення курсу судна значення курсу «тікання» K_α має місце нерівність $\max D_{min} \geq L_d$, то необхідно перевірити можливість виходу судна на програмну траєкторію курсом K_b, для чого слід провести контроль зміни дистанції при проходженні цим курсом. Якщо дистанція збільшується, то судно може виходити на задану траєкторію. В іншому випадку при зменшенні дистанції необхідно розрахувати дистанцію найкоротшого зближення $D_{min\,b}$ при русі курсом K_b з позиції в момент часу t_{on}. Якщо справедлива нерівність $D_{min\,b} \geq L_d$, то судно реалізує ділянку виходу судна на програмну траєкторію. Якщо ж нерівність не виконується, то слід розрахувати курс ухилення K_y, при якому дистанція найкоротшого зближення D_{min} рівна гранично-допустимій дистанції D_d, тобто $D_{min} = D_d$. Розрахунок курсу ухилення K_y розраховується за формулою (3.10), за умови, що пеленг і дистанція визначаються на момент часу t_{on}.

З огляду на вищевикладене, визначимо структуру стратегії екстреного розходження з урахуванням поведінки цілі в процесі розходження у випадку, коли швидкість судна менша за швидкість цілі.

Першим етапом стратегії екстреного розходження є вихід в позицію мінімізації швидкості зближення. Цей етап триває з початкового моменту виявлення ситуації надмірного зближення до виходу судна на курс мінімізації швидкості зближення, рівний зворотному пеленгу на ціль. Параметрами першого етапу є сторона повороту судна, кінцевий курс перехідного процесу, лінійна швидкість судна і кутова швидкість повороту.

Другим етапом є рух судна курсом мінімізації швидкості зближення до виходу в позицію початку доцільного руху щодо виконання функціонального призначення в сторону програмної траєкторії.

Причому з цієї позиції в залежності від маневрування цілі рух судна можливий різними курсами, або екстремальним курсом $K_{extr} = (K_{o\,max}$,

$K_{o\min}$), або курсом ухилення K_y, або курсом виходу. Тому будемо розрізняти наступні етапи руху судна до програмної траєкторії руху: третій етап руху екстремальним курсом, четвертий етап руху курсом ухилення і п’ятий етап виходу на програмну траєкторію руху.

Структура стратегії екстреного розходження є послідовність етапів руху з моменту ідентифікації ситуації надмірного зближення до моменту повернення судна на програмну траєкторію руху. Аналіз вищевикладеного показує, що перший і п'ятий етапи обов’язково містяться у всіх типах структури стратегії екстреного розходження. У загальному випадку можливі чотири типи структури S_i стратегії екстреного розходження з різним набором етапів G_j, які наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Склад структури стратегії екстреного розходження

Типи структури екстреної стратегії S	Послідовність етапів G
S_1	$\{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5\}$
S_2	$\{G_1, G_3, G_4, G_5\}$
S_3	$\{G_1, G_4, G_5\}$
S_4	$\{G_1, G_5\}$

Перший етап G_1 відповідає перехідному процесу з початкового курсу до виходу судна на курс рівний $K_\alpha = \alpha + 180$. Другий етап екстреного ухилення G_2 передбачає проходження судна курсом K_α до закінчення етапу. Черговий третій етап екстремального ухилення G_3 забезпечує рух судна екстремальними курсами при зближенні з ціллю на зустрічних курсах. Етап стандартного відхилення G_4 (четвертий) передбачає зближення з ціллю на

найкоротшу дистанцію, рівну гранично-допустимою D_d. І, нарешті, п'ятий етап G_5, етап виходу на задану траєкторію завершує стратегію розходження.

Якщо структура стратегії екстреного розходження залежить від поведінки цілі в ситуації зближення і траєкторія руху судна в процесі розходження не може бути прогнозованою, то траєкторія істинного руху при стандартному маневрі розходження прогнозована і її форма визначається існуючою системою бінарної координації.

3.3. Повна стратегія розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації.

В даному підрозділі розглянемо ситуацію небезпечного зближення оперуючого судна c_1 з ціллю c_2 при наявності в районі плавання третього судна c_3 [129,141]. Ситуація зближення згаданих трьох суден характеризується матрицями пеленгів $A=\{\alpha_{ij}\}$ і відстаней $D=\{d_{ij}\}$, а також векторами швидкостей $V=\{V_i\}$ і курсів $K=\{K_i\}$, за допомогою яких визначаються параметри відносного руху пар суден, що виражені матрицями відносних курсів $K_{ot}=\{K_{otij}\}$ і швидкостей $V_{ot}=\{V_{otij}\}$.

Ступінь небезпеки ситуації зближення характеризується матрицею ситуаційного збурення $W=\{\omega_{ij}\}$ [7], для оцінки якої необхідно скористатися матрицями пеленгів $A=\{\alpha_{ij}\}$, відстаней $D=\{d_{ij}\}$ і відносних курсів $K_{ot}=\{K_{otij}\}$. Матриця ситуаційного збурення $W=\{\omega_{ij}\}$ має вигляд [7]:

$$W=\begin{Vmatrix} 0 & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & 0 & \omega_{23} \\ \omega_{32} & \omega_{31} & 0 \end{Vmatrix}, \qquad (3.11)$$

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

Ситуаційне збурення ω_{ij} виникає при прогнозованому попаданні суден в область неприпустимих позицій і воно виявляє можливу небезпечну позицію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції пари суден. Отже, ситуаційне збурення виникає тоді, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення D_{minij} менше значення гранично-допустимої дистанції зближення D_d. У першому наближенні, з урахуванням вимог МППЗС-72, ситуаційне обурення ω_{ij} при стандартних ситуаціях небезпечного зближення, виключаючи екстрене розходження, може приймати значення [89]:

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 0, \ D_{\min ij} > D_d, S_{ij} \in S_0, \\ 1, \ D_{\min ij} \le D_d, S_{ij} \in S_1, \\ 2, \ D_{\min ij} \le D_d, S_{ij} \in S_2, \end{cases} \qquad (3.12)$$

де S_{ij} – початкова ситуація зближення i-го і j-го суден;

S_0 – підмножина безпечних ситуацій;

S_1 і S_2 – підмножини ситуацій відповідно з першої і другої областями взаємних обов’язків (Правило 17 МППЗС-72).

Дистанція найкоротшого зближення D_{minij} визначається з формули [55]:

$$D_{minij} = \mathrm{Abs}[d_{ij}\sin(\alpha_{ij} - K_{otij})].$$

Так як за умовою початкової ситуації судна c_1 і c_2 зближуються небезпечно, тобто $D_{min12} \le D_d$, то значення ситуаційних збурень ω_{12} і ω_{21} нерівні нулю. Отже, між цими суднами виникає взаємодія, яка приписує бінарним

координатором $Coor_{(2)}$, (МППЗС-72 в частині маневрування суден при розходженні), і судна виконують узгоджений маневр розходження, що забезпечує обіг значень ситуаційних збурень ω_{12} і ω_{21} в нуль.

При цьому координатор $Coor_{(2)}$, виходячи з відносної позиції суден S_{12} і їх статусів St_1 і St_2, приписує взаємодіючим суднам координуючі сигнали β_{12} і β_{21} [89, 92]. Ці сигнали визначають їх поведінку в процесі розходження, приписуючи кожному з них взаємні обов'язки, що дозволяє суднам зробити вибір стратегії розходження, при реалізації якої одне з суден зберігає свої параметри руху, в той час як друге судно виконує маневр розходження або обидва судна вживають узгоджені маневри розходження.

Так як в районі передбачуваного маневрування знаходиться судно c_3, то, як видно з матриці ситуаційного обурення W (1), виникають ситуаційні збурення $\omega_{13} = \omega_{31}$ і $\omega_{23} = \omega_{32}$, які в загальному випадку, відповідно до (3.12), можуть набувати значень від 0 до 2. Отже, узагальнений координатор $Coor_{(2)}$ в розглянутій ситуації зближення окрім β_{12} і β_{21} формує також координуючі сигнали β_{13}, β_{31}, β_{23} і β_{32}, значення яких визначають структуру повної стратегії розходження оперуючого судна c_1. Під повною стратегією розуміється сукупність можливих альтернативних приватних маневрів ухилення судна c_1 в залежності від значень сигналів координації γ_{ij} і поточного розвитку ситуації зближення.

В загальному випадку можливі чотири ситуації зближення суден c_1, c_2 і c_3 в залежності від значень ситуативних збурень ω_{13} і ω_{23}, які при стандартній взаємодії суден можуть приймати значення 0 або 1.

У випадку, коли збурення, викликані судном c_3, мають значення $\omega_{13} = 0$ і $\omega_{23} = 0$, наявність судна c_3 не викликає появу взаємодії його з оперуючим судном і з ціллю. В даній ситуації Ω_1 виникає тільки взаємодія

між судном c_1 і небезпечною ціллю c_2 і координатор $Coor_{(2)}$, враховуючи відносну позицію суден і їх статуси St_1 і St_2, визначає взаємодію суднам з допомогою координуючих сигналів β_{12} і β_{21} [7, 89]. Ці сигнали визначають їх поведінку в процесі розходження, визначаючи кожному з них взаємні обов'язки, що дозволяє суднам зробити вибір узгоджених маневрів розходження. При цьому одне з суден зберігає свої параметри руху, а друге судно виконує маневр розходження або обидва судна вживають узгоджені маневри розходження.

Таким чином, судно c_1 вибирає стратегію розходження D_{11}, виходячи з координуючого сигналу β_{12} і реалізованої області взаємних обов'язків. Причому, якщо координатор приписує судну c_1 поступитися дорогою цілі c_2, то стратегією розходження D_{11} судна обирається маневр ухилення $D_1(1)$. Якщо координатор вимагає судну c_1 зберігати незмінні параметри руху $D_1(0)$, то судно придержується запропонованої стратегії $D_1(0)$ до моменту часу $\tilde{t}$, коли змушено власним маневром $\tilde{D}_1(\tilde{t})$ попередити можливе зіткнення через бездіяльність цілі c_2, яка не поступається дорогою $D_2(0)$.

Наступна ситуація Ω_2 виникає, коли збурення приймають наступні значення $\omega_{13}=1$ і $\omega_{23}=0$, при яких крім взаємодії між суднами c_1 і c_2 виникає взаємодія між суднами c_1 і c_3, а координатор $Coor_{(2)}$ формує координуючі сигнали $\beta_{12}^{(2)}$, $\beta_{21}^{(2)}$, $\beta_{13}^{(2)}$ і $\beta_{31}^{(2)}$. Координатором $Coor_{(2)}$ судну c_1 адресуються сигнали $\beta_{12}^{(2)}$ і $\beta_{13}^{(2)}$, які можуть вимагати одного типу поведінки ($\beta_{12}^{(2)}=1$, $\beta_{13}^{(2)}=1$ або $\beta_{12}^{(2)}=0$, $\beta_{13}^{(2)}=0$), тобто маневрувати або зберігати незмінні параметри руху, або ж суперечити один одному ($\beta_{12}^{(2)}=1$, $\beta_{13}^{(2)}=0$ або $\beta_{12}^{(2)}=0, \beta_{13}^{(2)}=1$). Якщо координуючі сигнали узгоджені $\gamma_{12}^{(2)}=1$ і $\gamma_{13}^{(2)}=1$, то судно c_1 повинно поступитися дорогою суднам c_2 і c_3 маневром

розходження $D_1^{(2)}(1)$, який може реалізуватися загальним маневром для обох суден c_2 і c_3 або двома послідовними маневрами для кожного із суден.

В разі, коли координуючі сигнали $\beta_{12}^{(2)} = 0$, $\beta_{13}^{(2)} = 0$ приписують судну c_1 зберігати незмінні параметри руху щодо обох суден c_2 і c_3, то судно c_1 прямує постійним курсом і швидкістю $D_1^{(2)}(0)$ за умови, що ціль c_2 і судно c_3 виконують наказані координатором маневри ухилення $D_2(1)$ и $D_3(1)$. Якщо одна або обидві цілі не поступаються дорогою судну c_1, то останнє рухається постійним курсом і швидкістю $D_1^{(2)}(0)$ до моменту часу $\tilde{t}$, після якого судно c_1 змушене власним маневром $\tilde{D}_1^{(2)}(\tilde{t})$ попередити можливе зіткнення.

Судно c_1 виконує безпечний для суден c_2 і c_3 маневр розходження в нульовий момент часу $\overline{D}_1^{(2)}(t_o)$, коли координуючі сигнали суперечать один одному ($\beta_{12}^{(2)} = 1$, $\beta_{13}^{(2)} = 0$ або $\beta_{12}^{(2)} = 0$, $\beta_{13}^{(2)} = 1$).

Аналогічно формується стратегія розходження судна c_1 в ситуації Ω_3, коли виникають ситуаційні збурення $\omega_{13} = 0$ та $\omega_{23} = 1$ і додатково виникає взаємодія Bz_{23} між суднами c_2 і c_3.

Такий же алгоритм формування стратегії розходження судна c_1 використовується в ситуації Ω_4, яка виникає при реалізації ситуаційних збурення $\omega_{13} = 1$ і $\omega_{23} = 1$, коли додатково виникають взаємодії між суднами c_1 і c_3, а також між суднами c_2 і c_3.

Перераховані ситуації Ω_i $(i = 1 \div 4)$ передбачають парні взаємодії суден з протилежними координаційними сигналами, коли одне з суден виконує маневр розходження, а друге судно зберігає незмінні параметри руху. В координаторі МППЗС-72 тільки одна ситуація (Правило 14) при стандартній взаємодії суден передбачає одночасне маневрування оперуючого судна і цілі.

У цій ситуації оперуюче судно вибирає маневр розходження ухиленням вправо незалежно від поведінки цілі і третього судна.

В якості прикладу розглянемо формування повної стратегії розходження оперуючим судном в разі початкової ситуації зближення, яка характеризується наступними змінними: параметрами руху оперуючого судна c_1 - $K_1 = 244°$, $V_1 = 20$ вузлів, цілі c_2 - $K_2 = 52°$, $V_2 = 18$ вузлів, цілі c_3 - $K_3 = 332°$, $V_3 = 27$ вузлів; відносною позицією $\alpha_{12} = 238°$, $d_{12} = 5$ миль, $\alpha_{13} = 176°$, $d_{13} = 4{,}76$ милі, $\alpha_{23} = 115°$, $d_{23} = 5{,}0$ миль. Початкова ситуація зближення суден c_1, c_2 і c_3 показана на рис. 3.9.

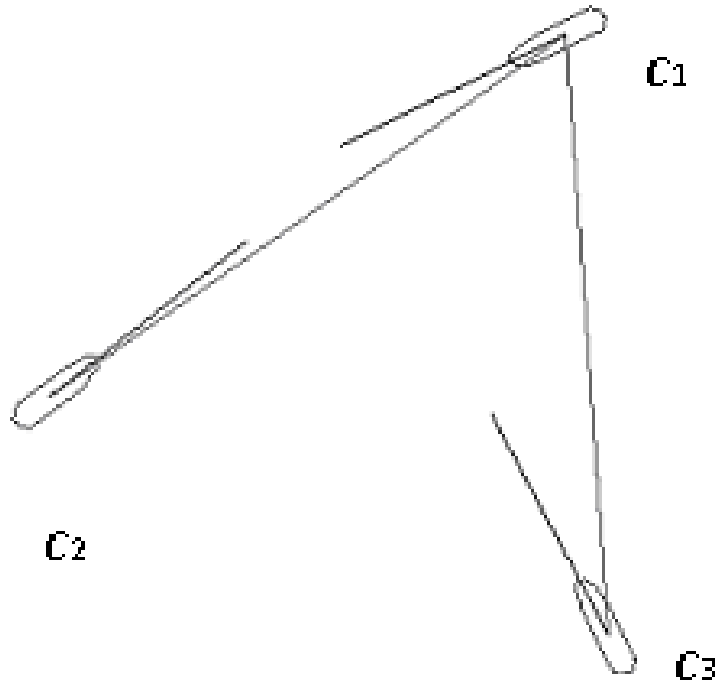


Рис. 3.9. Початкова ситуація зближення суден

За вихідними даними були розраховані дистанції найкоротшого зближення суден: $D_{min12} = 0{,}0$ милі, $D_{min13} = 0{,}0$ милі, $D_{min23} = 0{,}9$ милі. Всі три судна, які наближаються мають однаковий статус, так як є суднами з механічним двигуном. З урахуванням їх відносного положення

координатором формуються такі координуючі сигнали: $\beta_{12}=0$, $\beta_{21}=1$, $\beta_{13}=0$, $\beta_{31}=1$, $\beta_{23}=1$ і $\beta_{32}=0$.

У розглянутому прикладі координуючі сигнали $\beta_{12}=0$ і $\beta_{13}=0$ є узгодженими, тому якщо судна c_2 і c_3 виконують покладені координатором маневри ухилення $D_2(1)$ та $D_3(1)$, то оперуюче судно c_1 має зберігати незмінні параметри руху, реалізуючи стратегію $D_1(0)$. У разі, коли хоча б одна з цілей не поступається дорогою оперуючому судну, то останнє рухається постійним курсом і швидкістю $D_1(0)$ до моменту часу $\tilde{t}$, після чого воно власним маневром розходження $\tilde{D}_1(\tilde{t})$ попереджає можливе зіткнення. В даному прикладі момент часу $\tilde{t}$ визначається зменшенням дистанцій d_{12} і d_{13} до значень $d_{12}=3{,}4$ милі і $d_{13}=2{,}9$ милі. У цей момент часу оперуюче судно c_1 реалізує приватну стратегію $\tilde{D}_1(\tilde{t})$, яка полягає в ухиленні c_1 на курс $K_{1y}=286°$, в результаті чого оперуюче судно безпечно розходиться з цілями c_2 і c_3 на відстанях $D_{min12}=1{,}7$ милі і $D_{min13}=1{,}0$ милі.

Таким чином, у розглянутій ситуації повна стратегія D_1 оперуючого судна формалізується наступним чином ($\gamma_{ij}=\beta_{ij}$):

$$D_1=\begin{cases} D_1(0), \text{ за умови } \gamma_{12}=0,\ \gamma_{13}=0,\ D_2(1), D_3(1); \\ D_1(0), \text{ за умови } \gamma_{12}=0,\ \gamma_{13}=0, D_2(0), D_3(0),\ t\le\tilde{t}; \\ \tilde{D}_1(\tilde{t}), \text{ за умови } \gamma_{12}=0,\ \gamma_{13}=0, D_2(0), D_3(0),\ t>\tilde{t}. \end{cases}$$

Якщо дві перші часткові стратегії не передбачають маневрування оперуючого судна, то реалізації часткової стратегії $\tilde{D}_1(\tilde{t})$ вимагає спочатку ухилення судна c_1 з програмною траєкторією руху, а потім, після безпечного розходження, – його повернення до початкового режиму руху. Таким чином,

виконуючи маневр розходження, оперуюче судно спочатку відхиляється від програмної траєкторії руху, безпечно розходиться з ціллю в заданій дистанції, а потім лягає на курс виходу на задану траєкторію. У розглянутому прикладі $K_1 = 244°$, $K_{1y} = 286°$, $K_b = K_1 - 40 = 244°$, отже, $\delta_y = 1$, $\delta_b = -1$. Однак, якщо маневр розходження виконує судно, швидкість якого менше швидкості цілі, то, як зазначалося вище, відносний курс може як збільшуватися, так і зменшуватися з ростом справжнього курсу маневрує судна.

Тому форма відносної траєкторії може в загальному випадку відрізнятися від форми істинної траєкторії. Відносна траєкторія розходження характеризується відносним ухиленням Δ_y і відносним виходом Δ_b, причому відносні показники приймають також значення «1» або «-1» в залежності від співвідношення суміжних відносних курсів. Звернемося до наведеного прикладу, при маневруванні оперуючого судна c_1, з урахуванням постійних параметрів цілей c_2 і c_3 змінюються відносні курси K_{ot12} і K_{ot12y}. Для відносних курсів судна c_1 і цілі c_2 $K_{ot12o} = 238°$, $K_{ot12y} = 261°$, $K_{ot12b} = 217°$, тому $\Delta_{12y} = 1$, $\Delta_{12b} = -1$. Для відносних курсів оперуючого судна c_1 і цілі c_3 $K_{ot13o} = 189°$, $K_{ot12y} = 199°$, $K_{ot12b} = 174°$, тому $\Delta_{13y} = 1$, $\Delta_{13b} = -1$.

Обидві відносні траєкторії розходження мають таку ж форму, як і істинна траєкторія. Значення відносних характеристик Δ_y і Δ_b визначають процедуру розрахунку необхідних відносних курсів маневру розходження, на підставі яких розраховуються відповідні істинні курси оперуючого судна. З урахуванням даної обставини необхідно розробити спосіб відображення істинних траєкторій розходження в відносні траєкторії для розрахунку параметрів маневру розходження.

Таким чином, перевагою повної стратегії оперуючого судна є врахування можливої зміни процесу зближення з цілями і попередньо сформовані приватні маневри ухилення, що передбачають різні результати мінливої ситуації зближення, безліч яких залежить від діючої системи бінарної координації та відображення істинної траєкторії розходження в відносні.

3.4. Форми відносної траєкторії розходження і їх зв'язок з формою істинної траєкторії розходження.

Як випливає з попереднього підрозділу, для коректних розрахунків параметрів маневру розходження оперуючого судна, небезпечно зближається з ціллю необхідно розглянути форми істинної і відносної траєкторії розходження, а також їх взаємозалежність.

В попередньому підрозділі розглядалася форма істинної траєкторії розходження, яка характеризувалася ухиленням вправо (рис. 3.8), дану форму позначимо δ_{tst}, а форму істинної траєкторії розходження ухиленням вліво – δ_{tpr}. Обидві форми показані на рис. 3.10.

У разі, коли маневр розходження виконується судном, швидкість якого більше швидкості цілі, тобто $V_o > V_c$, то перша похідна відносного курсу по справжньому курсу оперуючого судна є неубиваючою, тому форми істинної і відносної траєкторій збігаються. Позначимо відносну траєкторію, у якій відносний курс ухилення більше початкового відносного курсу, $K_{oty} > K_{otn}$ і $K_{otb} < K_{oty}$, через Δ_{tst} (рис. 3.11). З цього ж рисунку видно, що при $V_o > V_c$ істинної формі δ_{tst} відповідає відносна форма Δ_{tst}.

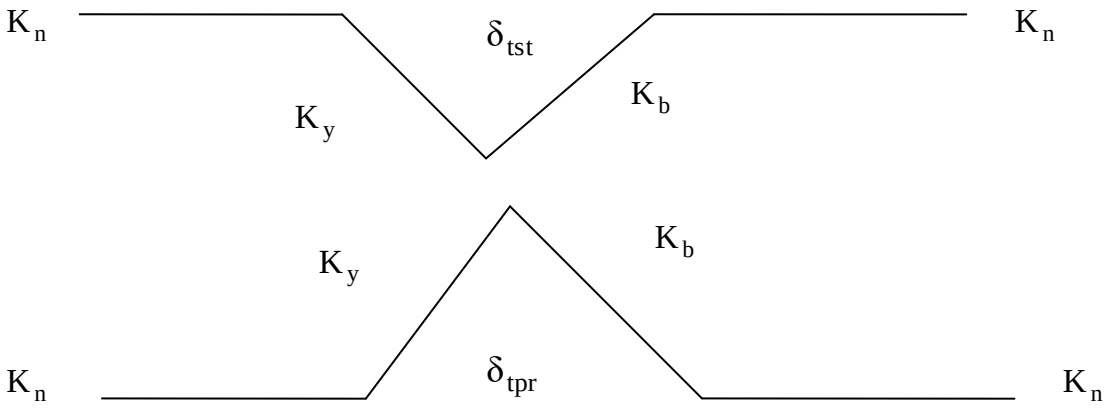


Рис. 3.10. Форми істинної траєкторії розходження

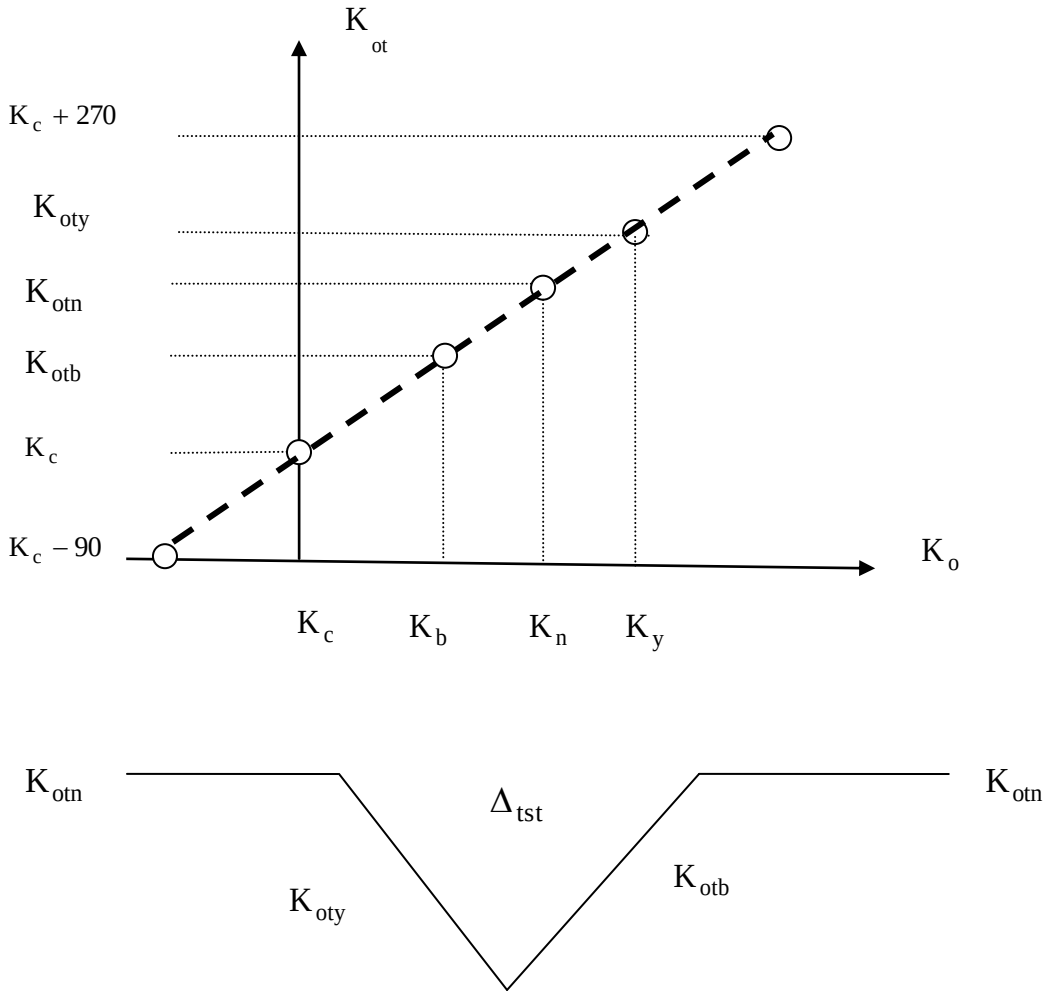


Рис. 3.11. Форма відносної траєкторії розходження Δ_{tst}

Якщо ж справжня траєкторія розходження при $V_o > V_c$ має форму δ_{tpr}, то їй відповідає відносна форма Δ_{tpr}, для якої характерні співвідношення $K_{oty} < K_{otn}$ і $K_{otb} > K_{oty}$, як показано на рис. 3.12.

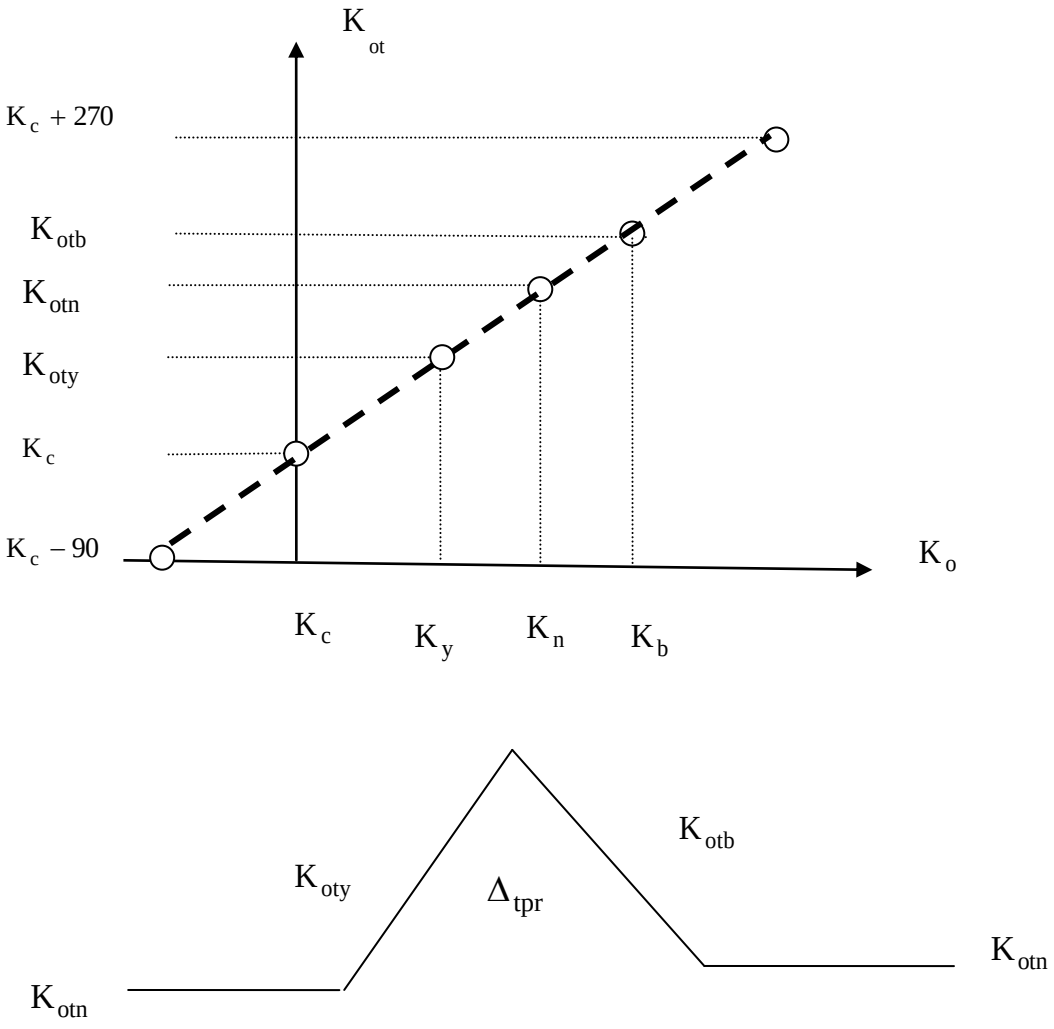


Рис. 3.12. Форма відносної траєкторії розходження Δ_{tpr}

Таким чином, при $V_o > V_c$ форми істинної траєкторії збігаються з формами відносних траєкторій, тобто $\delta_{tst} \to \Delta_{tst}$ і $\delta_{tpr} \to \Delta_{tpr}$. Надалі розглянемо ситуацію, коли швидкість маневруючого судна менша швидкості цілі, тобто $V_o < V_c$. При цьому необхідно враховувати, що при збільшенні

справжнього курсу судна K_o відносний курс K_{ot} має як ділянку зростання, так і ділянку убування. На рис. 3.13 показана ситуація, коли початковий курс судна K_n і курси ухилення K_y і повернення на задану траєкторію K_b знаходяться на зростаючій ділянці залежності відносного курсу. В цьому випадку формі δ_{tst} істинної траєкторії відповідає форма Δ_{tst} відносної траєкторії, тобто $\delta_{tst} \to \Delta_{tst}$.

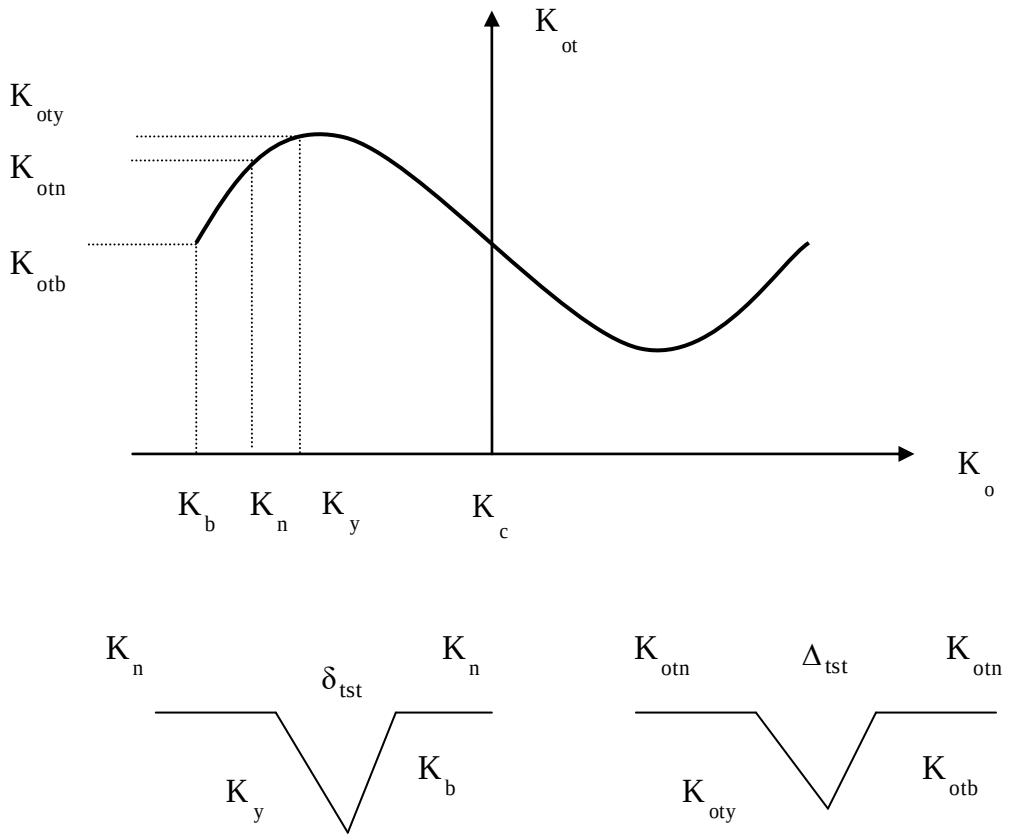


Рис. 3.13. Відповідність $\delta_{tst} \to \Delta_{tst}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

Якщо ж курси K_n, K_y і K_b форми істинної траєкторії розходження δ_{tst} належать убиваючим ділянкам залежності відносного курсу, як показано на рис. 3.14, то форма відносної траєкторії розходження не збігається з формою

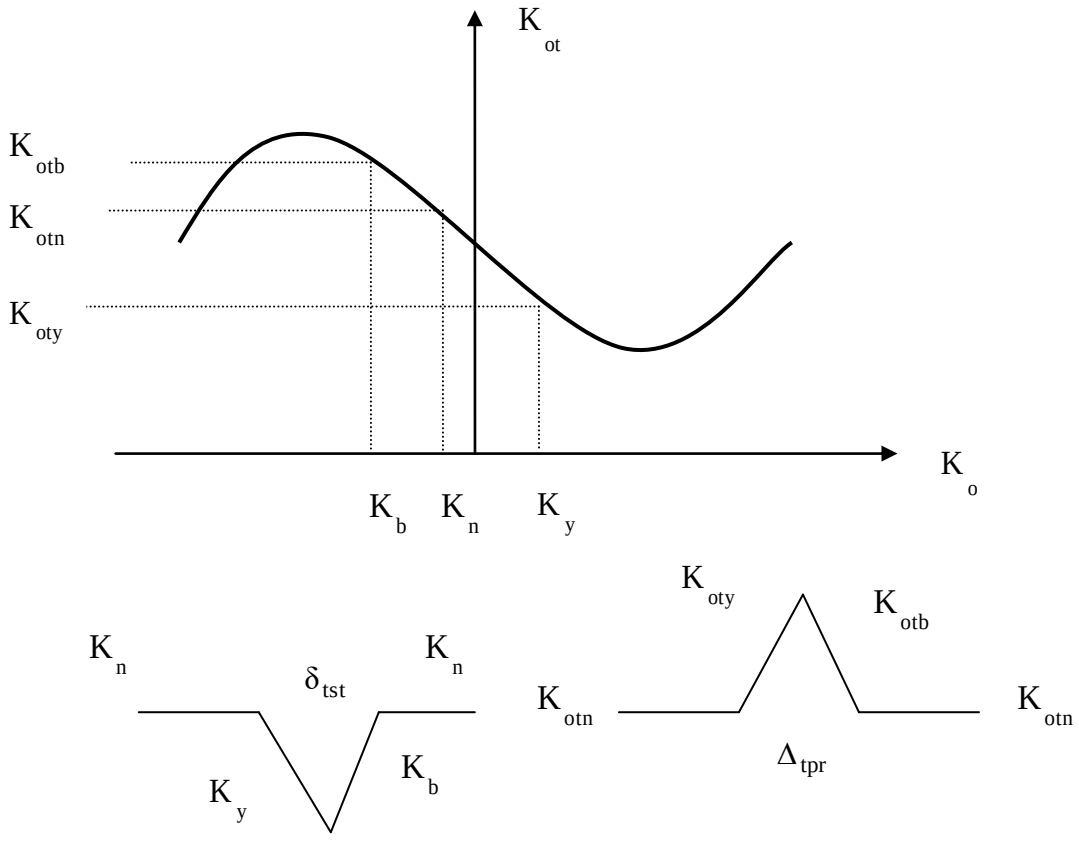


Рис. 3.14. Відповідність $\delta_{tst} \to \Delta_{tpr}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

істинної траєкторії, а має місце відповідність $\delta_{tst} \to \Delta_{tpr}$. Надалі розглянемо ситуації, коли курси істинної траєкторії розходження знаходяться на різних ділянках залежності відносного курсу. Спочатку припустимо, що курси K_n і K_b форми δ_{tst} істинної траєкторії належать зростаючій ділянці залежності відносного курсу, а курс ухилення K_y – убиваючої ділянці, як показано на рис. 3.15. У показаному прикладі відносна траєкторія має ділянки ухилення і виходу, які змінюються вліво. Таку форму траєкторії розходження позначимо Δ_{tpr1}. Відповідність $\delta_{tst} \to \Delta_{tpr1}$ форм істинної і відносних траєкторій показано на рис. 3.15.

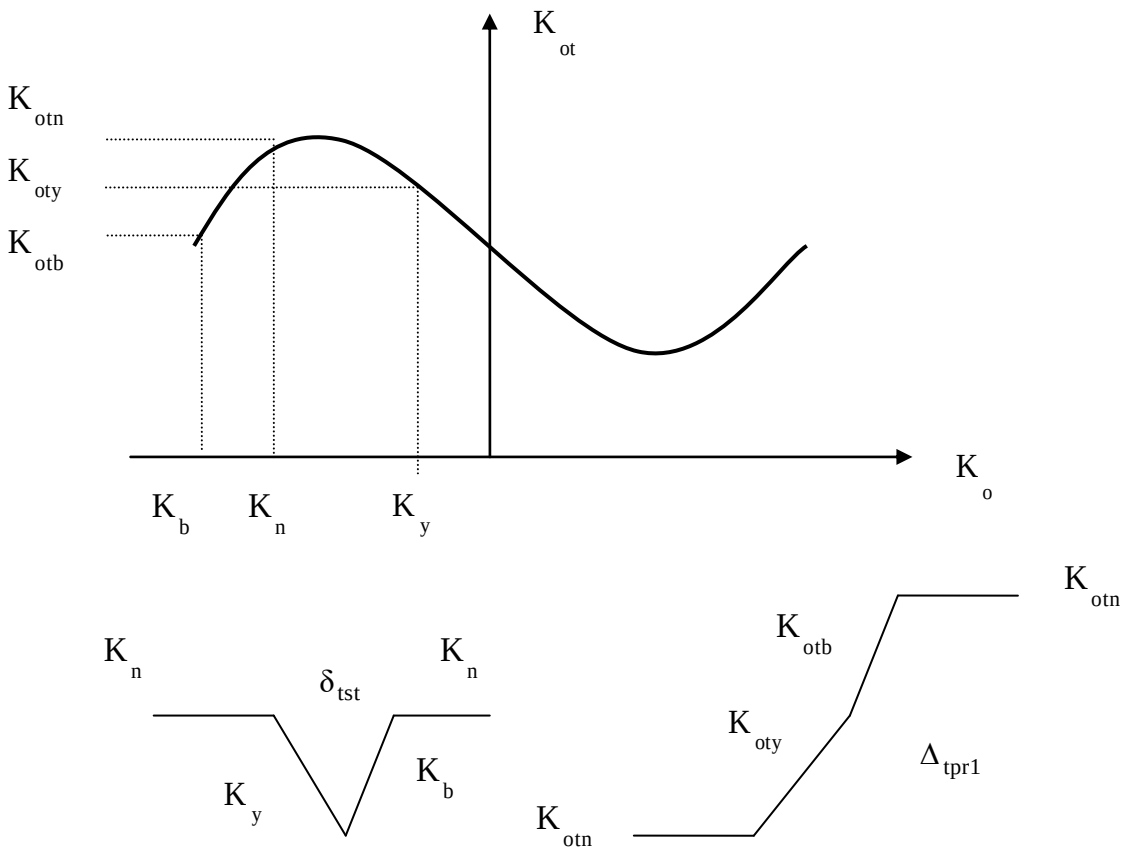


Рис. 3.15. Відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

На рис. 3.16 курси K_n і K_b форми δ_{tst} істинної траєкторії належать убиваючій ділянці залежності відносного курсу, а курс ухилення K_y – зростаючій ділянці. Відносна траєкторія, що відповідає цьому випадку, характеризується наступній особливістю: її ділянки ухилення і виходу на задану траєкторію змінюються вправо по відношенню до попередньої ділянці. Таку форму відносної траєкторії з двома ділянками зміни курсу вправо позначимо через Δ_{tst1}, причому можна стверджувати, що існують співвідношення курсів K_n, K_y і K_b форми δ_{tst} істинної траєкторії розходження, при яких має місце відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst1}$ (рис. 3.16).

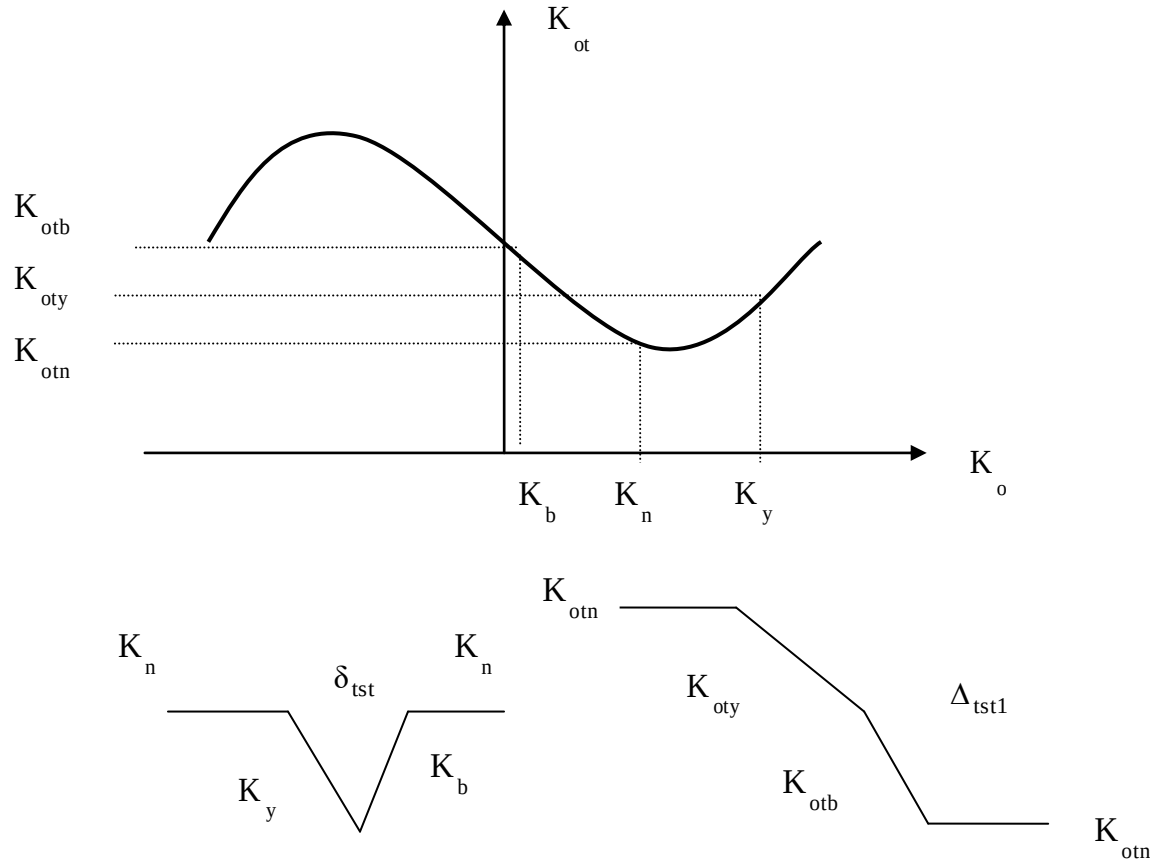


Рис. 3.16. Відповідність $\delta_{tst} \to \Delta_{tst1}$ форм траєкторії при $V_o < V_c$

Аналогічно для форми δ_{tpr} істинної траєкторії розходження при знаходженні курсів K_n, K_y і K_b на різних ділянках залежності відносного курсу (зростаючому або убиваючому) існують всі чотири форми відносної траєкторії розходження. Так на рис. 3.17 наведено відповідність $\delta_{tpr} \to \Delta_{tpr}$, коли форми однакові, а відповідність $\delta_{tpr} \to \Delta_{tst}$ форм траєкторій ілюструється на рис. 3.18. Відповідність подвійної зміни відносного курсу вліво $\delta_{tpr} \to \Delta_{tpr1}$ показано на рис. 3.19, а на рис. 3.20 наведено відповідність форм $\delta_{tpr} \to \Delta_{tst1}$ подвійної зміни відносного курсу вправо.

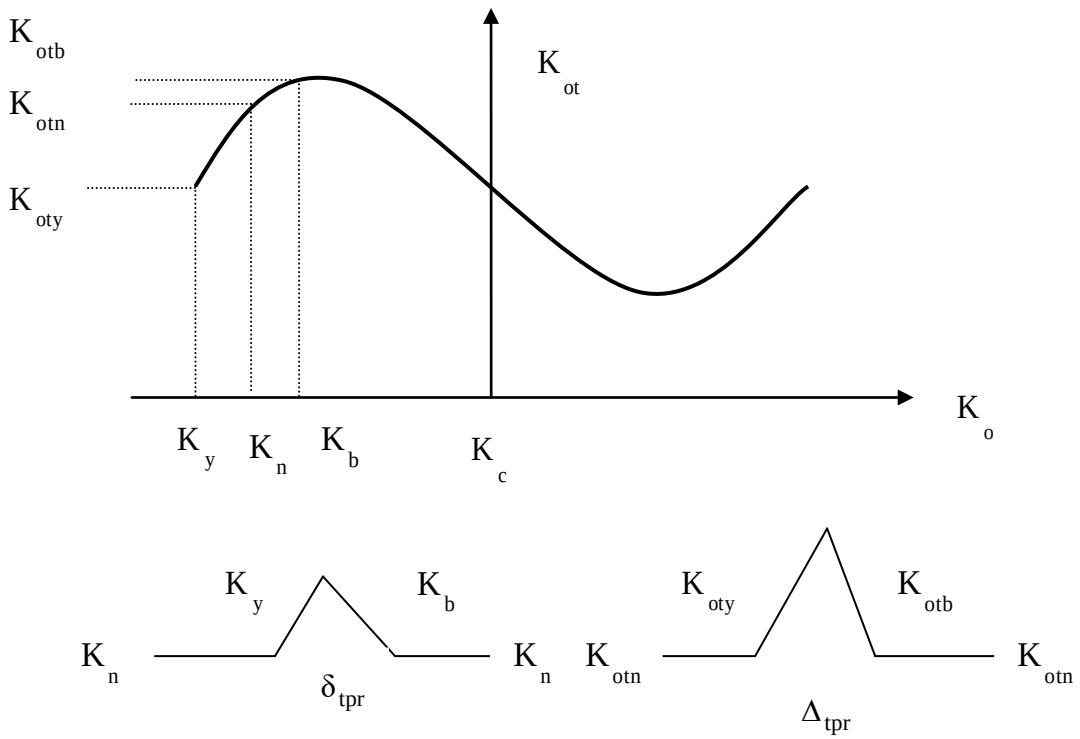


Рис. 3.17. Відповідність $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

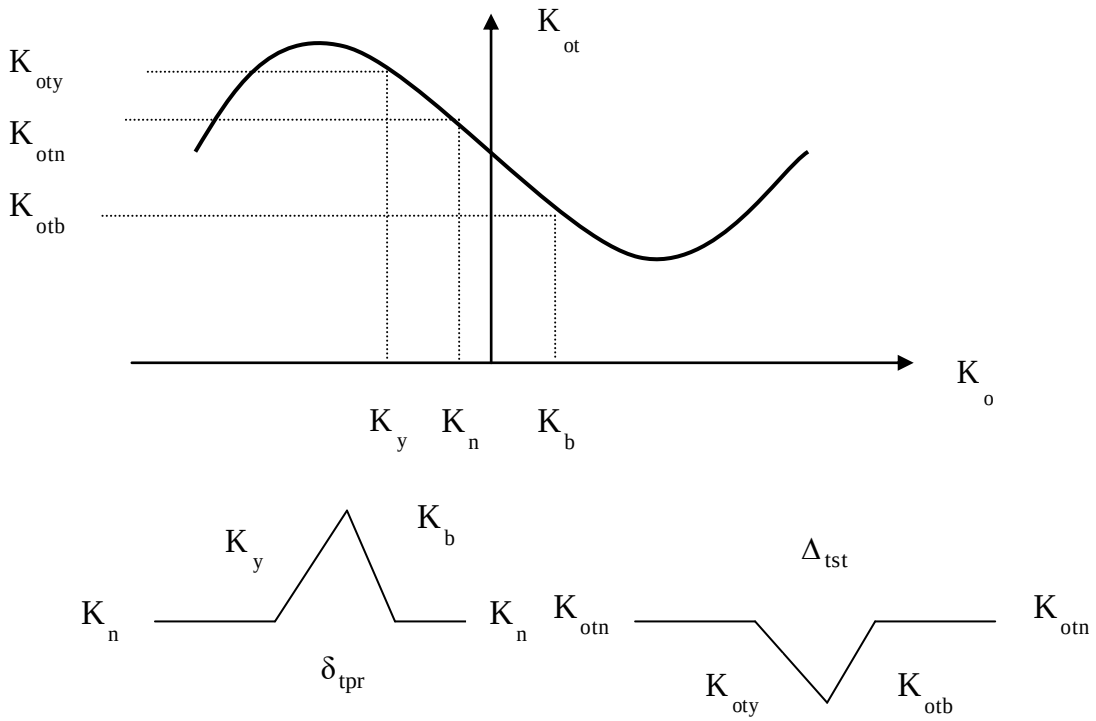


Рис. 3.18. Відповідність $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tst}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

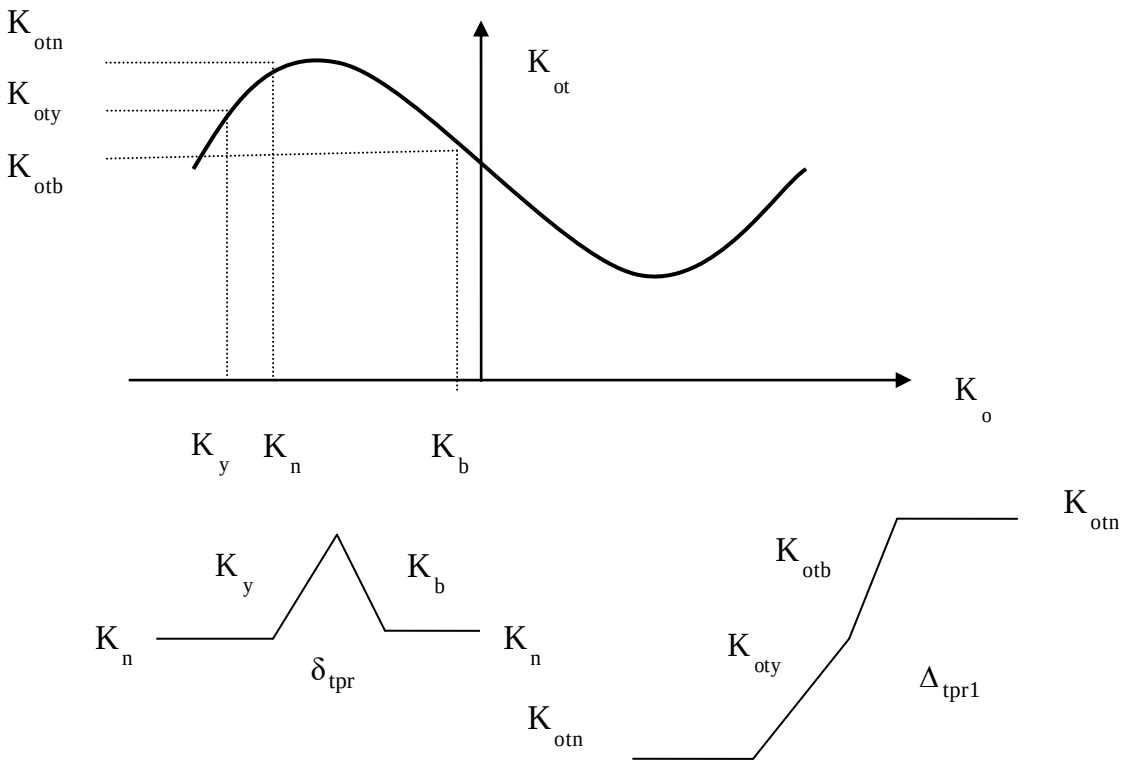


Рис. 3.19. Відповідність $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

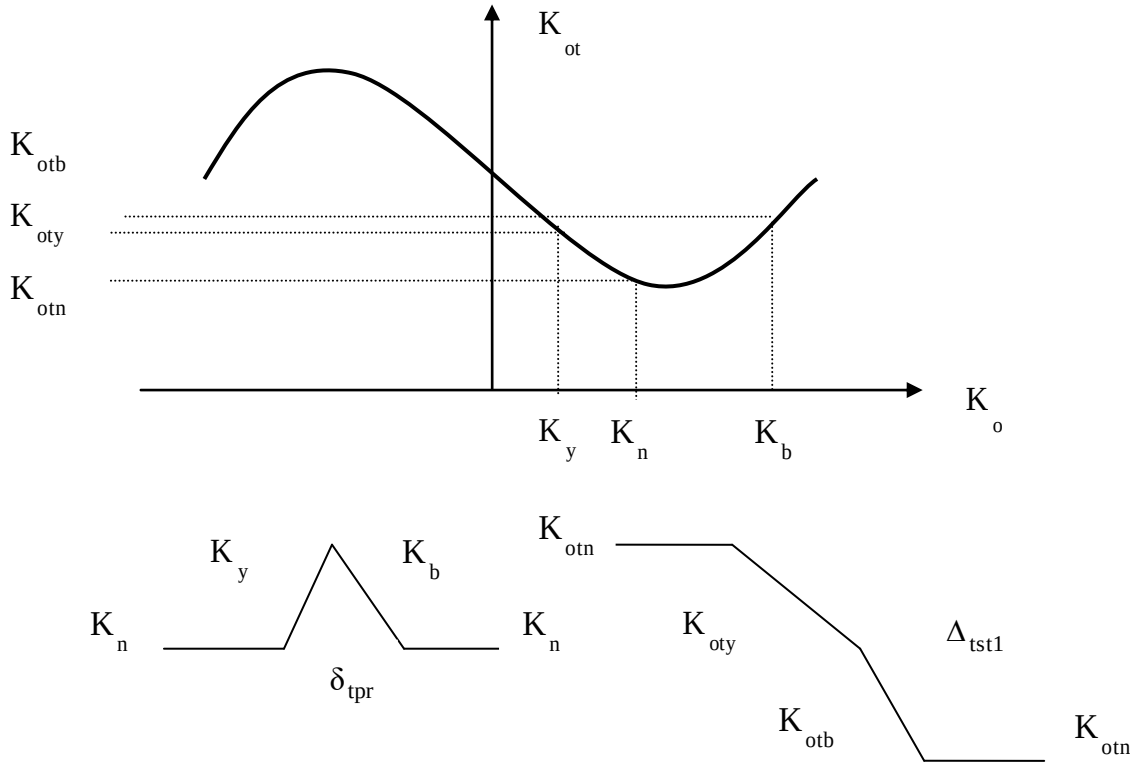


Рис. 3.20. Відповідність $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tst1}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

Таким чином, в загальному випадку форми δ_{tst} і δ_{tpr} істинної траєкторії розходження можуть відображатися в просторі відносного руху чотирма формами відносної траєкторії розходження Δ_{tst}, Δ_{tpr}, Δ_{tst1} і Δ_{tpr1}. У наступному розділі розглянемо умови, за яких реалізуються різні відповідності між формами істинної і відносної траєкторії розходження.

3.5. Висновки по третьому розділу.

В третьому розділі наведені аналітичні вирази, що зв’язують відносний і істинний курси маневруючого судна. Показано, що на залежність справжнього курсу від відносного курсу впливає співвідношення швидкостей судна і цілі.

Розглянуто стратегії розходження судна і їх характеристики в ситуації небезпечного зближення з ціллю. Наведено оцінку рівня небезпеки зближення суден за допомогою ситуаційного обурення. Показано, що стратегії розходження судна в залежності від значення ситуаційного обурення відносяться до стандартних стратегій або стратегій екстреного розходження. Стандартні стратегії містять дві ділянки і розрізняються ухиленням вправо і ухиленням вліво. Структура стратегій екстреного розходження залежить від поведінки цілі в процесі зближення і в розділі наведені чотири типи стратегій екстреного розходження. Розглянуті в розділі стратегії описують весь процес розходження з моменту часу початку ухилення з програмної траєкторії розходження до моменту часу повернення до неї після розходження з ціллю.

Крім приватних стратегій розходження в розділі запропонована повна стратегія розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації, яка для оперуючого судна є набором приватних стратегій в залежності від розвитку процесу зближення і поведінки цілі.

Так як для розходження обираються форми істинної траєкторії, а їх параметри залежать від форми відносної траєкторії розходження, то в розділі розглянуто зв’язок форм відносної і істинної траєкторій розходження. Показано, що існує дві форми істинної траєкторії стандартної стратегії розходження в загальному випадку їм можуть відповідати чотири форми відносної траєкторії розходження.

РОЗДІЛ 4.
МНОЖИНА СИТУАЦІЙ ВІДНОСНИХ ФОРМ ТРАЄКТОРІЇ РОЗХОДЖЕННЯ СУДНА.

4.1. Формування підмножини ситуацій відносних форм для форми істинної стратегії розходження ухиленням вправо.

Як відзначали в останньому підрозділі попереднього розділу, в загальному випадку форми δ_{tst} і δ_{tpr} істинної траєкторії розходження можуть відображатися в просторі відносного руху чотирма формами відносної траєкторії розходження Δ_{tst}, Δ_{tpr}, Δ_{tst1} і Δ_{tpr1}.

Для зручності множину абсолютних елементарних форм позначимо $M\delta_e$, причому $M\delta_e = \{\delta_{tst}, \delta_{tpr}\}$, а множину відносних елементарних форм – $M\Delta_e = \{\Delta_{tst}, \Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tpr1}\}$. У цьому розділі знайдемо відображення F_{em} множини $M\Delta_e$ в множину $M\delta_e$ для випадку, коли $\rho<1$. Маневру розходження відповідає пара суміжних курсів: ухилення K_y і виходу на задану траєкторію K_b, які обмежені з міркувань доцільності, тому абсолютним формам δ_{tst} і δ_{tpr} відповідає двовимірна область Ω_{yb} параметрів K_y і K_b. Відображення F_{em} ділить область Ω_{yb} на області відносної форми $\Omega_{\Delta j} \subseteq \Omega_{yb}$, кожна з яких характеризується незмінною відносною формою Δ_{tj}. Отже, відображення F_{em} елементарної абсолютної форми δ_{tst} або δ_{tpr} з областю Ω_{yb} ставить у відповідність сукупність елементарних відносних форм Δ_{tj} з областями $\Omega_{\Delta j} \subseteq \Omega_{yb}$. Очевидно, що для завдання відображення $F_{em} : M\Delta_e \to M\delta_e$ для заданої абсолютної форми δ_{tj} з областю Ω_{yb} повинні

бути вказані типи відносних форм Δ_{tj} і аналітично описані границі відповідних їм областей $\Omega_{\Delta j}$, які належать області Ω_{yb}.

Обмеження курсів K_y і K_b по доцільності вводяться з таких міркувань. Відхилення від початкового курсу при стандартному маневрі розходження не повинно перевищувати 90°, в іншому випадку судно буде ухилятися в напрямку зворотному програмного руху.

Після розходження вихід судна на програмну траєкторію відбувається під кутом γ до напрямку програмної траєкторії, причому кут γ має сенс обрати в межах від 30° до 90°. Якщо судно ухиляється і повертається на одну і ту саму ділянку програмної траєкторії з курсом K_o, то обмеження щодо доцільності мають такий вигляд:

$$K_o < K_y \le K_o + \delta_y 90 = K_y^*, \quad K_o - \delta_y 30 \le K_b < K_o - \delta_y 90.$$

Враховуючи, що змінні K_y і K_b є незалежними, то область Ω_{yb} має форму прямокутника, як показано на рис. 4.1.

Ситуацією $Q\Delta_i$ будемо називати сукупність областей $\Omega_{\Delta j}$ відносних Δ_{tj}, що знаходяться в області Ω_{yb} курсів ухилення і курсів виходу. Розглянемо можливі ситуації $Q\Delta_i$ при формі істинної траєкторії δ_{tst} в разі зміни різниці курсів ΔК оперуючого судна K_o і цілі K_c, причому $\Delta K = K_o - K_c$, від 0 до 2π.

При ΔК = 0 граничні значення допустимих множин курсів ухилення K_y і курсів виходу K_b не перевищують значень відповідно π/2 і -π/2 (рис. 4.2).

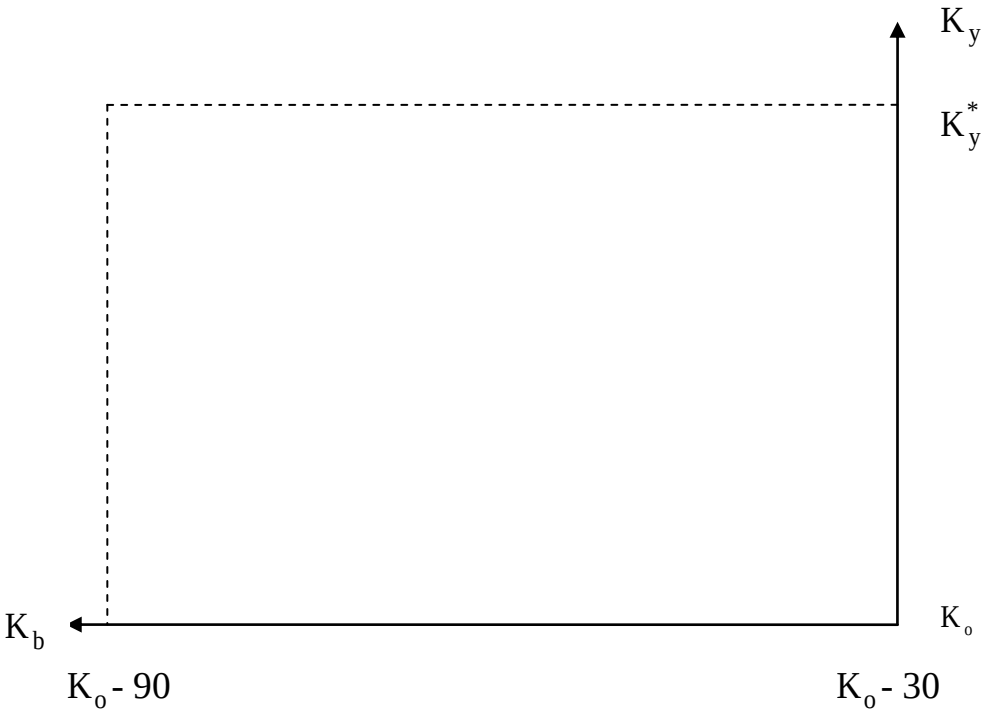


Рис. 4.1. Область Ω_{yb} значень курсів ухилення K_y і виходу K_b.

Отже, початкова ситуація $Q\Delta_1$ в цьому випадку містить тільки одну форму Δ_{tpr}, а область Ω_{yb} є тільки областю $\Omega_{\Delta pr}$ форми Δ_{tpr}, як показано на рис. 4.2. Інші форми відносної траєкторії ухилення і відповідні їм області в даній ситуації відсутні. На рис. 4.3 показана ситуація $Q\Delta_1$ для параметрів руху судна $K_o = 70°$, $V_o = 15$ вузл. і цілі $K_c = 70°$, $V_c = 20$ вузл. отже, $\Delta K_o = 0$ і $\rho = 0{,}75$.

На кривій залежності відносного курсу від ΔК показані точки початкового курсу, граничних курсів виходу і граничного курсу ухилення. У нижній частині екрану зліва показана форма істинної траєкторії розходження, а в правій частині екрану – відносної траєкторії розходження. Зліва на екрані показано графічне відображення області Ω_{yb}.

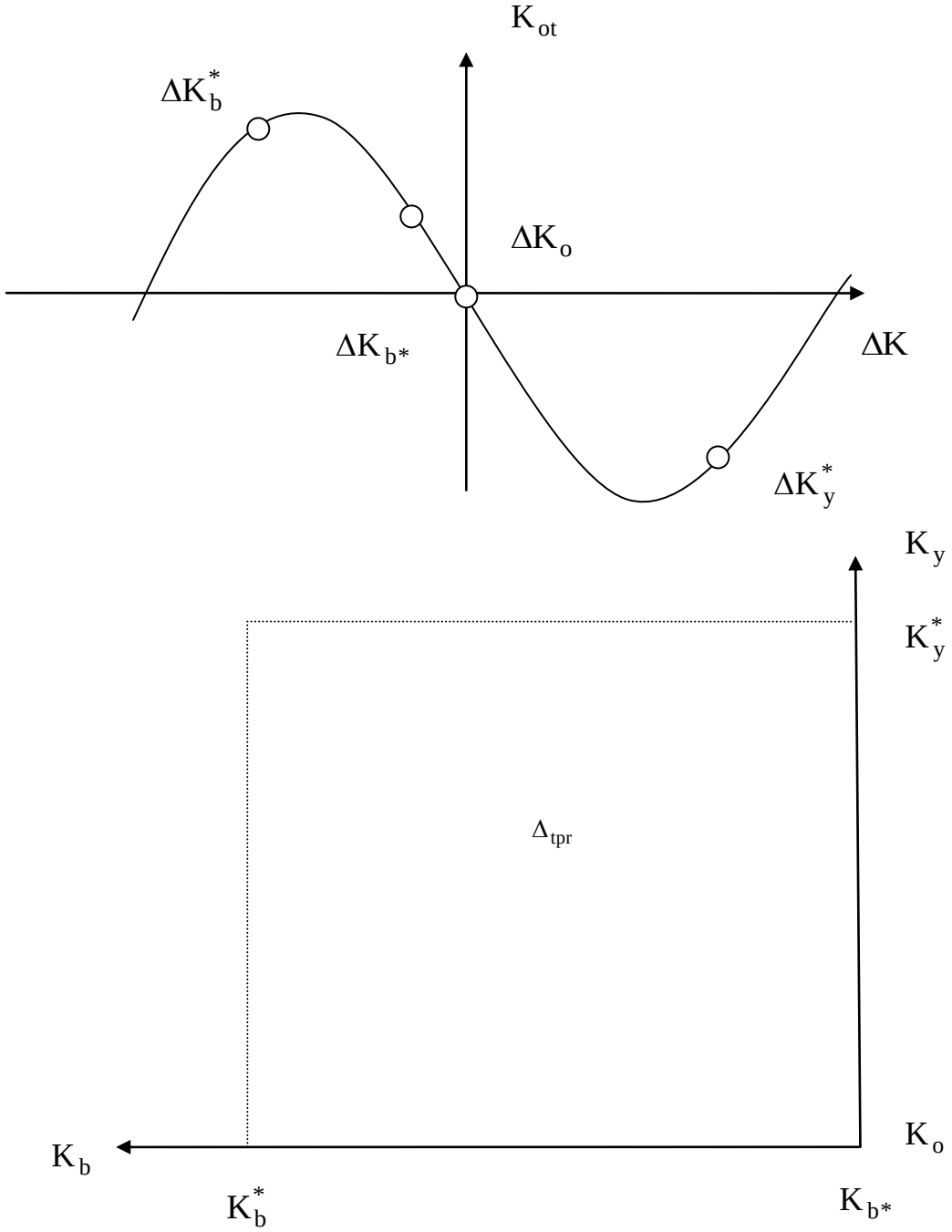


Рис. 4.2. Область Ω_{yb} в ситуації $Q\Delta_1$ при ΔK_o=0

З ростом ΔК з'являється ще й область $\Omega_{\Delta st1}$, відповідна відносній формі Δ_{tst1}. Тому границя ΔK_1 між ситуацією $Q\Delta_1 = (\Delta_{tpr})$ і ситуацією

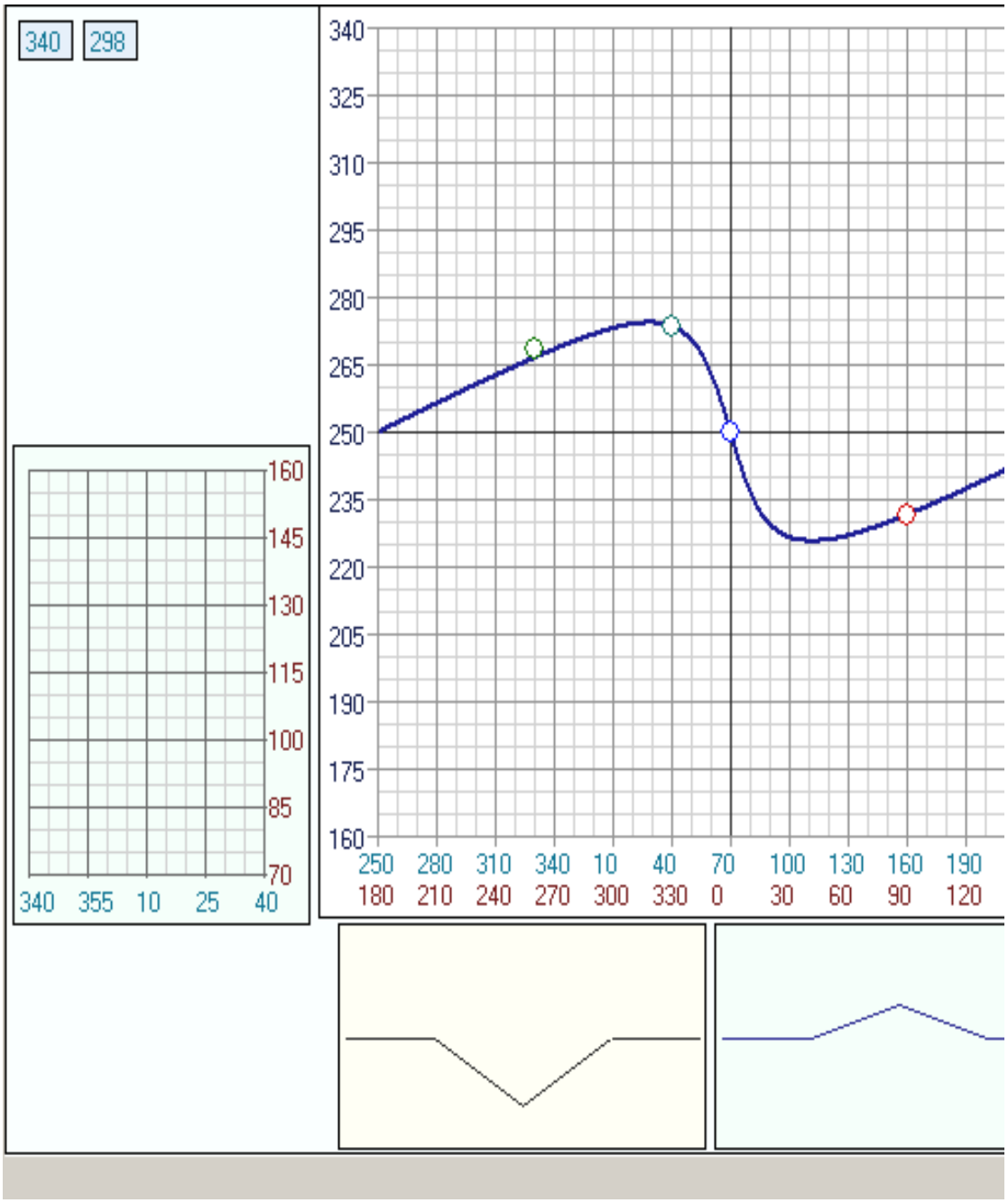


Рис. 4.3. Імітація ситуації $Q\Delta_1$ при $K_o = 70°$ і $\Delta K_o = 0°$

$Q\Delta_2 = (\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1})$ знаходиться, як випливає з рис. 4.4, за умови рівності відносних курсів:

$$K^*_{oty} = K_{oto},$$

причому

$$K_y^* = K_o + \frac{\pi}{2}. \qquad (4.1)$$

Для курсів K_y^* і K_o справедливі вирази:

$$K_y^* = K_{oty}^* + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oty}^* - K_c)];$$

$$K_o = K_{oto} + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)], \qquad (4.2)$$

з урахуванням яких вираз (4.1) приймає наступний вигляд:

$$K_{oto} + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)] = K_{oto} + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)] + \frac{\pi}{2},$$

звідки отримаємо:

$$\arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)] = \frac{3\pi}{4}, \text{ або}$$

$$\sin(K_{oto} - K_c) = \rho\sin(\frac{3\pi}{4}), \text{ і } K_{oto} = K_c + \arcsin[\rho\sin(\frac{3\pi}{4})].$$

Підставляємо отриманий вираз для K_{oto} в (4.2):

$$K_o = K_c + \arcsin[\rho\sin(\frac{3\pi}{4})] + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\rho\sin(\frac{3\pi}{4})] = K_c + \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho\frac{\sqrt{2}}{2}).$$

Тому:

$$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho\frac{\sqrt{2}}{2}).$$

У разі реалізації ситуації $Q\Delta_2$, коли $\Delta K > \Delta K_1$ границя курсу судна ΔK_{y1}, що розділяє області $\Omega_{\Delta pr}$ і $\Omega_{\Delta st1}$ з формами відносних траєкторій Δ_{tpr} і Δ_{tst1},

визначається рівністю $K_{oty1} = K_{oto}$ і виражається залежністю:

$$\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c].$$

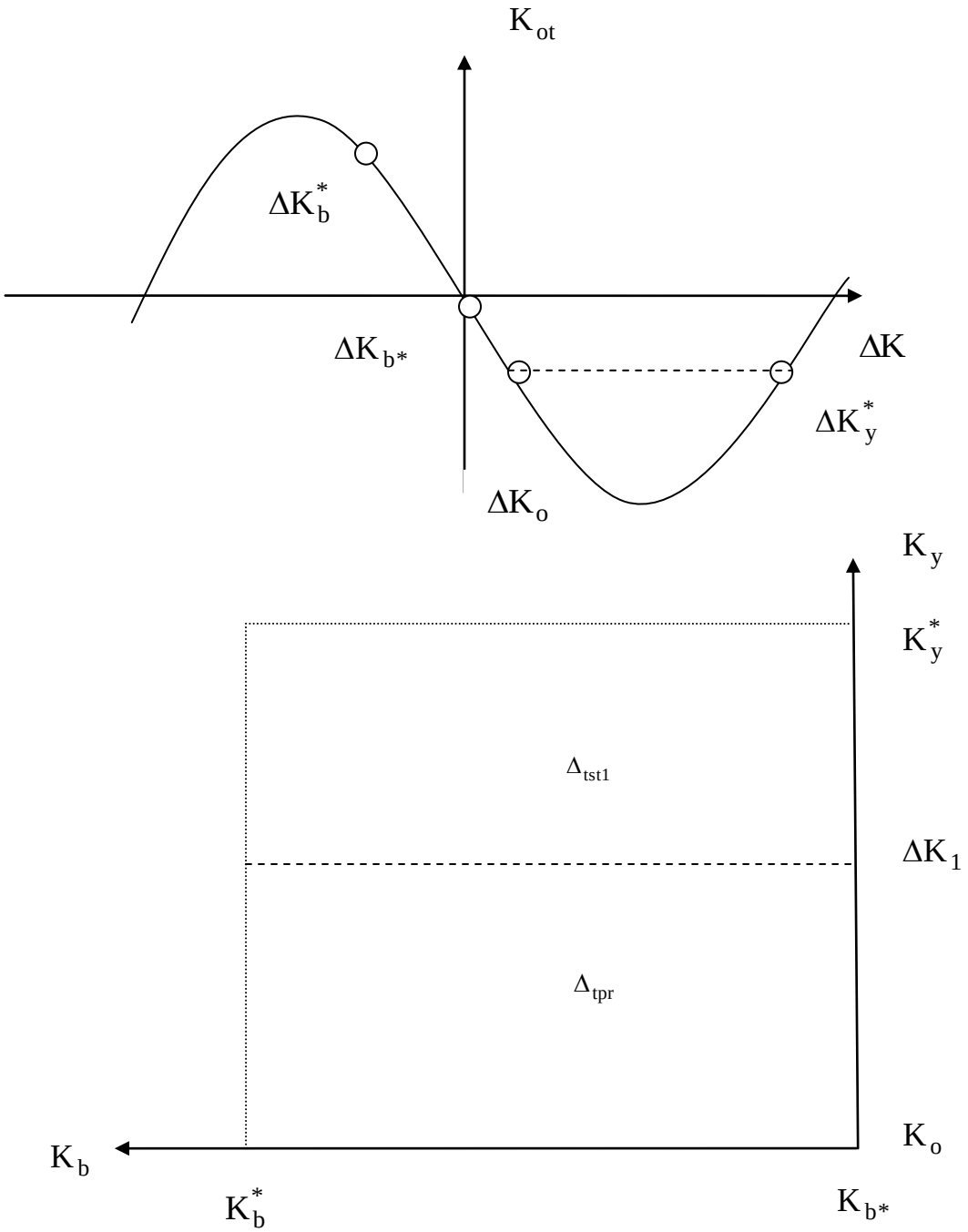


Рис. 4.4. Визначення границі ΔK_1 зміни ситуацій $Q\Delta_1$ і $Q\Delta_2$

Комп'ютерна імітація ситуації $Q\Delta_2$ представлена на рис. 4.5 для курсу оперуючого судна K_o=100°, причому відображення області Ω_{yb} розділено на області $\Omega_{\Delta pr}$ і $\Omega_{\Delta pr1}$ кордоном ΔK_{y1}= 126°.

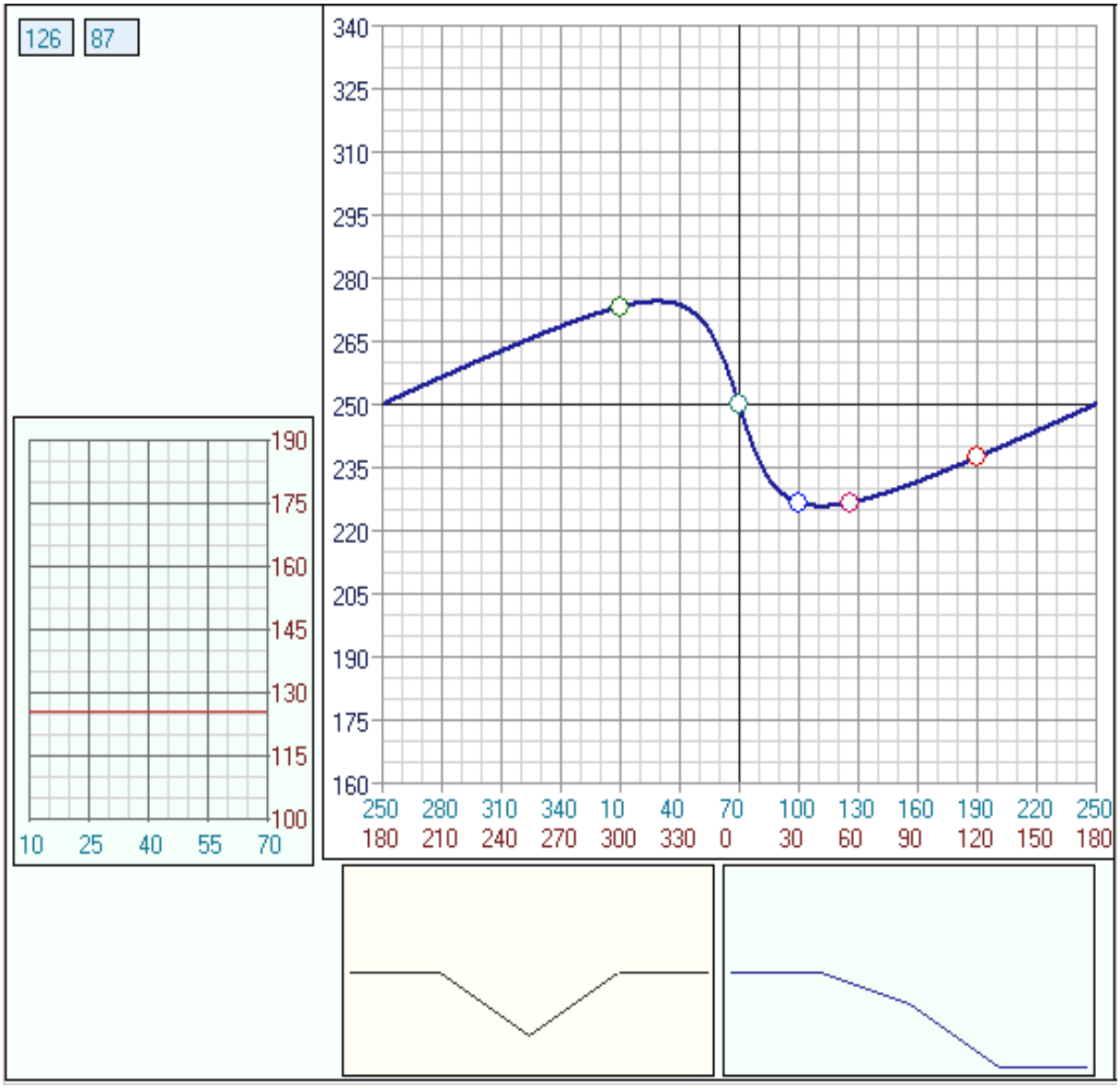


Рис. 4.5. Комп'ютерна імітація ситуації $Q\Delta_2$ для K_o=100°

Подальше зростання ΔK веде до появи нової ситуації $Q\Delta_3 = (\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$, яка містить додаткову область $\Omega_{\Delta st}$ з формою

відносної траєкторії Δ_{tst}, причому границя ΔK_2 між ситуаціями $Q\Delta_2$ і $Q\Delta_3$ визначається рівністю відносних курсів K^*_{oty} і K_{otb*}, тобто (рис. 4.6):

$$K^*_{oty} = K_{otb*}, \tag{4.3}$$

причому

$$K^*_y = K_{b*} + \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2} = K_{b*} + \frac{2\pi}{3}. \tag{4.4}$$

Використовуємо залежності справжніх курсів від відносних курсів:

$$K_{b*} = K_{otb*} + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb*} - K_c)],$$

$$K^*_y = K^*_{oty} + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K^*_{oty} - K_c)]. \tag{4.5}$$

Підставляємо отримані вирази в (4.4):

$$K^*_{oty} + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K^*_{oty} - K_c)] = K^*_{oty} + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K^*_{oty} - K_c)] + \frac{2\pi}{3},$$

звідки

$$\arcsin[\rho^{-1}\sin(K^*_{oty} - K_c)] = \frac{5\pi}{6} \quad \text{і} \quad K^*_{oty} = K_c + \arcsin[\rho\sin\frac{5\pi}{6}].$$

Підставляємо вираз для K^*_{oty} в (4.5):

$$K_o + \frac{\pi}{2} = K_2 + \arcsin[\rho\sin\frac{5\pi}{6}] + \arcsin[\rho^{-1}\rho\sin\frac{5\pi}{6}],$$

звідки отримаємо:

$$\Delta K_2 = \frac{\pi}{3} - \arcsin(\frac{1}{2}\rho).$$

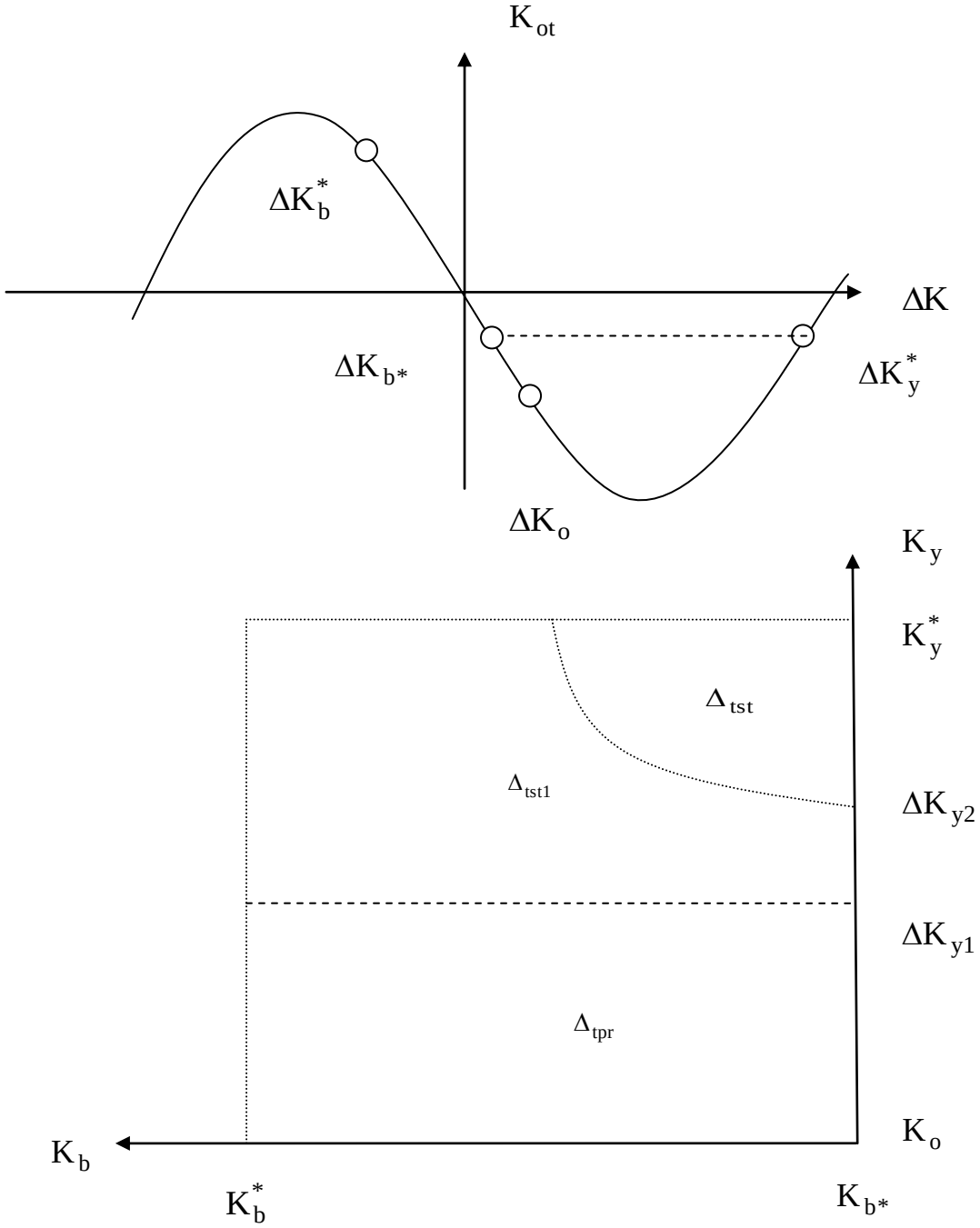


Рис. 4.6. Границя ΔK_2 зміни ситуації $Q\Delta_2$ і $Q\Delta_3$

В разі $\Delta K > \Delta K_2$ границя курсу судна ΔK_{y2}, яка розділяє області $\Omega_{\Delta st1}$ і $\Omega_{\Delta st}$ з формами траєкторій Δ_{tst1} і Δ_{tst}, визначається рівністю $K_{oty2} = K_{otb}$ і, отже, залежністю:

$$\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)].$$

Границя курсу судна ΔK_{y2}, як крива залежності курсу ухилення K_y від курсу виходу K_b, показана на рис. 4.6 з допомогою крапкової кривої.

Очевидно, що при $K_{oto} = K_{otmin}$, тобто $K_o = K_{omin} = K_c + \arccos(\rho)$ область $\Omega_{\Delta pr}$ з відносною формою Δ_{tpr} зникає і з'являється нова ситуація $Q\Delta_4 = (\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$, як показано на рис. 4.7.

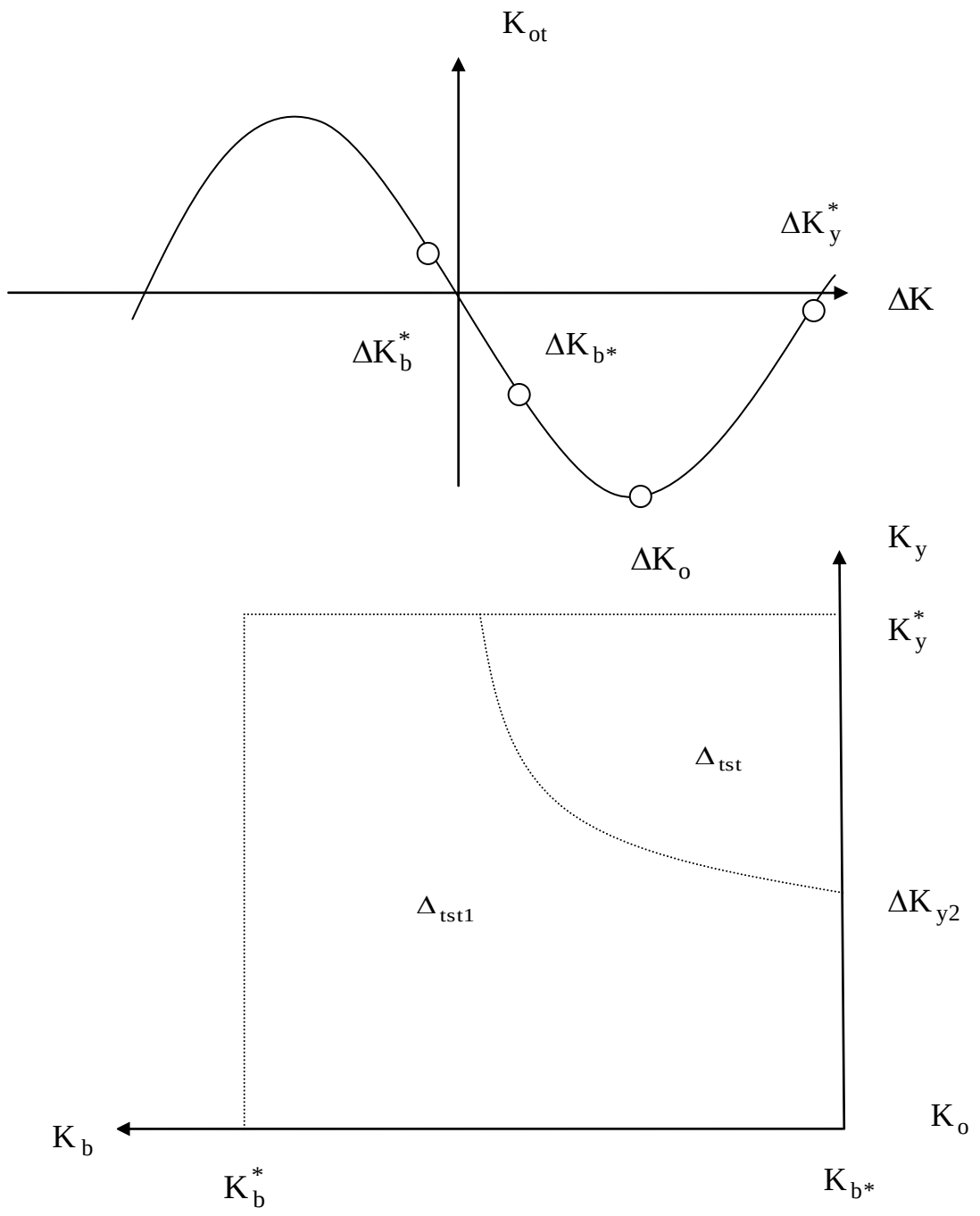


Рис. 4.7. Визначення границі ΔK_3 зміни ситуацій $Q\Delta_3$ і $Q\Delta_4$

Границя ΔK_3, при якій відбувається зміна ситуацій $Q\Delta_3$ і $Q\Delta_4$, визначається формулою:

$$\Delta K_3 = \arccos(\rho).$$

На рис. 4.8 показана ситуація $Q\Delta_4$, коли $\Delta K_o = \Delta K_3$, тобто $K_o = 111°$.

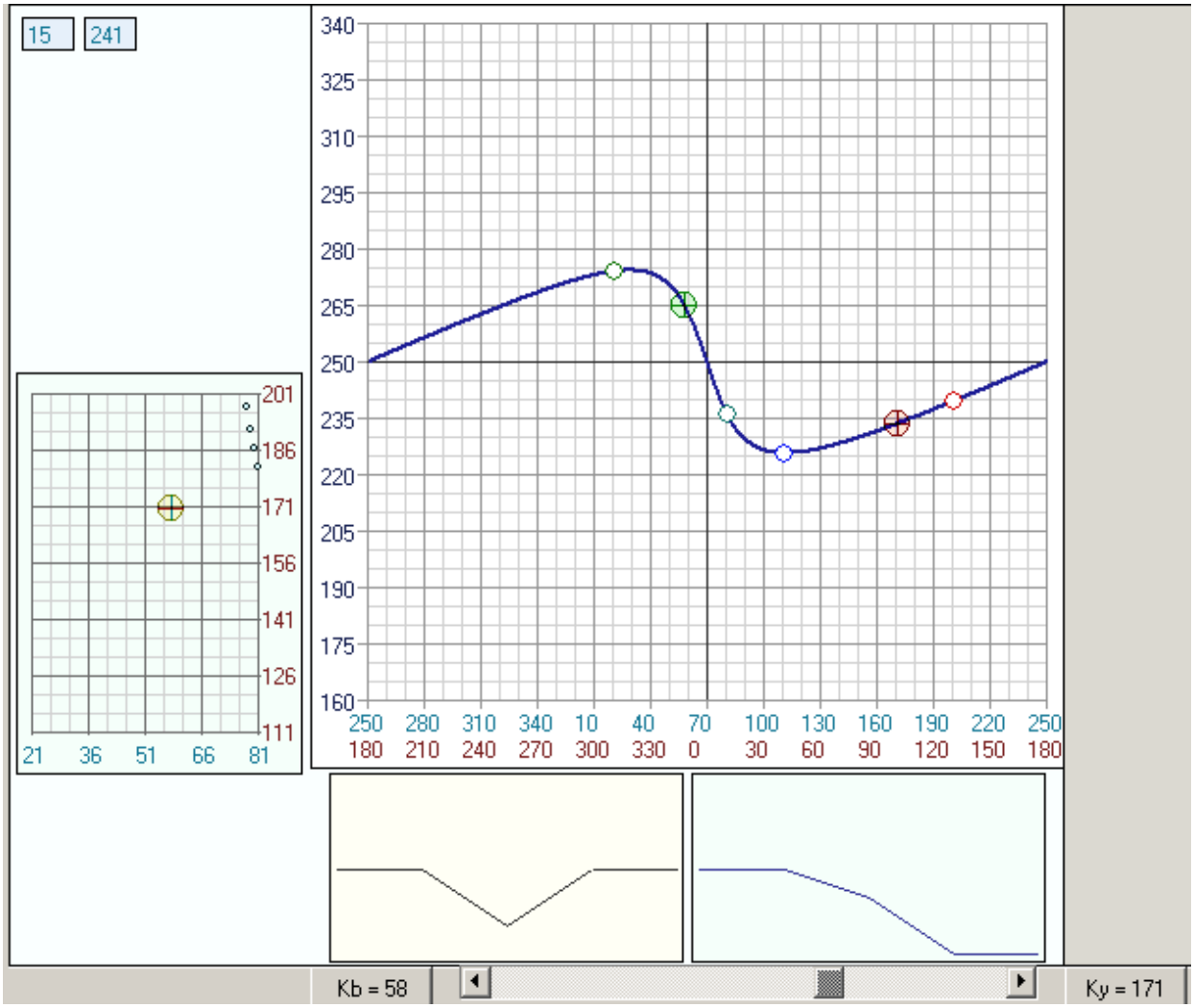


Рис. 4.8. Ситуація $Q\Delta_4$ при $K_o = 111°$

З рисунку видно, що область Ω_{yb} розділена границею ΔK_{y2} на області $\Omega_{\Delta st1}$ і $\Omega_{\Delta st}$.

Ситуація $Q\Delta_4$ зберігається до настання рівності відносних курсів:

$$K^*_{otb} = K_{oto}, \qquad (4.6)$$

після чого область $\Omega_{\Delta st1}$ зникає і з'являється нова ситуація $Q\Delta_5$, яка характеризується тільки областю $\Omega_{\Delta st}$, тобто $Q\Delta_5 = (\Delta_{tst})$. Границя ΔK_4 зміни ситуації $Q\Delta_4$ на ситуацію $Q\Delta_5$ визначається рівністю (4.6) з урахуванням $K_o = K^*_b + \pi/2$, як показано на рис. 4.9. Курси K_o і K^*_b виража-

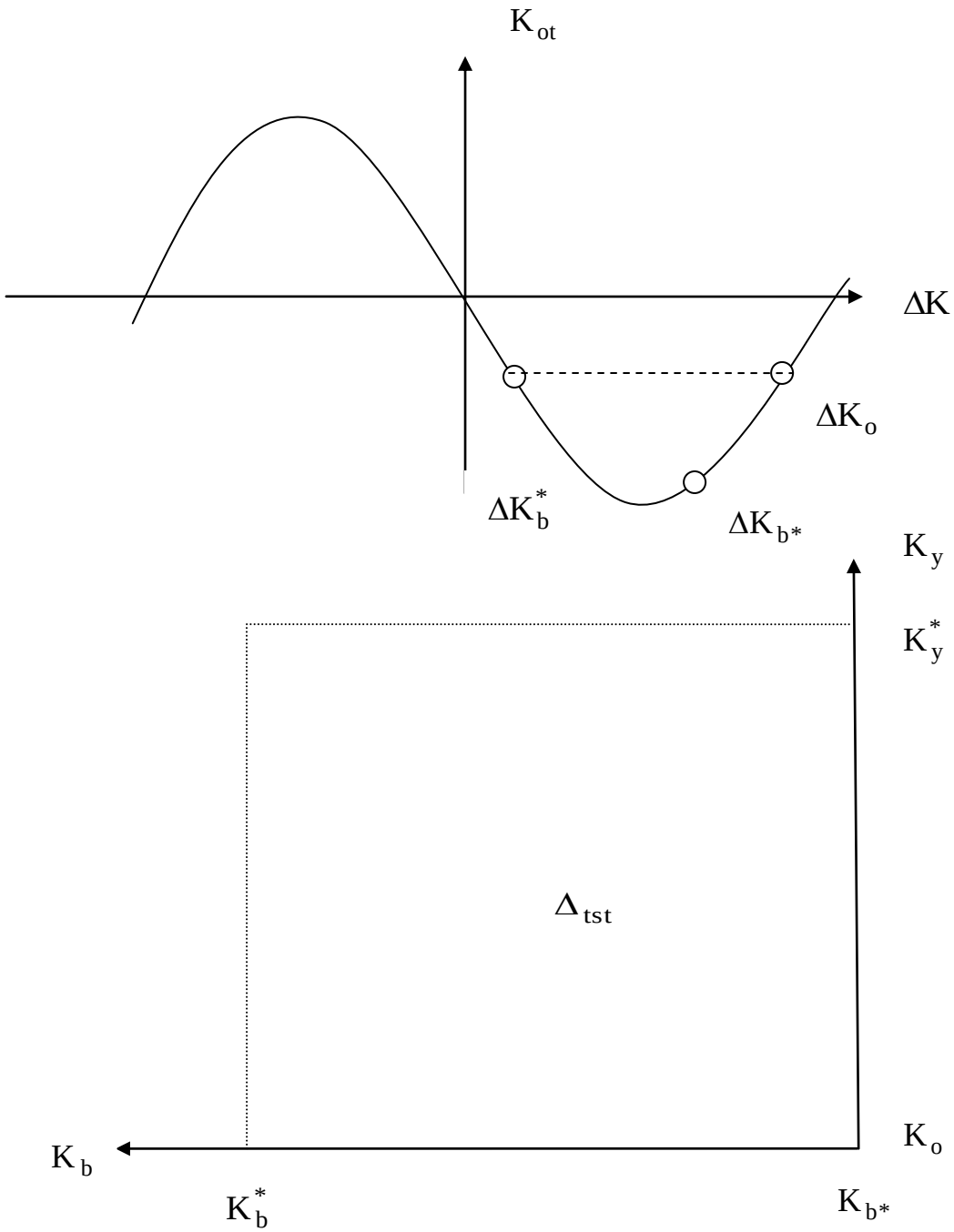


Рис. 4.9. Границя ΔK_4 зміни ситуації $Q\Delta_4$ на ситуацію $Q\Delta_5$

ються через відносний курс K_{oto} наступним чином:

$$K_o = K_{oto} + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)], \qquad (4.7)$$

$$K_b^* = K_{oto} + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)].$$

З урахуванням співвідношення між K_o і K_b^* справедливе рівняння:

$$K_{oto} + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)] = K_{oto} + \pi - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)] + \frac{\pi}{2},$$

звідки

$$\arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)] = \frac{3\pi}{4} \quad \text{і} \quad K_{oto} = K_c - \arcsin(0{,}71\rho).$$

На рис. 4.10 показана ситуація $Q\Delta_5$ при $\Delta K_o = \Delta K_4$, причому $\Omega_{yb} = \Omega_{\Delta st}$.

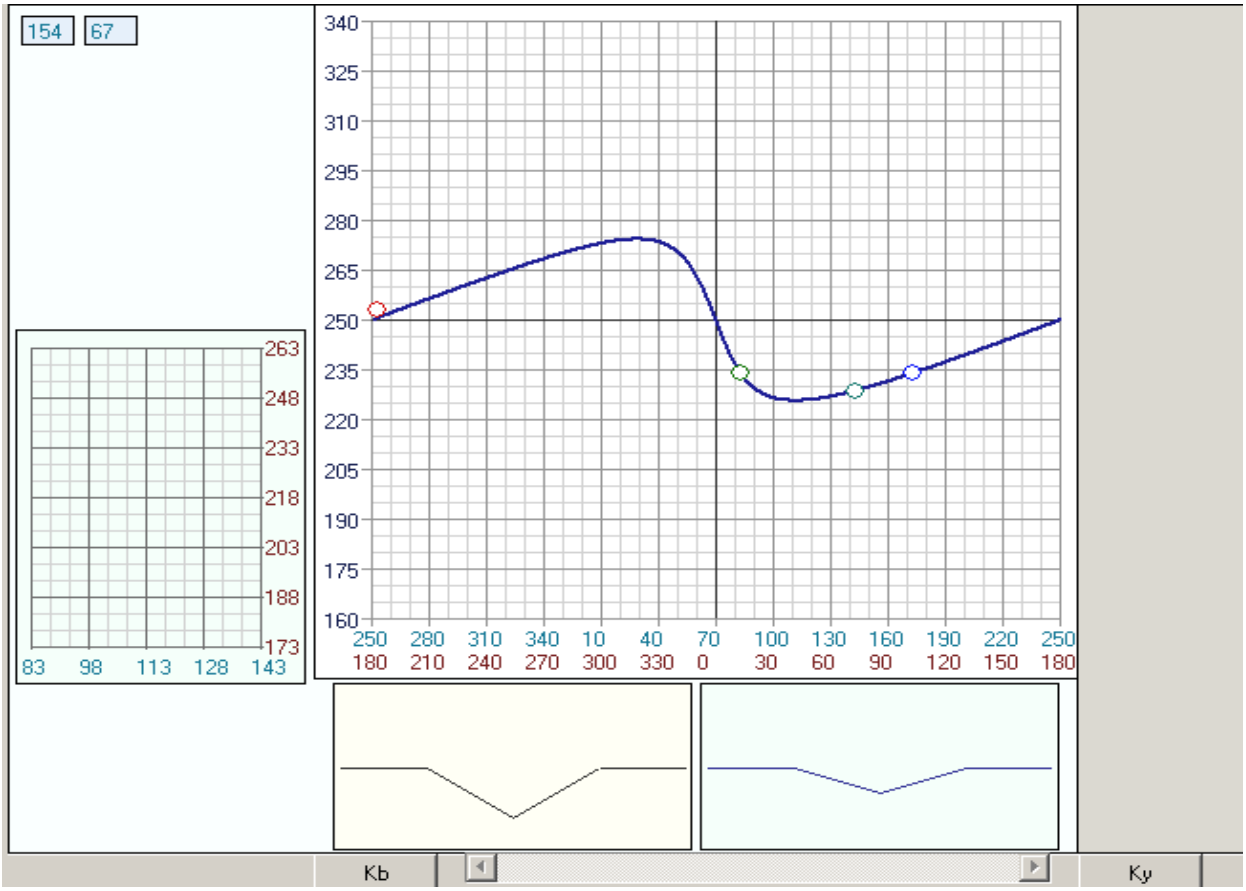


Рис. 4.10. Ситуація $Q\Delta_5$ при $\Delta K_o = \Delta K_4$ і $K_o = 173°$

Після підстановки K_{oto} в (4.7) можемо отримати для границі ΔK_4:

$$\Delta K_4 = \frac{3\pi}{4} - \arcsin(0{,}71\rho).$$

Збільшення значення ΔК веде до появи ситуації $Q\Delta_6$ натомість ситуації $Q\Delta_5$, причому ситуація $Q\Delta_6 = (\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst})$. Зміна ситуації $Q\Delta_5$ на $Q\Delta_6$ відбувається, як видно з рис. 4.11, при досягненні рівності початкового відносного курсу з граничним відносним курсом ухилення:

$$K^*_{oty} = K_{oto},$$

причому

$$K^*_y = K_o + \frac{\pi}{2}.$$

Наведені співвідношення дозволяють знайти границю ΔK_5 зміни ситуацій $Q\Delta_5$ і $Q\Delta_6$, аналогічно пошуку попередніх границь:

$$\Delta K_5 = \frac{5\pi}{4} + \arcsin(0{,}71\rho).$$

На рис. 4.12 показана ситуація $Q\Delta_6$ з $\Delta K_5 = 257°$ і $K_o = 347°$. Границя ΔK_{y3} між областями $\Omega_{\Delta st}$ і $\Omega_{\Delta pr1}$ визначається з рівності курсів $K_{oty} = K_{oto}$, звідки для даної ситуації:

$$\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)].$$

На рис. 4.12 показана границя $\Delta K_{y3} = 52°$.

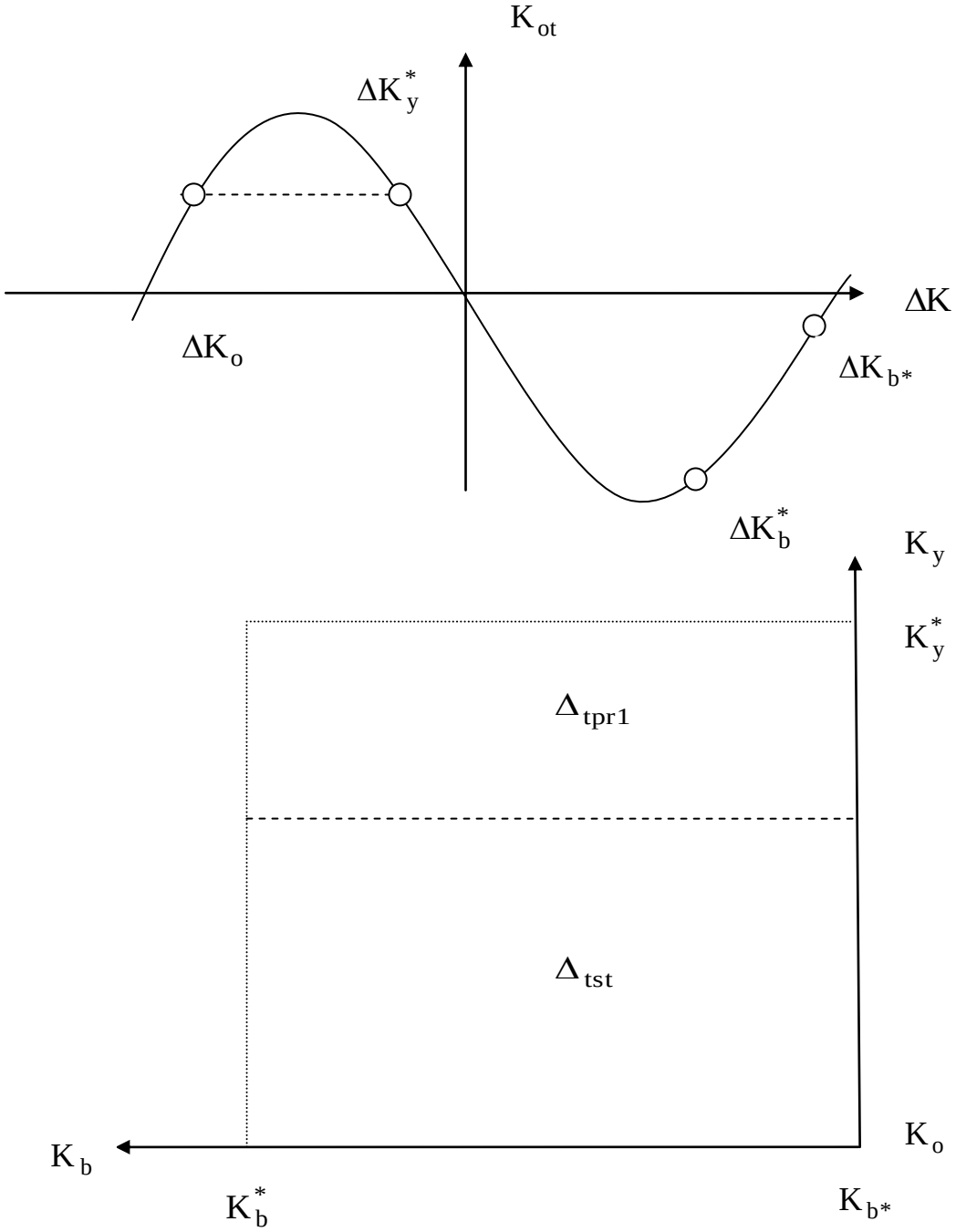


Рис. 4.11. Визначення границі ΔK_5 зміни ситуацій $Q\Delta_5$ і $Q\Delta_6$

Зміна ситуації $Q\Delta_6$ на ситуацію $Q\Delta_7 = (\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst}, \Delta_{tpr})$, при якій з'являється область $\Omega_{\Delta pr}$, відбувається зі збільшенням ΔК до значення, при якому настає рівність $K_{oty}^* = K_{otb*}$ (рис. 4.13). Границя ΔK_6, при якій відбувається зміна

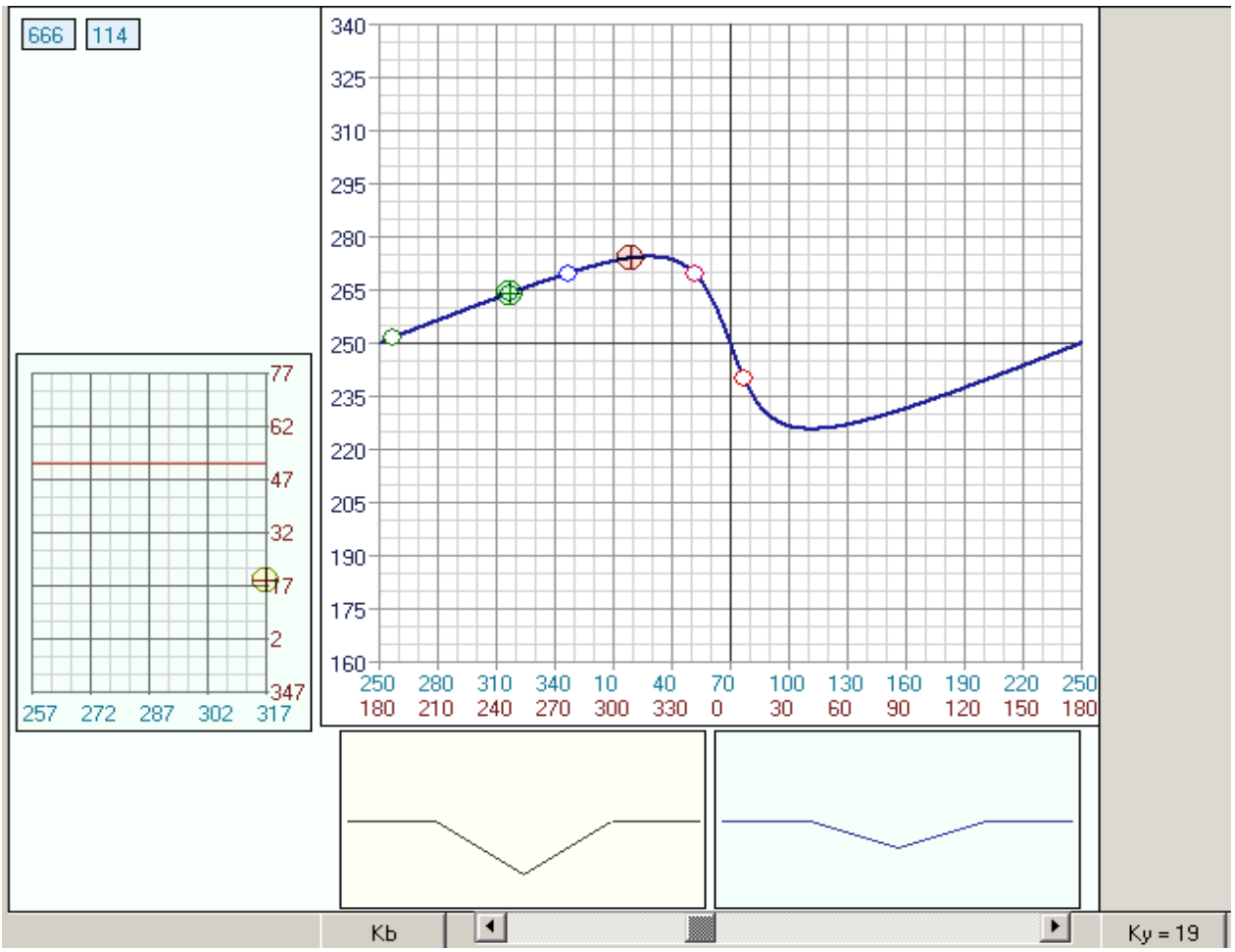


Рис. 4.12. Ситуація $Q\Delta_6$ при $\Delta K_5 = 257°$ і $K_o = 347°$

ситуації $Q\Delta_6$ на $Q\Delta_7$, визначається наступними вихідними рівняннями:

$$K^*_{oty} = K_{otb*} \text{ і } K^*_y = K_{b*} + \frac{2\pi}{3}.$$

Спільне рішення наведених рівнянь раніше використаним способом дозволяє знайти вираз для границі ΔK_6, яке має наступний вигляд:

$$\Delta K_6 = \frac{4\pi}{3} + \arcsin(0{,}5\rho).$$

При збільшенні різниці курсів $\Delta K > \Delta K_6$ з'являється границя ΔK_{y4} між областями $\Omega_{\Delta pr}$ і $\Omega_{\Delta pr1}$, яка визначається рівністю $K_{oty4} = K_{otb}$ і, отже, аналітичною залежністю від відносного кусу виходу:

$$\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)].$$

Звертаємо увагу, що границя ΔK_{y4} повільно змінюється зі зміною курсу виходу судна на задану траєкторію K_b, що випливає з аналізу рис. 4.13.

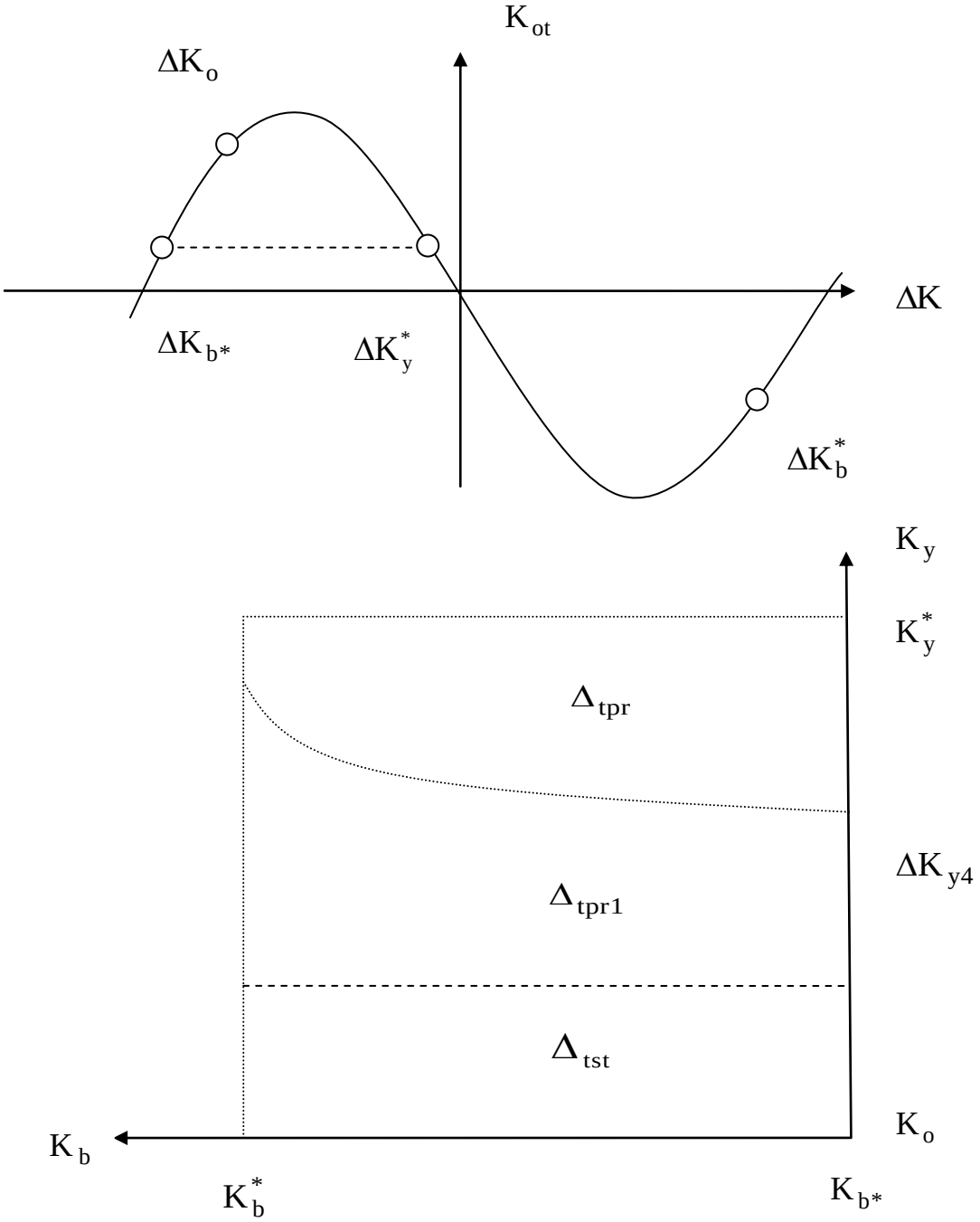


Рис. 4.13. Умова розрахунку границі ΔK_6 зміни ситуації $Q\Delta_6$ на $Q\Delta_7$

На рис. 4.14 показана ситуація $Q\Delta_7$ при курсі судна $K_o = 358°$ і границі

$\Delta K_6 = 262°$, з урахуванням параметрів руху цілі і швидкості судна, обраних для комп'ютерного прикладу.

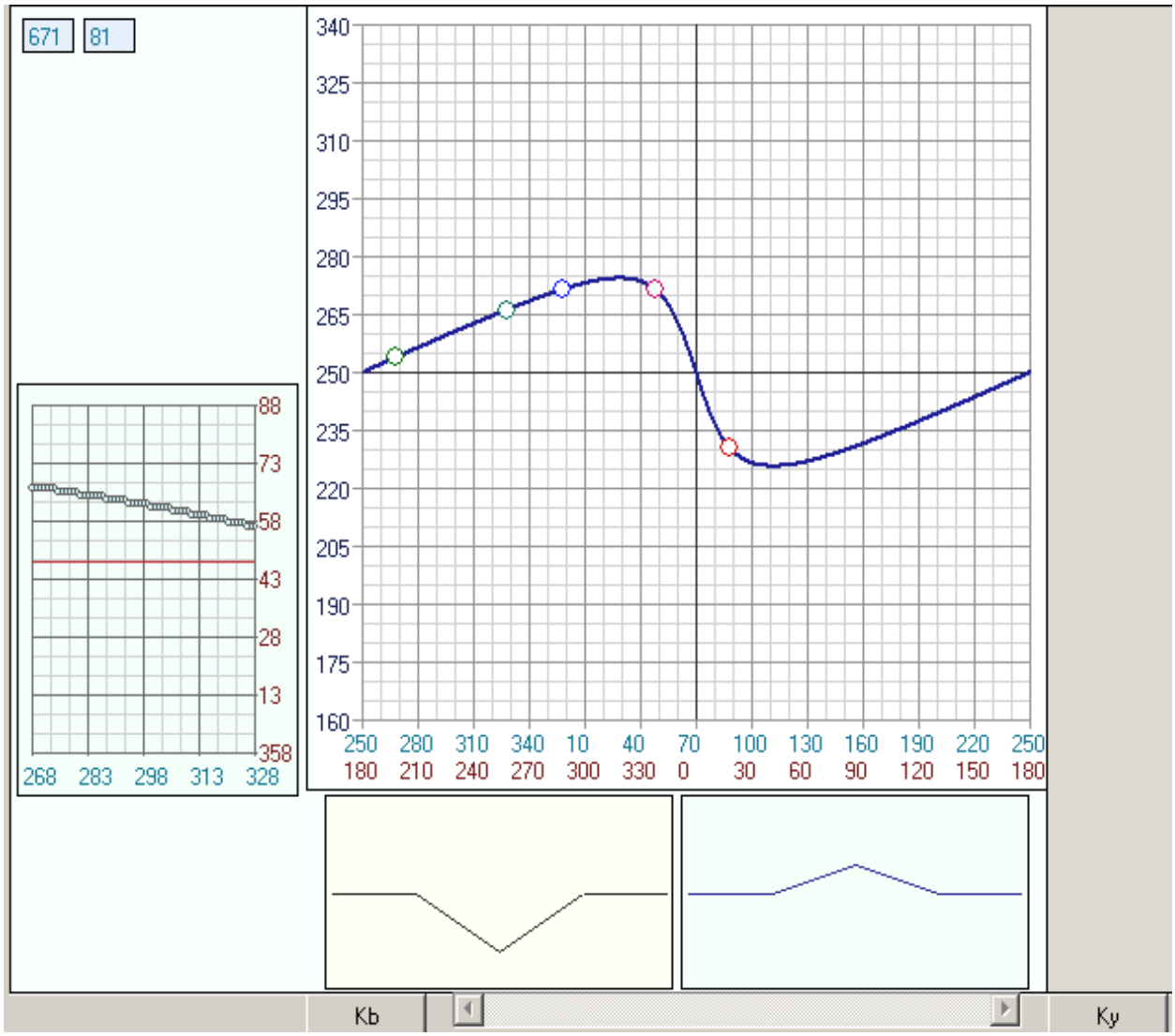


Рис. 4.14. Ситуація $Q\Delta_7$ при $\Delta K_6 = 262°$ і $K_o = 358°$

Подальше збільшення значення ΔК веде до чергової зміни ситуації $Q\Delta_7$ на $Q\Delta_8 = (\Delta_{tpr1}, \Delta_{tpr})$. Причому це відбувається, коли стає справедливим рівність $K_{oto} = K_{otmax}$, як показано на рис. 4.15, з якого отримуємо очевидний вираз для границі ΔK_7, при якій відбувається зміна ситуації $Q\Delta_7$ на $Q\Delta_8$, що має вигляд:

$$\Delta K_7 = 2\pi - \arccos\rho \ .$$

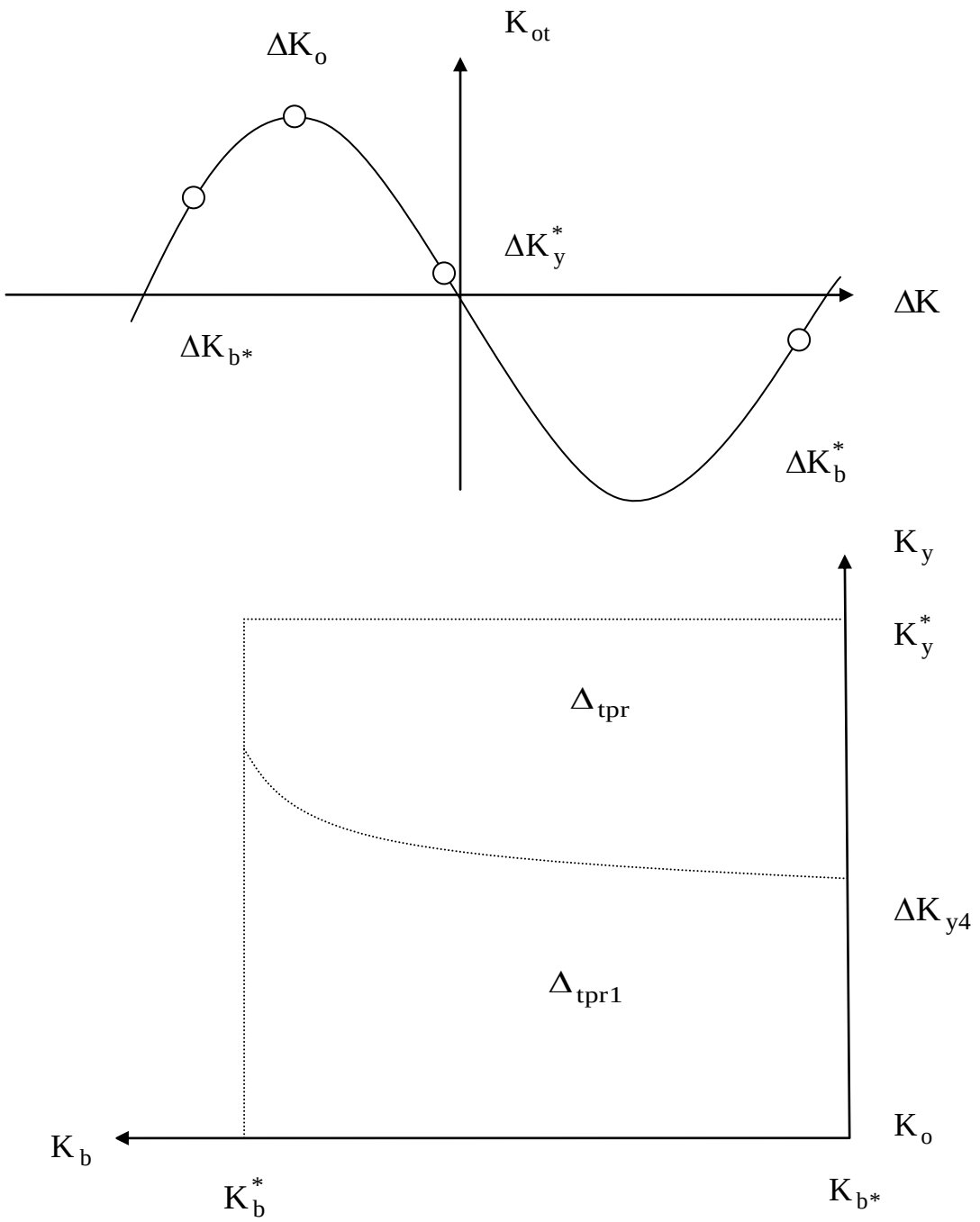


Рис. 4.15. Умова розрахунку границі ΔK_7 зміни ситуації $Q\Delta_7$ на $Q\Delta_8$

На рис. 4.16 показана ситуація $Q\Delta_8$ при границі $\Delta K_7 = 319°$ і курсі судна $K_o = 29°$ з урахуванням швидкості судна і параметрів руху цілі, обраних для комп'ютерного прикладу.

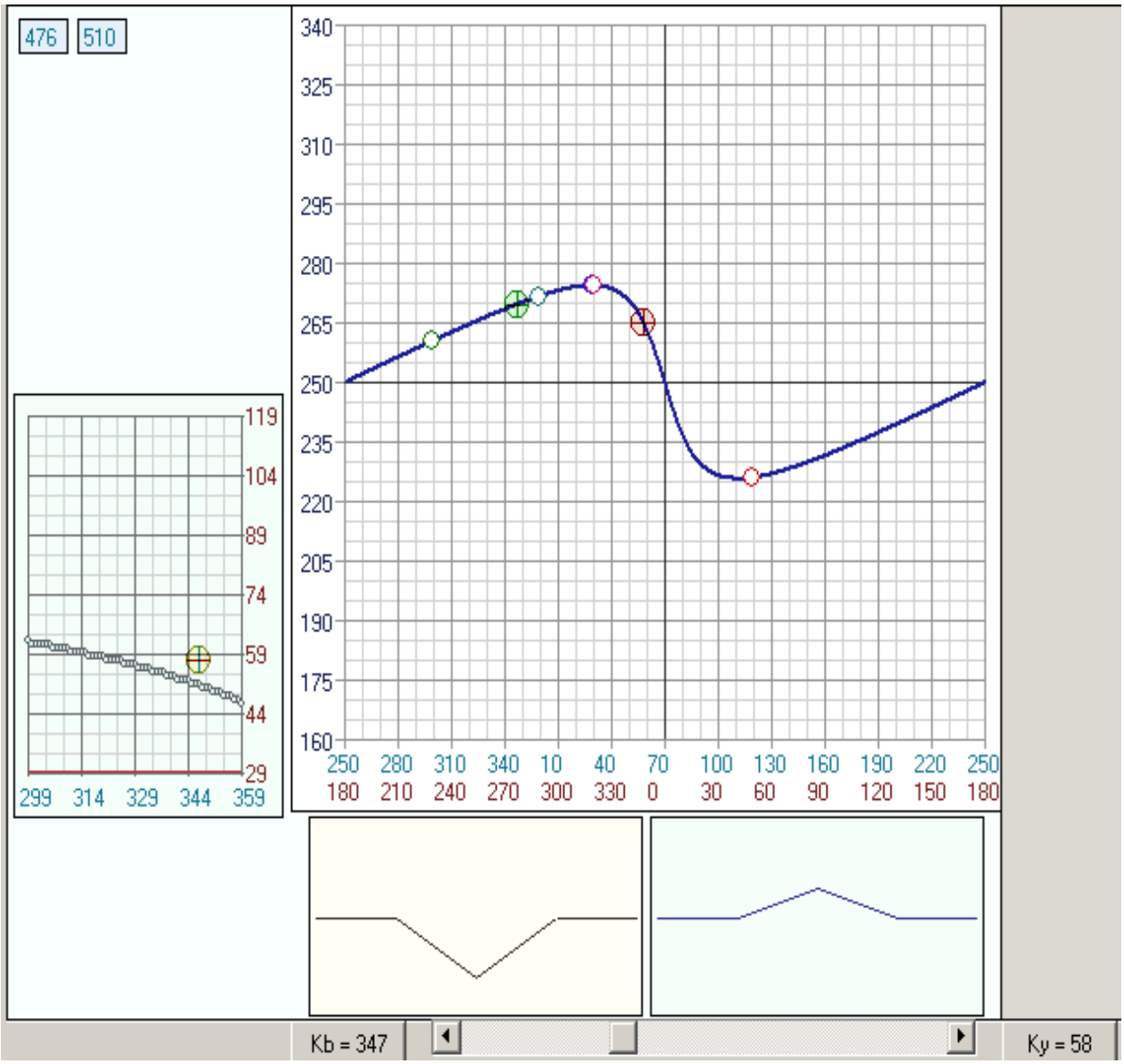


Рис. 4.16. Ситуація $Q\Delta_8$ при $\Delta K_7 = 319°$, $K_o = 29°$

При збільшенні різниці курсів судна і цілі ΔK відбувається зміна ситуації $Q\Delta_8$ на ситуацію $Q\Delta_1$ при рівності відносних курсів $K^*_{otb} = K_{oto}$, що показано на рис. 4.17, причому границя зміни зазначених ситуацій визначається виразом:

$$\Delta K_8 = \frac{7\pi}{4} + \arcsin(0{,}71\rho).$$

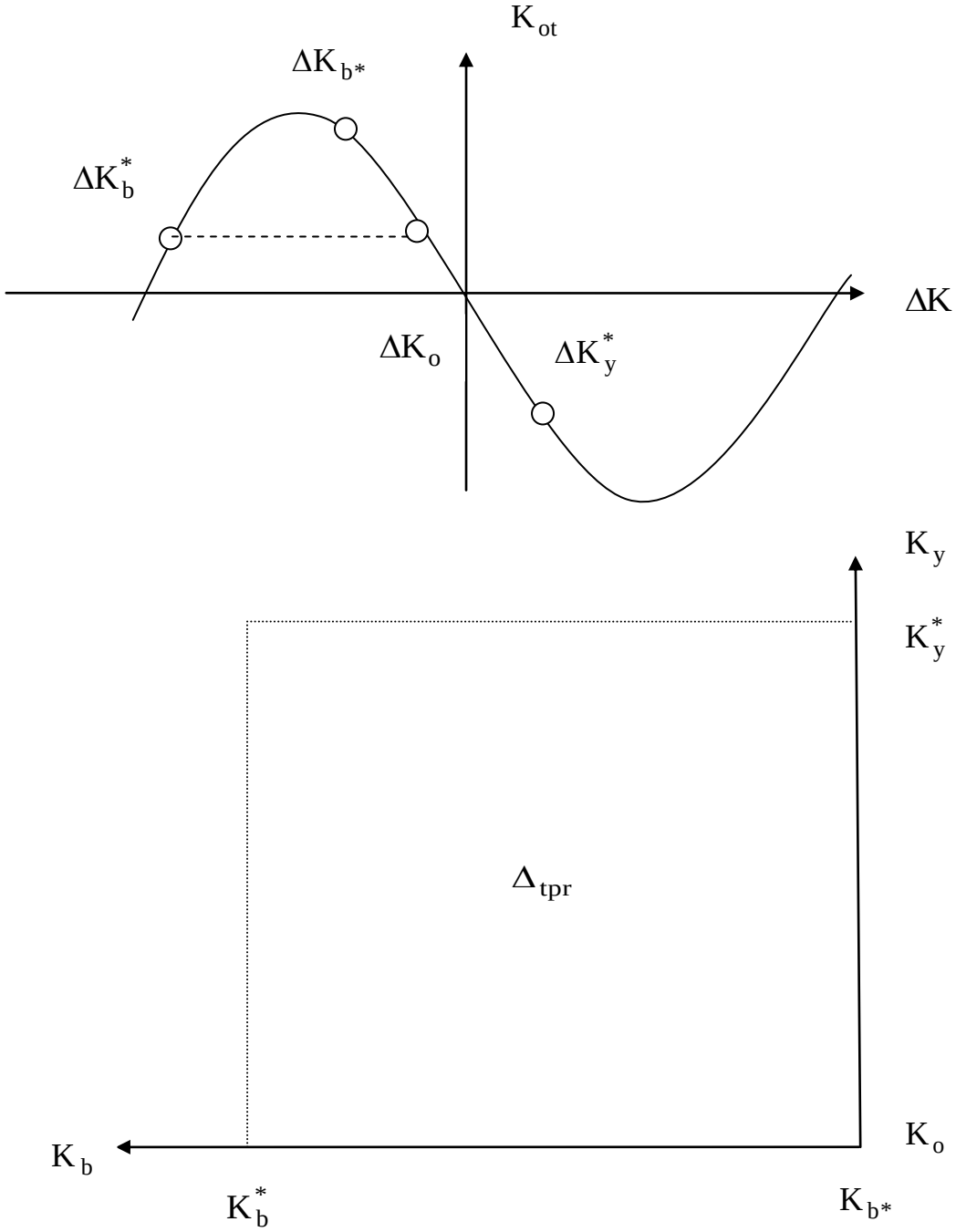


Рис. 4.17. Умови розрахунку границі ΔK_8 зміни ситуації $Q\Delta_8$ на $Q\Delta_1$

На рис. 4.18 показана ситуація при зміні ситуації $Q\Delta_8$ на ситуацію $Q\Delta_1$ з границею $\Delta K_8 = 347°$ і курсом судна $K_o = 57°$.

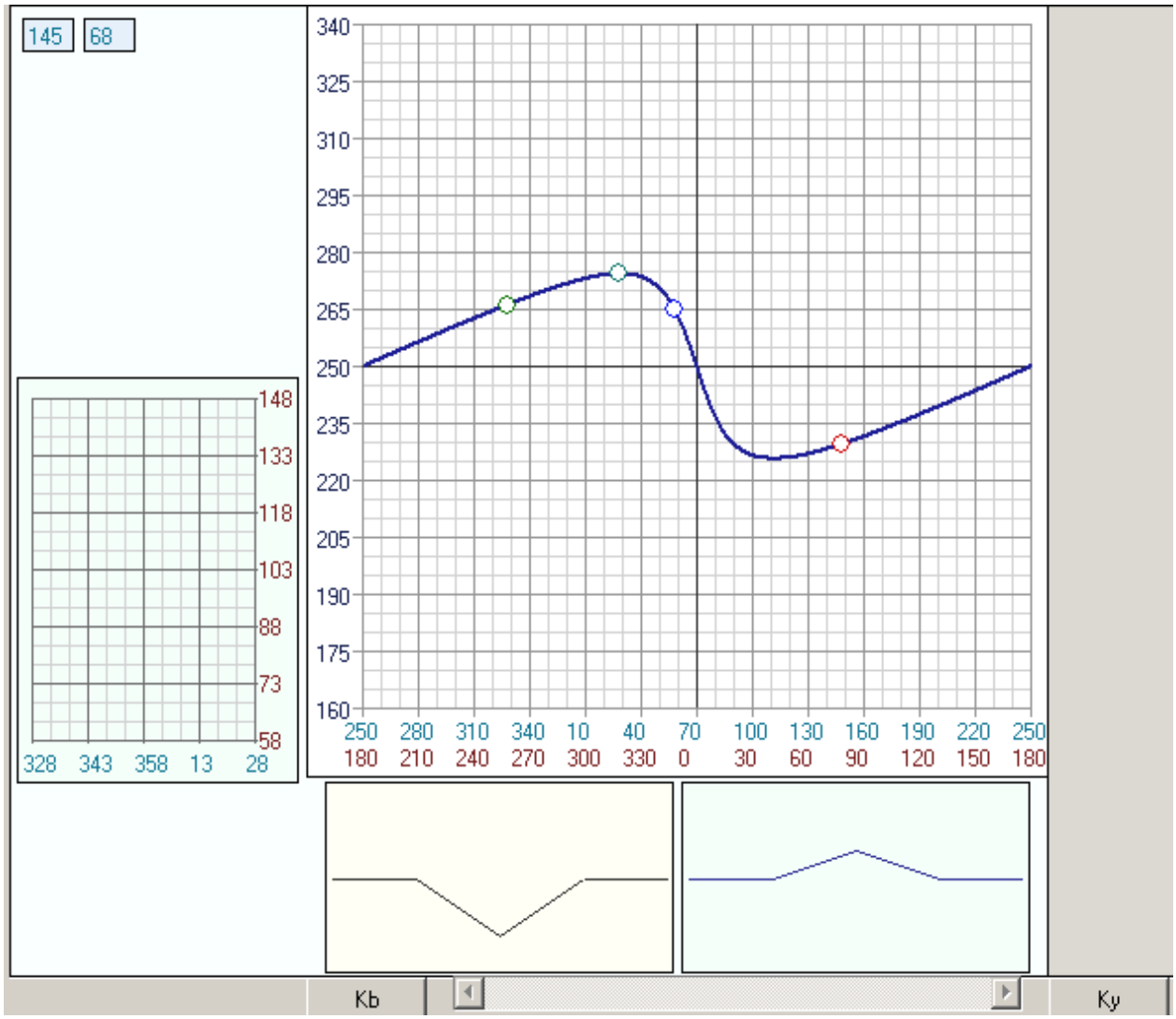


Рис. 4.18. Зміна ситуації $Q\Delta_8$ на $Q\Delta_1$ при $\Delta K_8 = 347\,°$, $K_o = 57\,°$

Отриманий вираз є завершальним для випадку ухилення судна вправо, в подальшому знову повторюється перша ситуація $Q\Delta_1$ і наступні за нею ситуації зі зростанням різниці початкових курсів судна і цілі ΔK. Отримані в підрозділі результати підсумуємо в табл. 4.1, в якій вказано перелік ситуацій $Q\Delta_i$, що виникають при маневрі ухилення судна, зміною курсу відворотом вправо. Крім цього в таблиці наведені значення різниці курсів ΔK_i, при яких відбувається зміна послідовних ситуацій, а також рівняння границь ΔK_{yi}, які поділяють області з різними формами відносних траєкторій.

Таблиця 4.1.

Відображення F_{em} при формі істинної траєкторії розходження δ_{tst}

Ситуація $Q\Delta_j$	Склад ситуацій	Вираз для границь ΔK_i і ΔK_{yi}
$Q\Delta_1$	(Δ_{tpr})	$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho \frac{\sqrt{2}}{2})$
$Q\Delta_2$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tpr1})$	$\Delta K_2 = \frac{\pi}{3} - \arcsin(\frac{1}{2}\rho)$ $\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c]$
$Q\Delta_3$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_3 = \arccos(\rho)$ $\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c]$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_4$	$(\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_4 = \frac{3\pi}{4} - \arcsin(0{,}7071\rho)$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_5$	(Δ_{tst})	$\Delta K_5 = \frac{5\pi}{4} + \arcsin(0{,}71\rho)$
$Q\Delta_6$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_6 = \frac{4\pi}{3} + \arcsin(0{,}5\rho)$ $\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_7$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_7 = 2\pi - \arccos\rho$ $\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)]$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_8$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_8 = \frac{7\pi}{4} + \arcsin(0{,}71\rho)$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)]$

На рис. 4.19 показані залежності границь ΔK_i (dKN на рис. 4.19) від значення відношення швидкостей судна і цілі ρ, що змінюється в межах від 0 до 1, ніж проведена декомпозиція площині ситуацій $\Delta K \times \rho$ на області незмінних ситуацій $Q\Delta_i$ (QN на рис. 4.19).

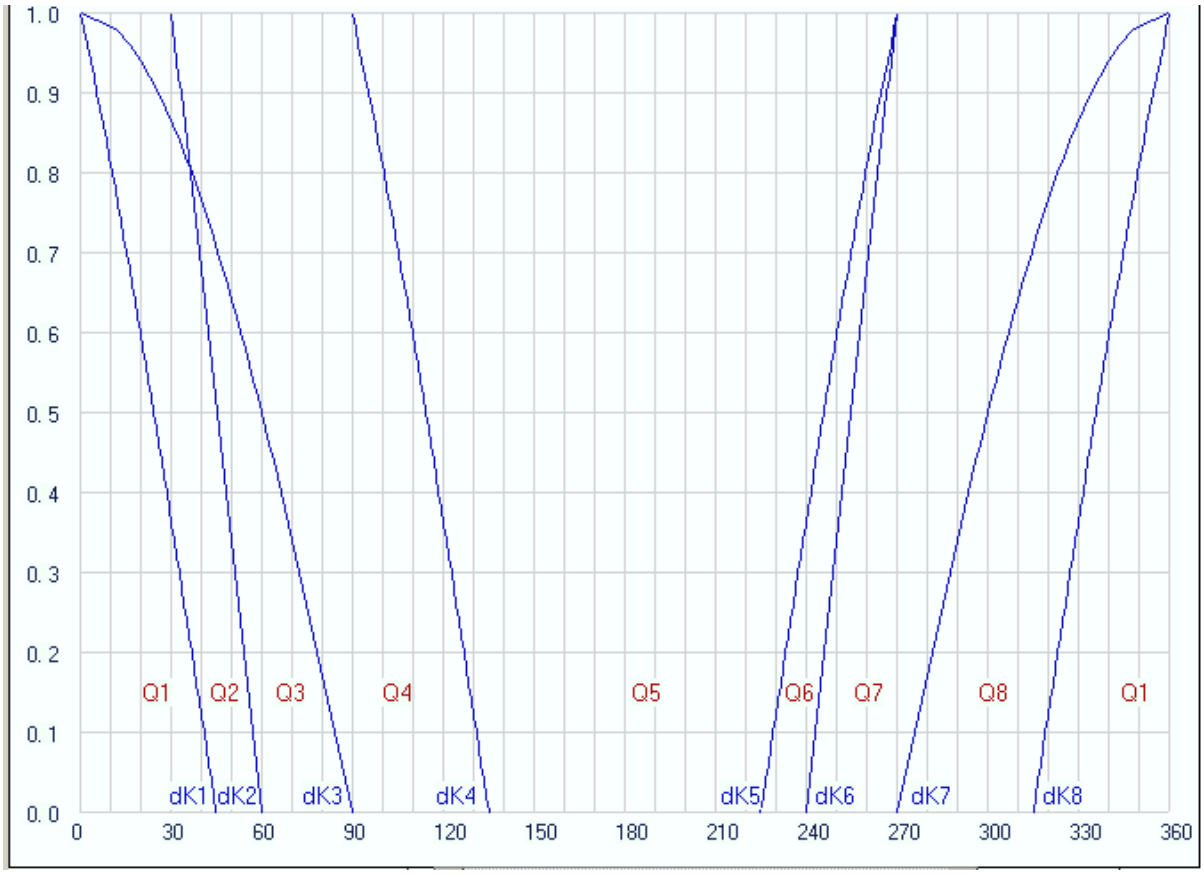


Рис. 4.19. Декомпозиція площини ситуацій $\Delta K \times \rho$ для форми δ_{tst}

4.2. Формування підмножини ситуацій відносних форм для форми істинної стратегії розходження ухиленням вліво.

В даному випадку формою істинної траєкторії розходження ухиленням вліво є δ_{tpr}. Як видно з рис. 4.20, при $\Delta K = 0$ має місце ситуація $Q\Delta_5 = (\Delta_{tst})$.

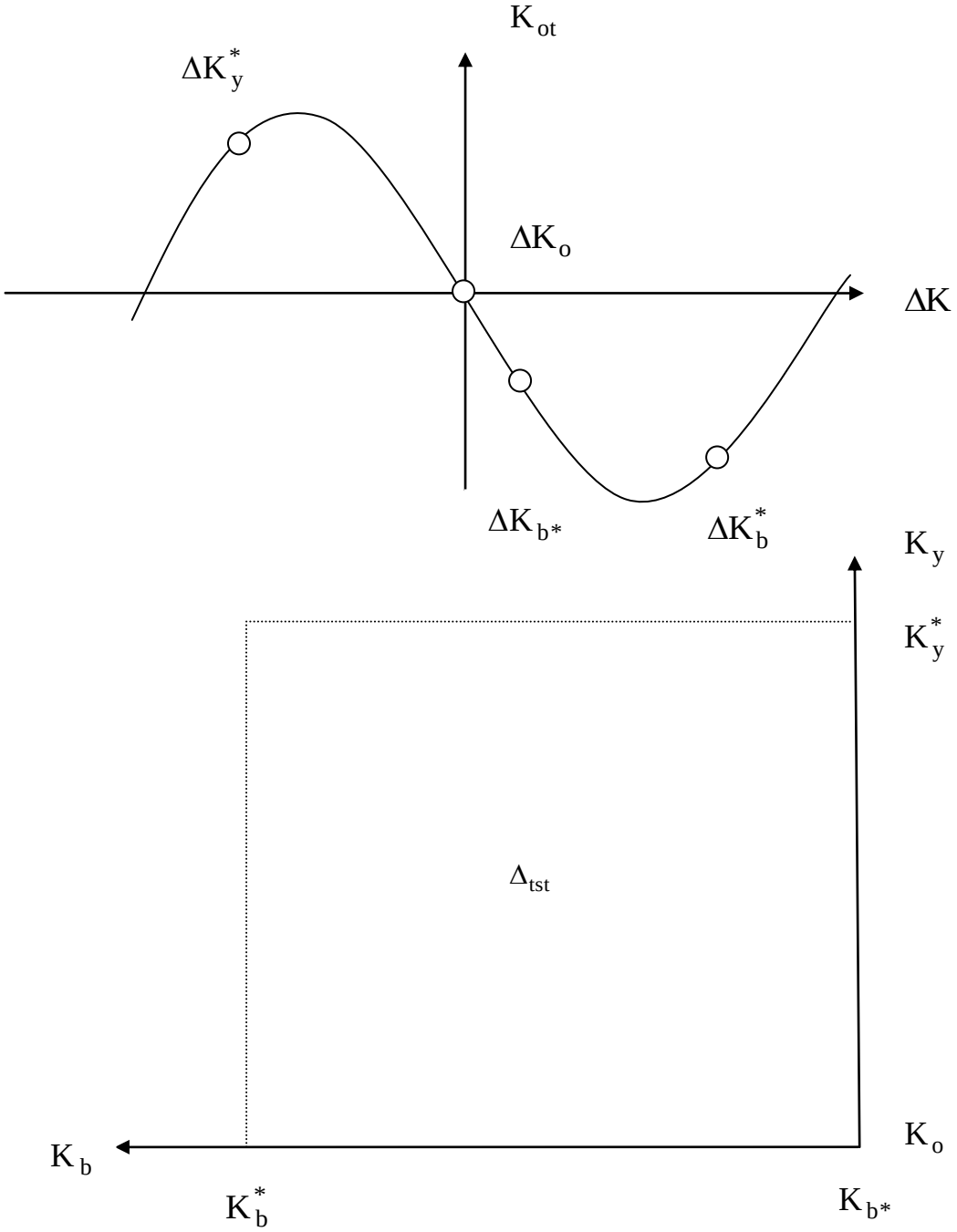


Рис. 4.20. Ситуація $Q\Delta_5$ при $\Delta K=0°$

На рис. 4.21 показано, що при курсі судна $K_o=70°$ і ρ = 0,75 має місце ситуація $Q\Delta_5$. При цьому при курсі цілі $K_c=70°$ різниця курсів $\Delta K = 0$ °.

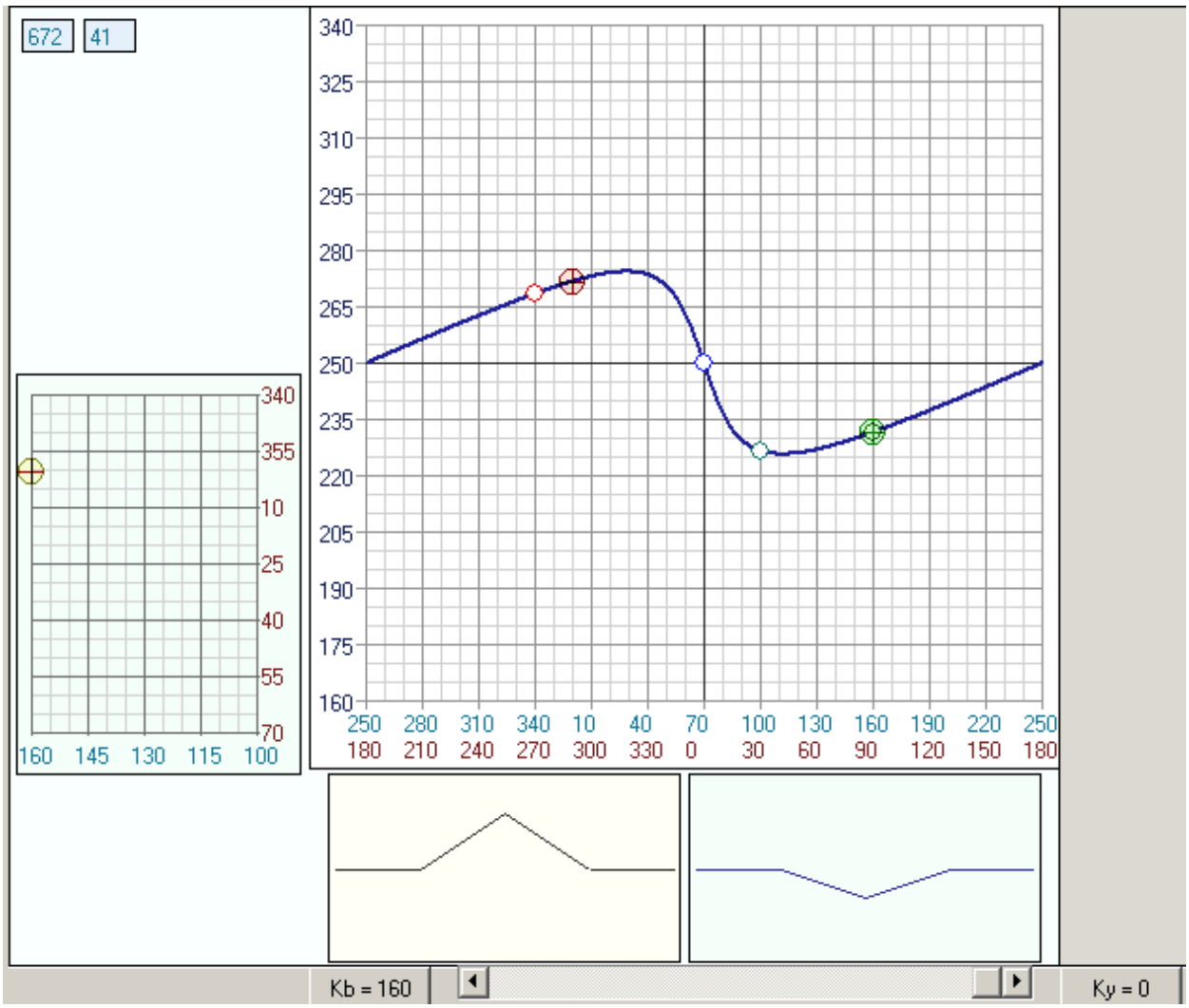


Рис. 4.21. Ситуація $Q\Delta_5$ при K_o=70°

Збільшення значення ΔК веде до появи нової ситуації $Q\Delta_4 = (\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$, що містить область $\Omega_{\Delta st1}$. Зміна ситуації $Q\Delta_5$ на ситуацію $Q\Delta_4 = (\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$ відбувається при настанні рівності відносних курсів (рис. 4.22):

$$K^*_{otb} = K_{oto},$$

причому має місце співвідношення

$$K^*_b = K_o + \frac{\pi}{2}.$$

Спільне рішення двох останніх рівнянь дозволяє знайти границю ΔK_1, при якій відбувається зміна $Q\Delta_5$ на $Q\Delta_4$:

$$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho \frac{\sqrt{2}}{2}).$$

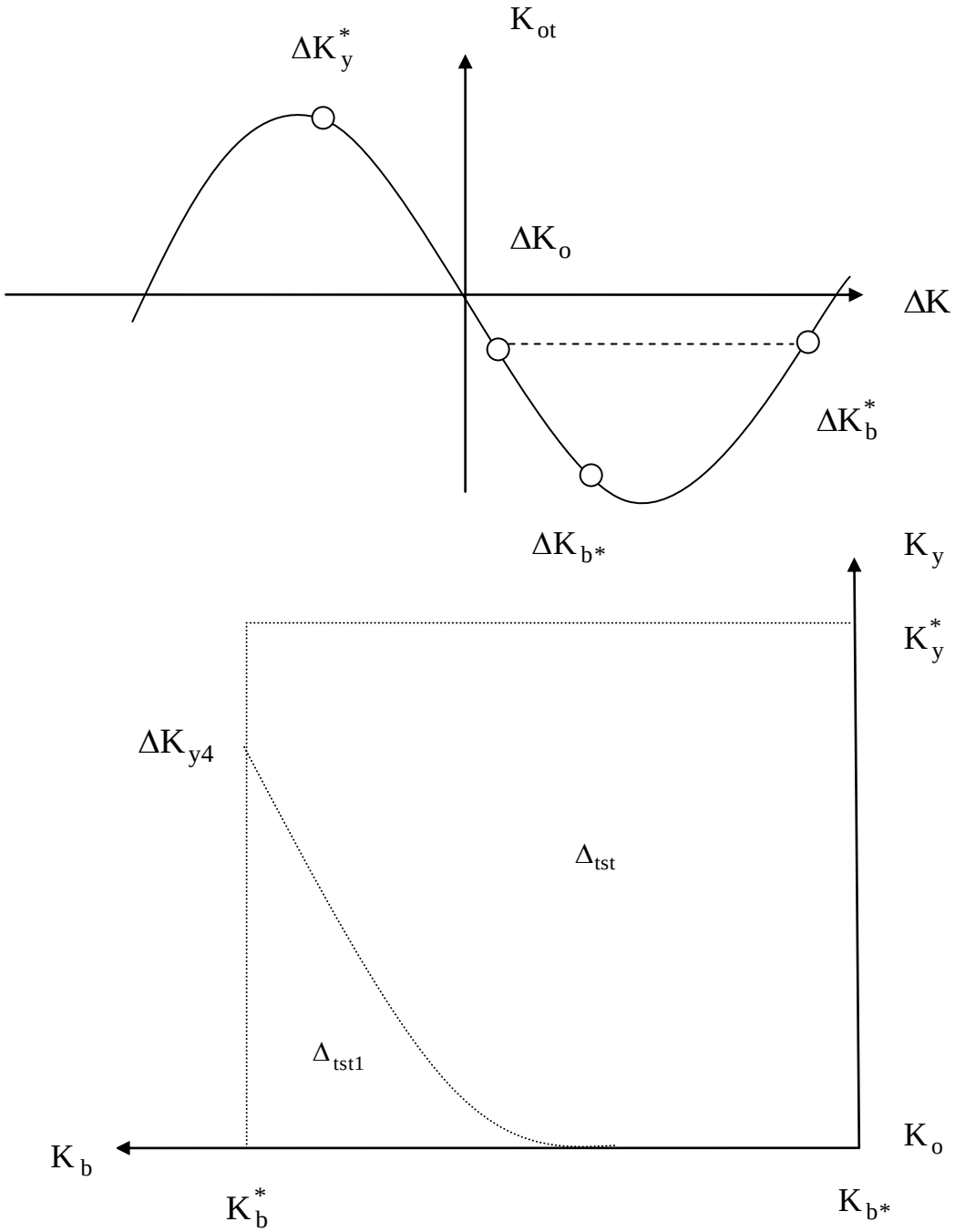


Рис. 4.22. Умова розрахунку границі ΔK_1 зміни ситуації $Q\Delta_5$ на $Q\Delta_4$

В ситуації $Q\Delta_4$ границя між областями $\Omega_{\Delta st}$ і $\Omega_{\Delta st1}$ визначається рівністю відносних курсів $K_{otb} = K_{oty}$ з границею:

$$\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)].$$

На рис. 4.23 представлена ситуація $Q\Delta_4$ при курсі судна K_o=95°, значень границі зміни ΔK_1=13° і ρ=0,75.

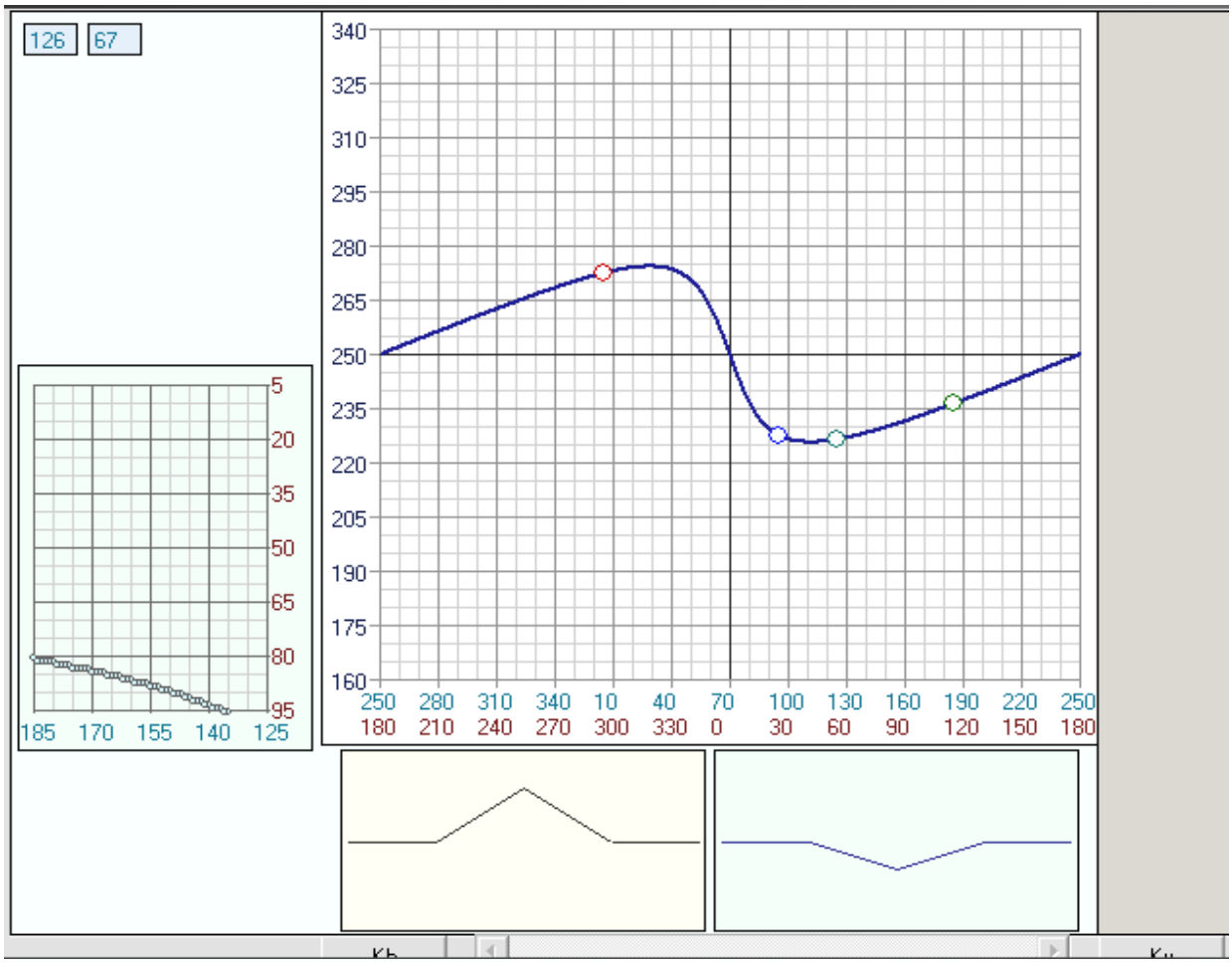


Рис. 4.23. Ситуація $Q\Delta_4$ при K_o=95°, ΔK_1=13°

Подальше збільшення ΔK веде до зміни ситуації $Q\Delta_4$ на ситуацію $Q\Delta_3 = (\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$, що відбувається при рівності:

$$K^*_{otb} = K^*_{oty} \quad \text{і} \quad K^*_b = K^*_y + \pi,$$

спільне вирішення яких дає границю $\Delta K_2 = \frac{\pi}{2}$ зміни ситуацій (рис. 4.24), причому границя ΔK_{y5} між областями $\Omega_{\Delta pr}$ і $\Omega_{\Delta st1}$ визначається рівністю відносних курсів $K_{oto} = K_{oty}$:

$$\Delta K_{y5} = K_{oto} + \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)].$$

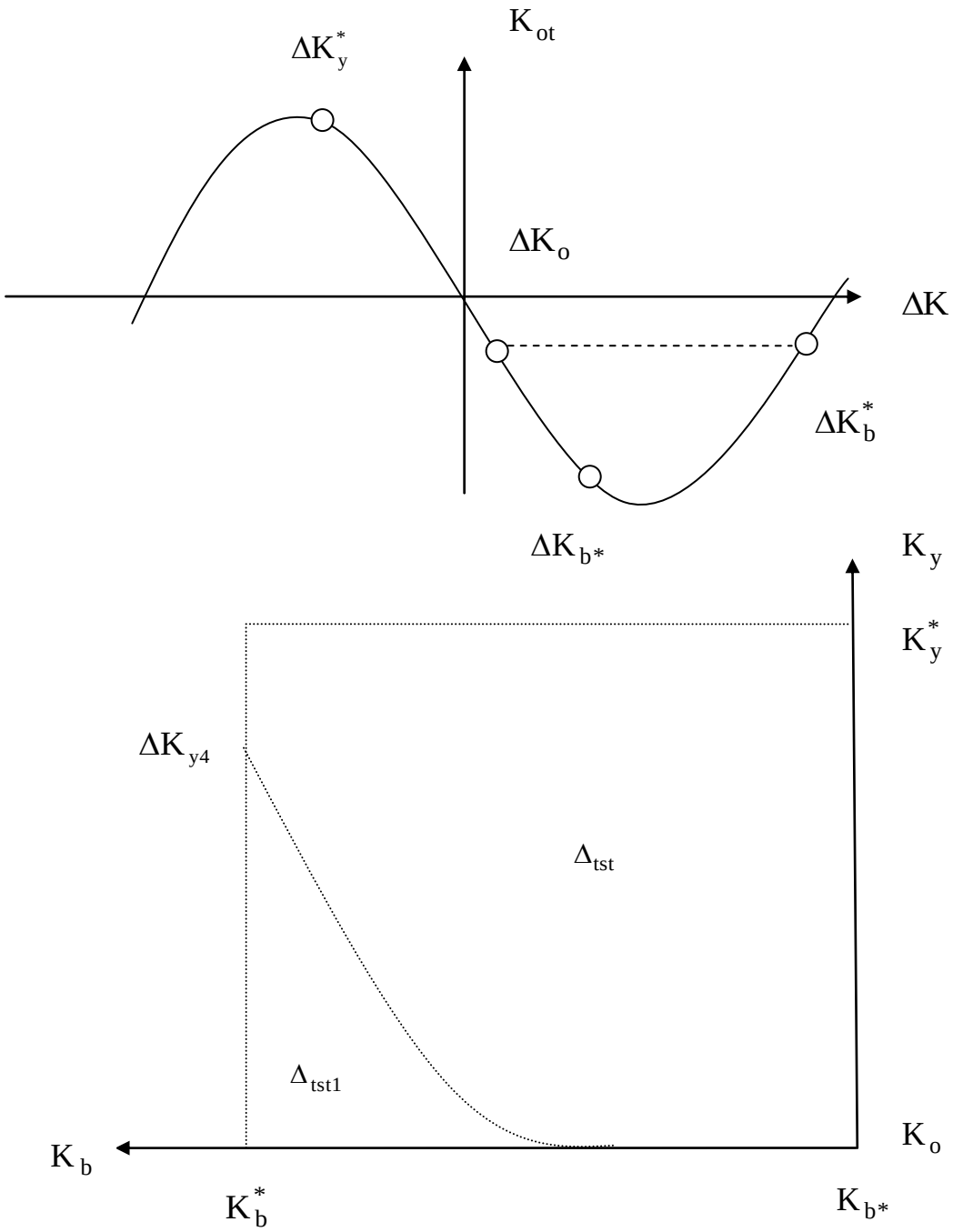


Рис. 4.24. Визначення границі ΔK_2 зміни ситуації $Q\Delta_4$ на $Q\Delta_3$

На рис. 4.25 показана ситуація $Q\Delta_3$, при курсі судна K_o=160° і ΔK_2=90°.

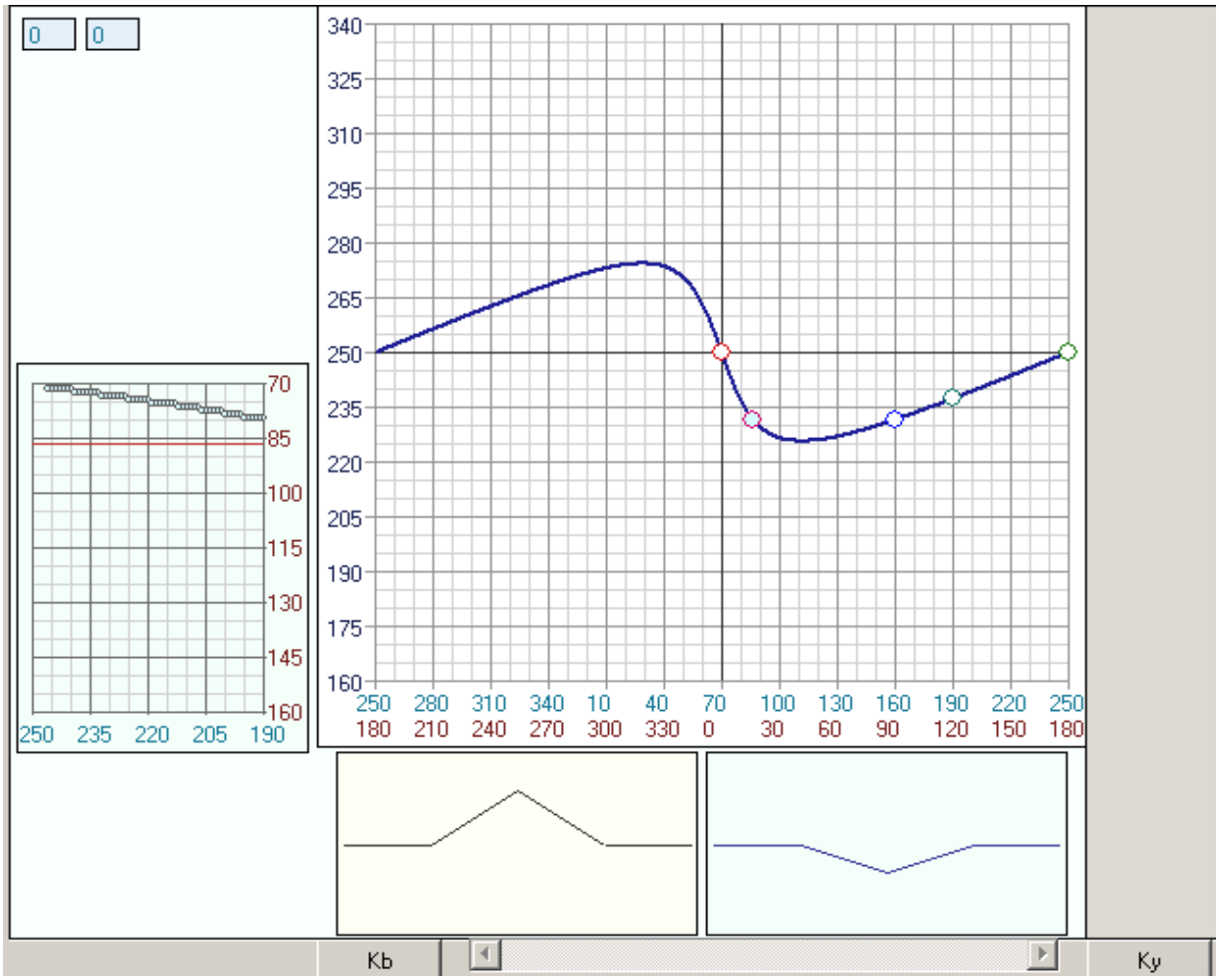


Рис. 4.25. Відображення ситуації $Q\Delta_3$ при K_o=160° і ΔK_2=90°

Подальше зростання ΔК веде до виникнення рівності:

$$K_{otb*} = K^*_{oty}$$

і з урахуванням $K_{b*} = K^*_y + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}$ ситуація $Q\Delta_3$ змінюється на ситуацію $Q\Delta_2 = (\Delta_{tst1}, \Delta_{tpr})$ при досягненні границі:

$$\Delta K_3 = \frac{2\pi}{3} - \arcsin(0{,}5\rho),$$

як показано на рис. 4.26.

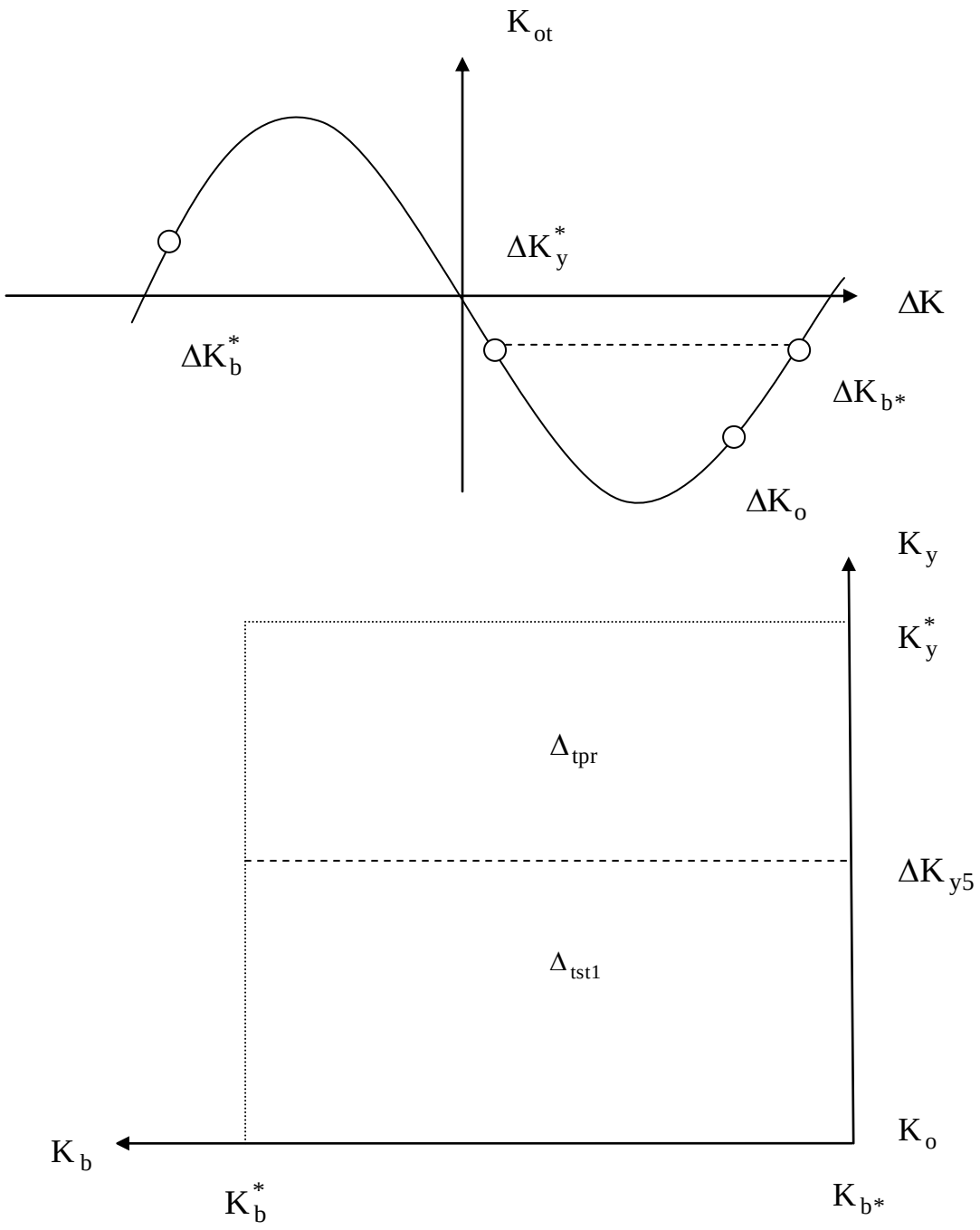


Рис. 4.26. Визначення границі ΔK_3 зміни ситуації $Q\Delta_3$ на $Q\Delta_2$

На рис. 4.27 показана ситуація $Q\Delta_2$ з границею ΔK_3=98, курсом судна K_o=168° і ΔK_{y5} = 84°.

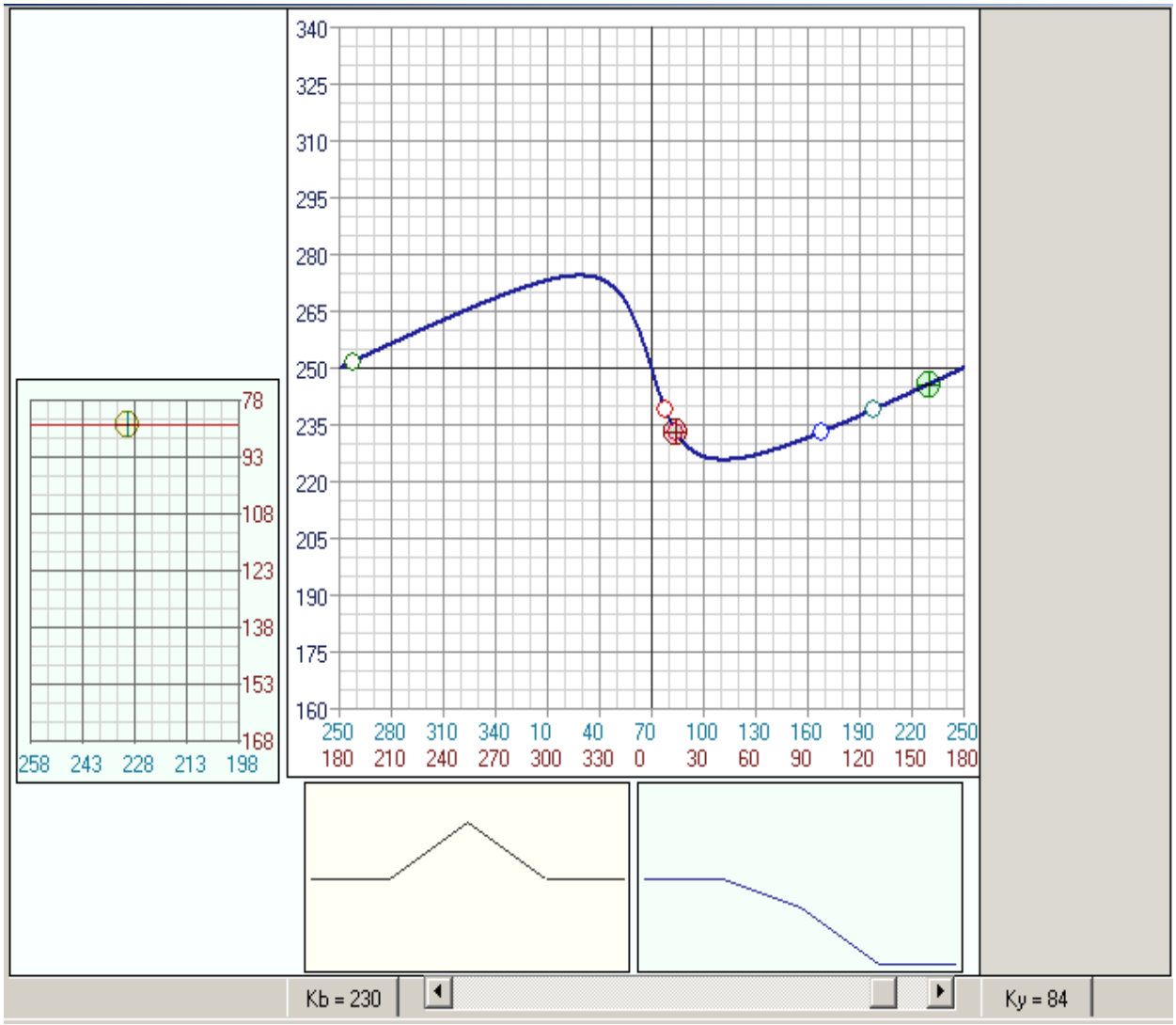


Рис. 4.27. Відображення ситуації $Q\Delta_2$ при K_o=168° і ΔK_3=98

Наступна зміна ситуації $Q\Delta_2$ на ситуацію $Q\Delta_1$=(Δ_{tpr}) відбувається при подальшому зростанні ΔК, як показано на рис. 4.28, до настання рівності відносних курсів:

$$K_{oto} = K^*_{oty}.$$

Границя ΔK_4 зміни ситуацій $Q\Delta_2$ на $Q\Delta_1$, з урахуванням $K_o = K^*_y + \frac{\pi}{2}$, визначається виразом:

$$\Delta K_4 = \frac{3\pi}{4} - \arcsin(0{,}7071\rho).$$

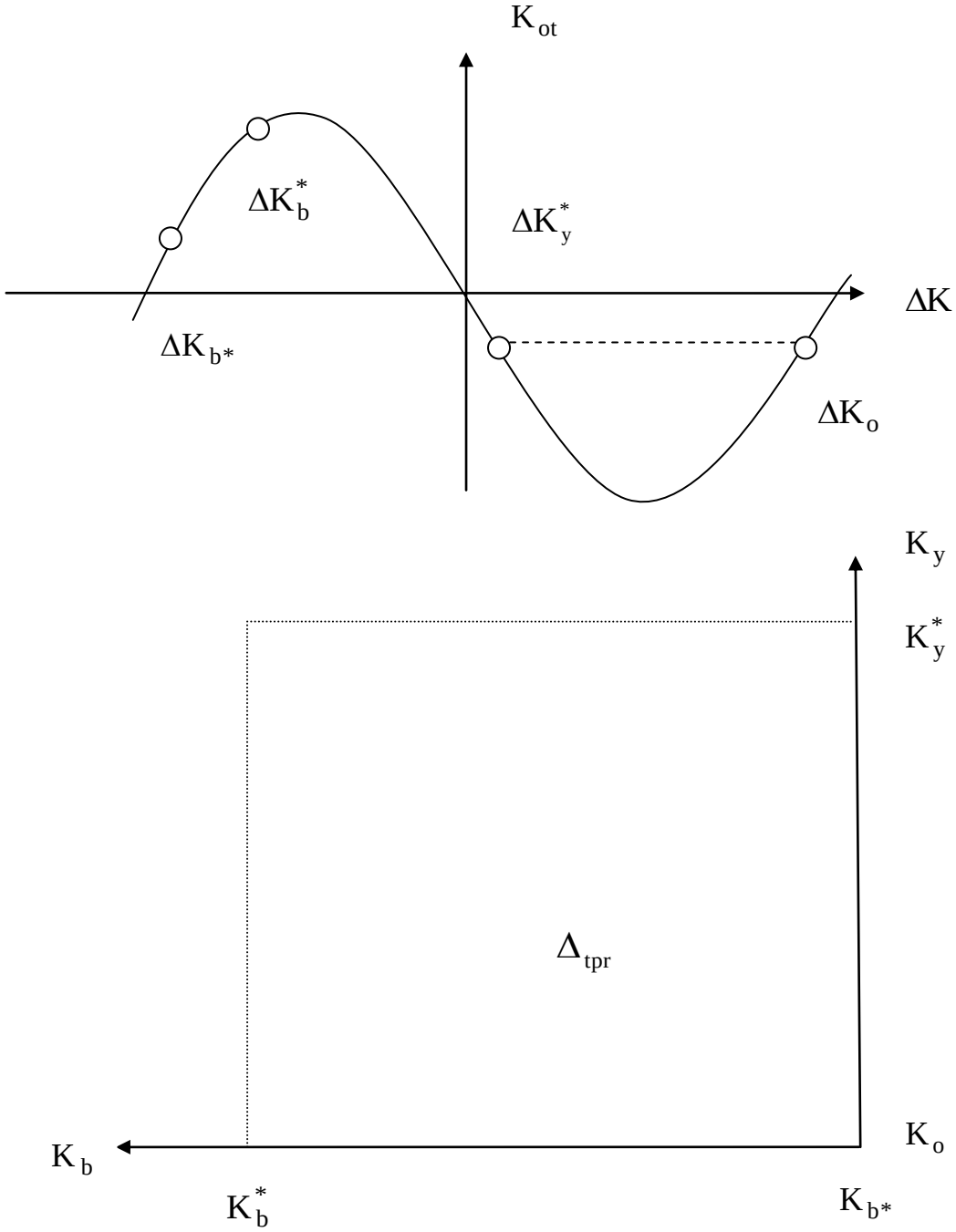


Рис. 4.28. Умова розрахунку границі ΔK_4 зміни ситуації $Q\Delta_2$ на $Q\Delta_1$

Відображення ситуації $Q\Delta_1$ з границею ΔK_4=103° і курсом судна K_o=173° наведено на рис. 4.29.

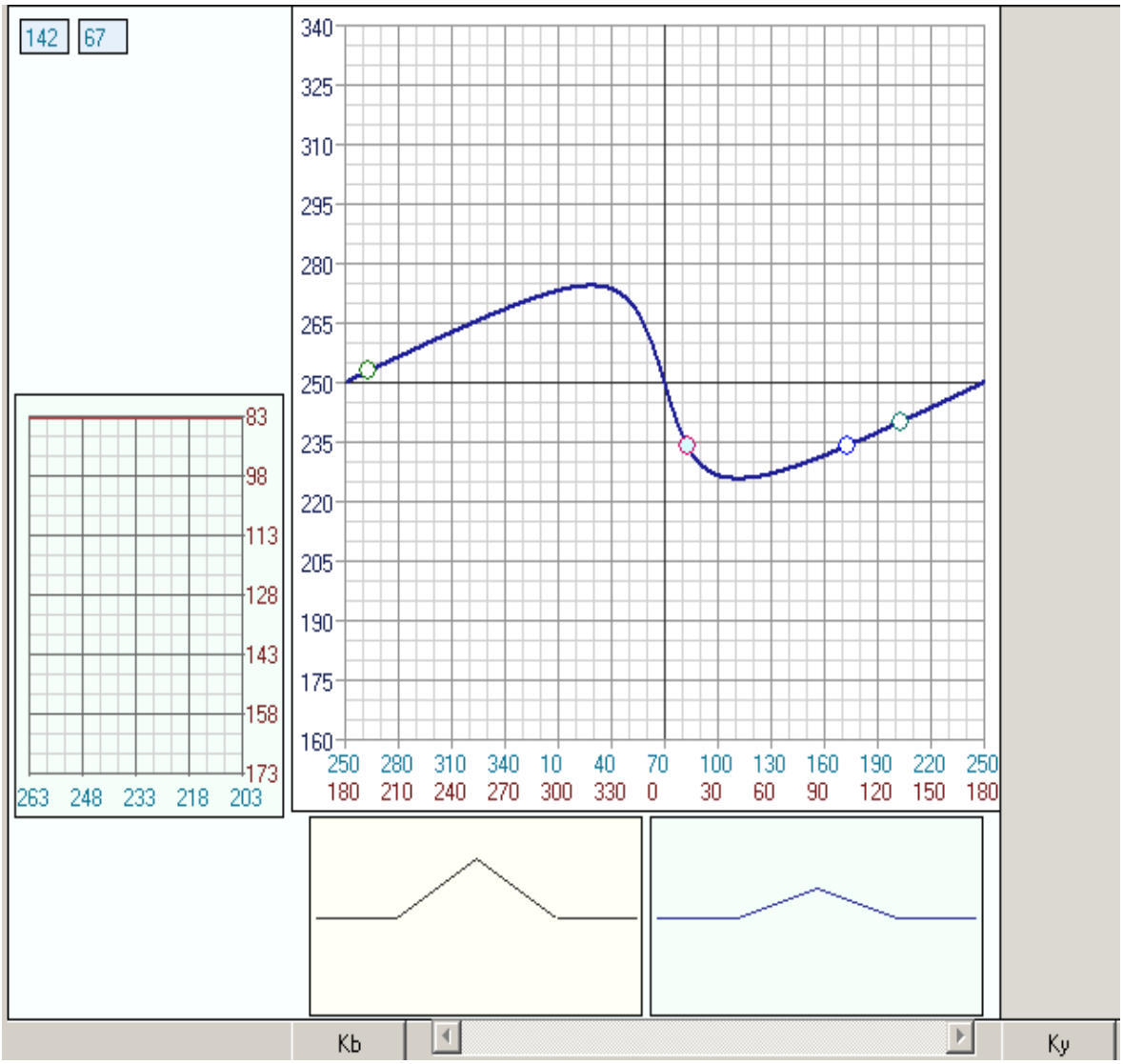


Рис. 4.29. Ситуація $Q\Delta_1$ при K_o=173° і ΔK_4=103°

Зміна ситуації $Q\Delta_1$ на ситуацію $Q\Delta_8=(\Delta_{tpr},\Delta_{tpr1})$ відбувається при збільшенні ΔК до граничного значення ΔK_5, яке визначається рівністю:

$$K_{oto}=K^*_{otb} \text{ і } K^*_b=K_o+\frac{\pi}{2},$$

як показано на рис. 4.30, причому:

$$\Delta K_5=\frac{5\pi}{4}+\arcsin(0{,}7071\rho).$$

Границя ΔK_{y2} між областями $\Omega_{\Delta pr}$ і $\Omega_{\Delta pr1}$ має вигляд:

$$\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{otb} - K_c)].$$

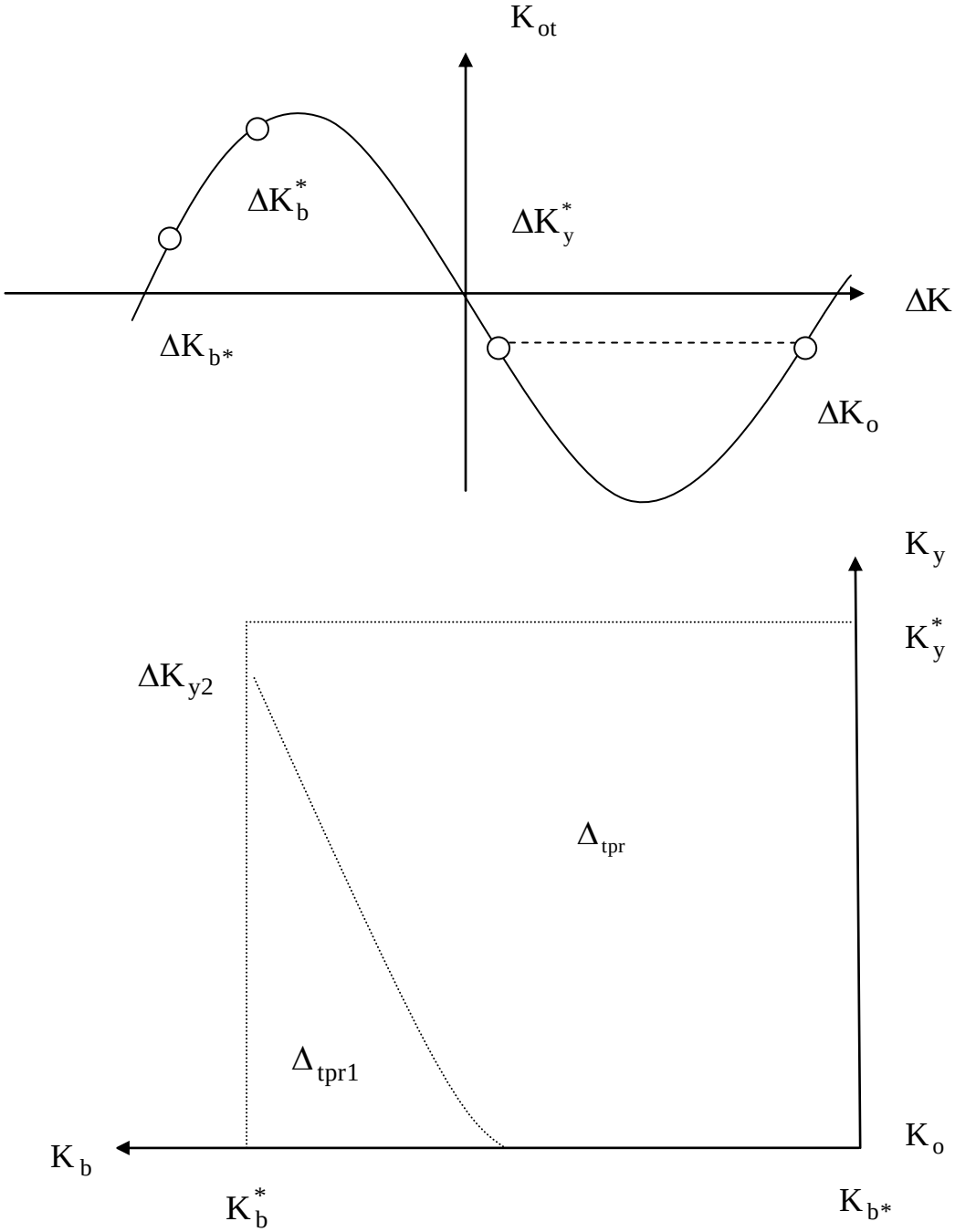


Рис. 4.30. Умова розрахунку границі ΔK_5 зміни ситуації $Q\Delta_1$ на $Q\Delta_8$

Ситуація $Q\Delta_8$ показана на рис. 4.31, в якій значення границі ΔK_5=257°, а курс судна K_o=340°.

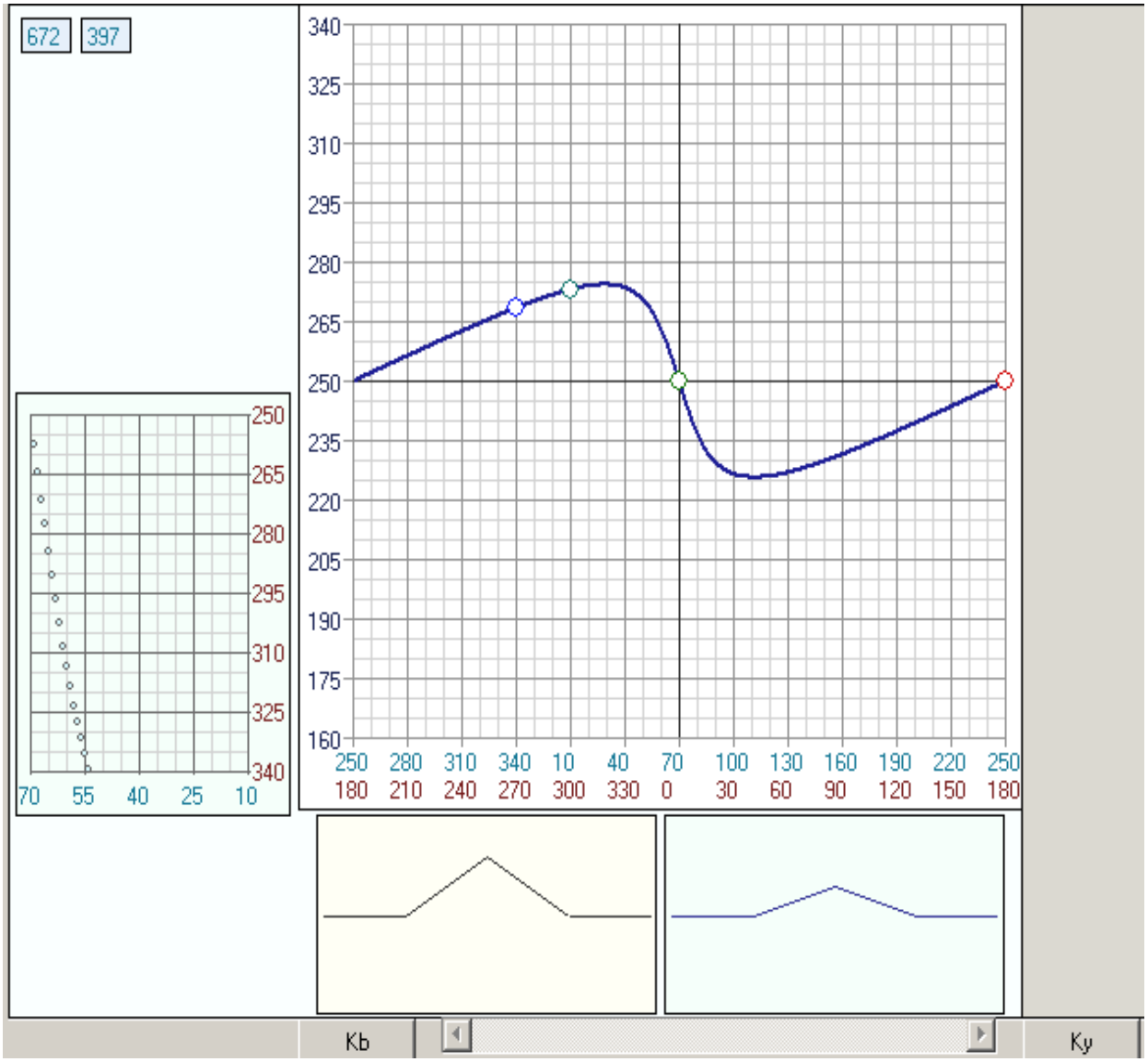


Рис. 4.31. Ситуація $Q\Delta_8$ при K_o=340° і ΔK_5=257°

Чергова зміна ситуації $Q\Delta_8$ на ситуацію $Q\Delta_7=(\Delta_{tpr1},\Delta_{tst},\Delta_{tpr})$ з появою нової області $\Omega_{\Delta st}$ відбувається при зростанні ΔK до граничного значення ΔK_6, за якого $K_{oto}=K_{otmax}$, звідки, як видно з рис. 4.32:

$$\Delta K_6 = 2\pi - \arccos\rho,$$

причому границя ΔK_{y3} між областями $\Omega_{\Delta st}$ і $\Omega_{\Delta pr1}$ визначається виразом:

$$\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c)].$$

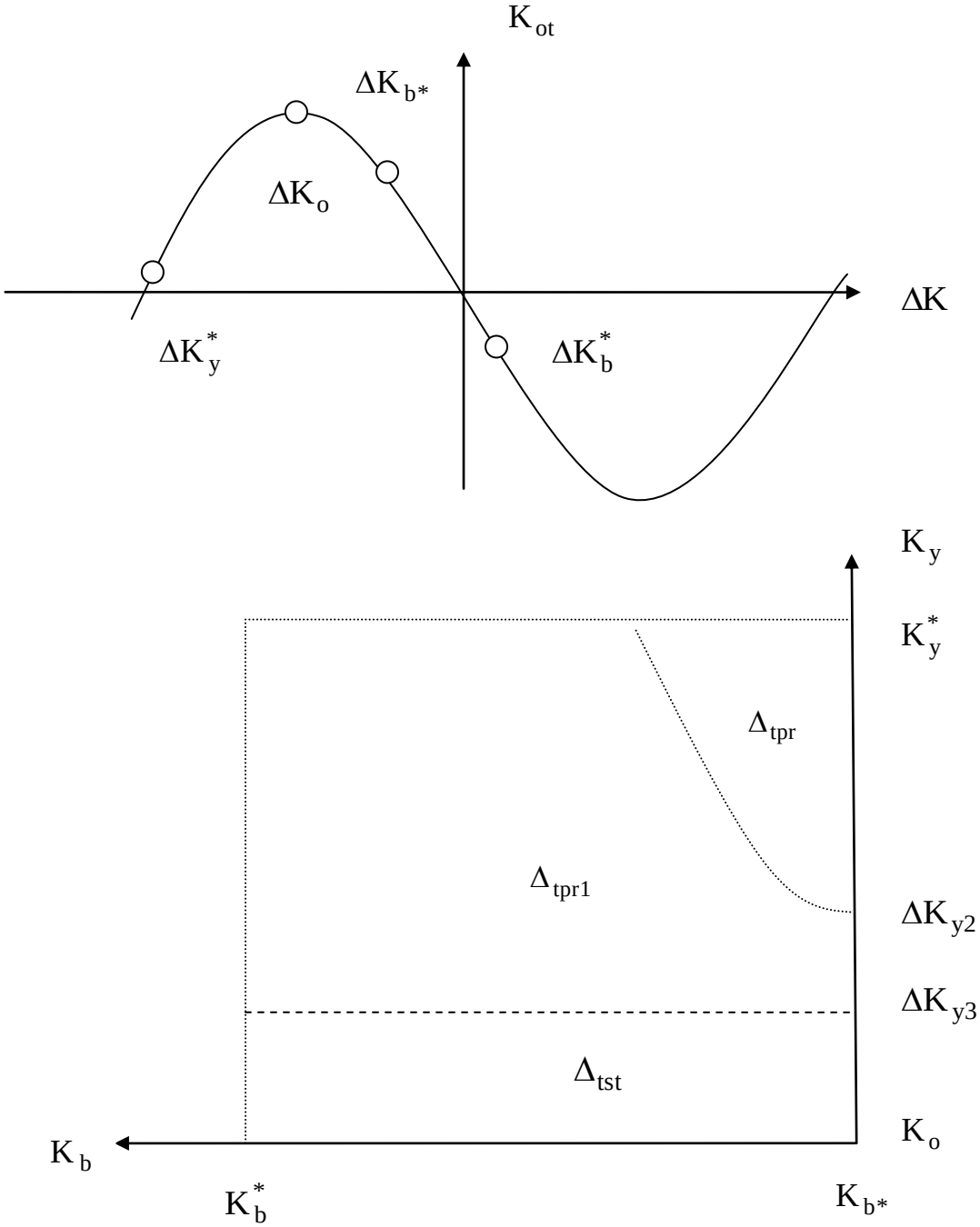


Рис. 4.32. Умова розрахунку границі ΔK_6 зміни ситуації $Q\Delta_8$ на $Q\Delta_7$

На рис. 4.33 показана ситуація $Q\Delta_7$ при курсі судна K_o=30° і границі ΔK_6=319°.

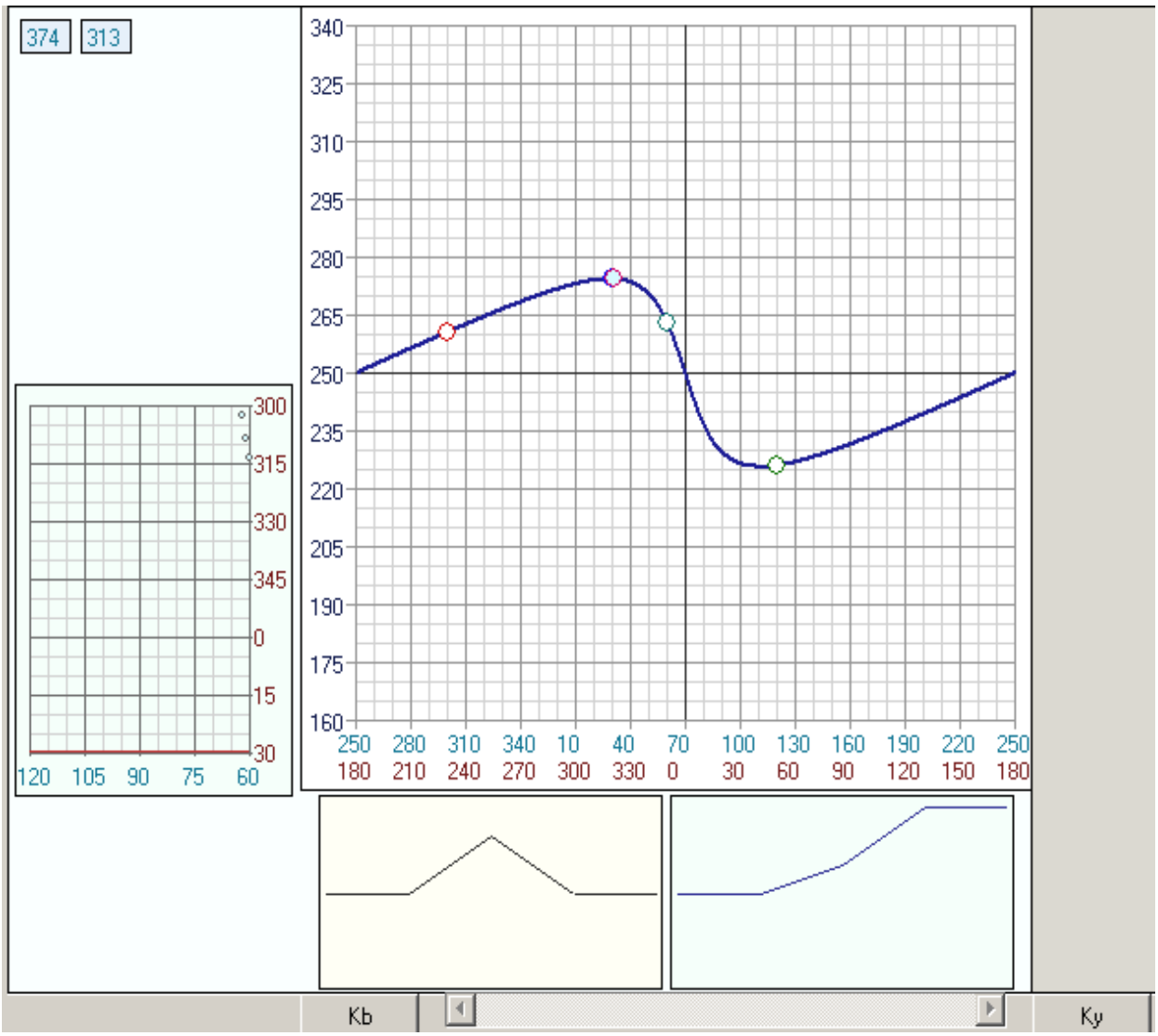


Рис. 4.33. Ситуація $Q\Delta_7$ при K_o=30° і ΔK_6=319°

При зростанні ΔK ситуація $Q\Delta_7$ змінюється на ситуацію $Q\Delta_6 = (\Delta_{tst}, \Delta_{tpr1})$ в разі досягнення рівності відносних курсів (рис. 4.34):

$$K_{otb*} = K^*_{oty},$$

причому

$$K_{b*} = K^*_y + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}.$$

Границя ΔK_7 зміни ситуацій визначається виразом:

$$\Delta K_7 = \frac{5\pi}{3} + \arcsin(0{,}5\rho).$$

Границя ΔK_{y1} між областями $\Omega_{\Delta st}$ і $\Omega_{\Delta pr1}$ визначається виразом:

$$\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1}\sin(K_{oto} - K_c].$$

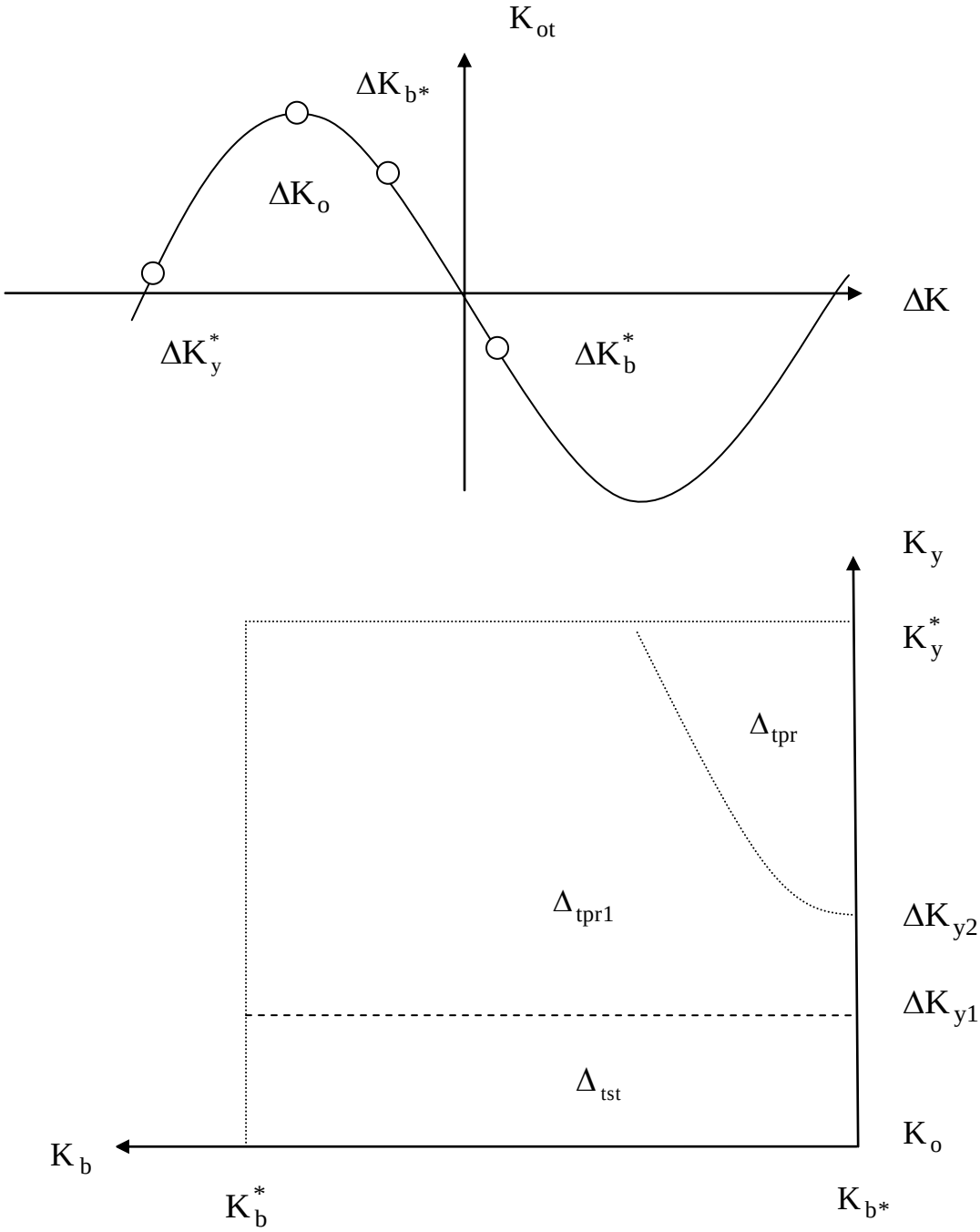


Рис. 4.34. Визначення границі ΔK_7 зміни ситуацій $Q\Delta_7$ на $Q\Delta_6$

На рис. 4.35. відображена ситуація $Q\Delta_6$, яка досягається при границі ΔK_7=322° і курсі судна K_o=45°, причому границя ΔK_{y1} =4°.

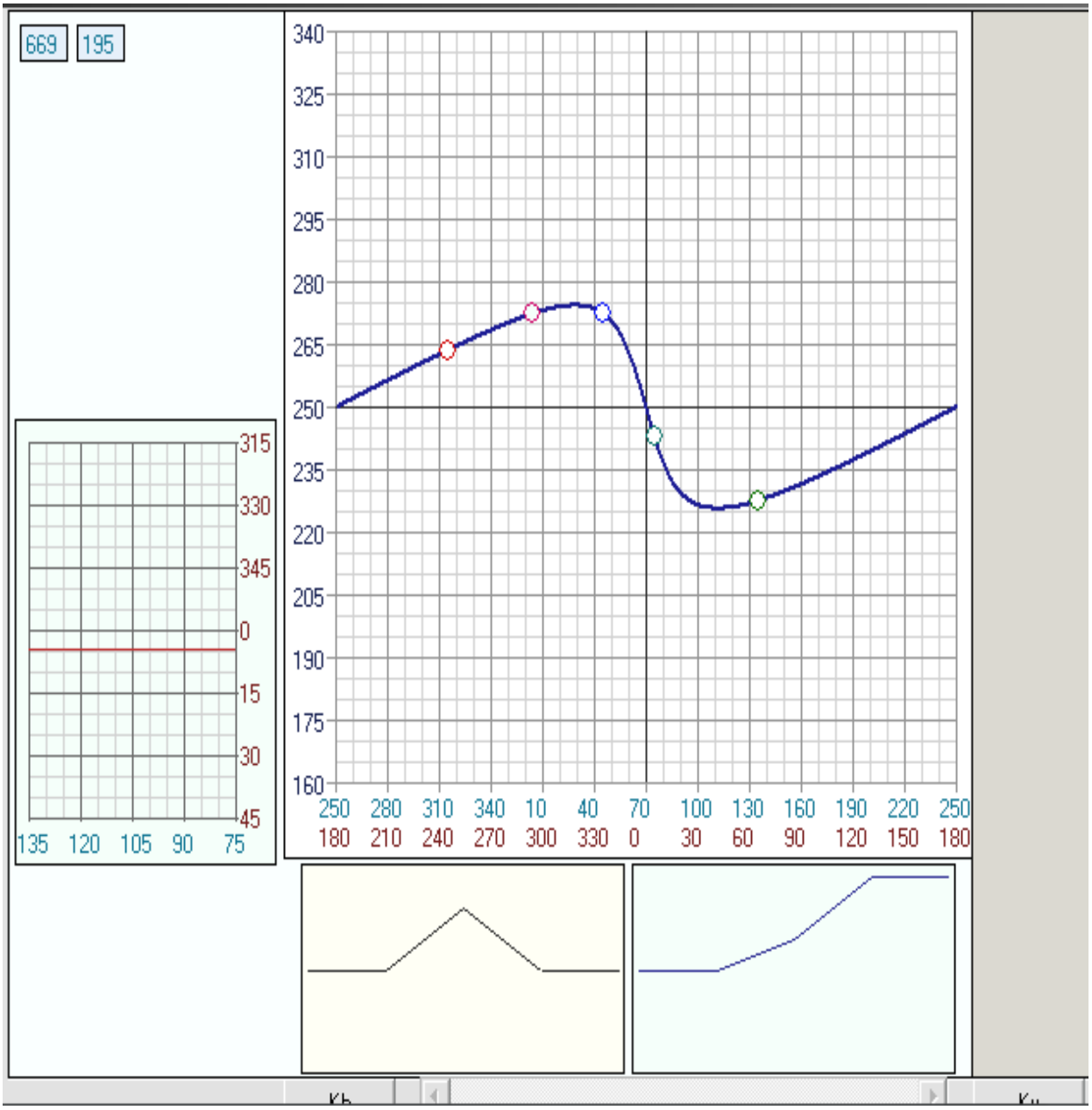


Рис. 4.35. Ситуація $Q\Delta_6$ при K_o=45° і ΔK_6=322°

Зміна ситуації $Q\Delta_6$ на початкову ситуацію $Q\Delta_5 = (\Delta_{tst})$ відбувається з ростом ΔK до досягнення рівності (рис. 4.36):

$$K_{oto} = K^*_{oty},$$

причому $K_o = K_y^* + \frac{\pi}{2}$, а границя, що розділяє ситуації $Q\Delta_6$ і $Q\Delta_5$:

$$\Delta K_8 = \frac{7\pi}{4} + \arcsin(0{,}71\rho).$$

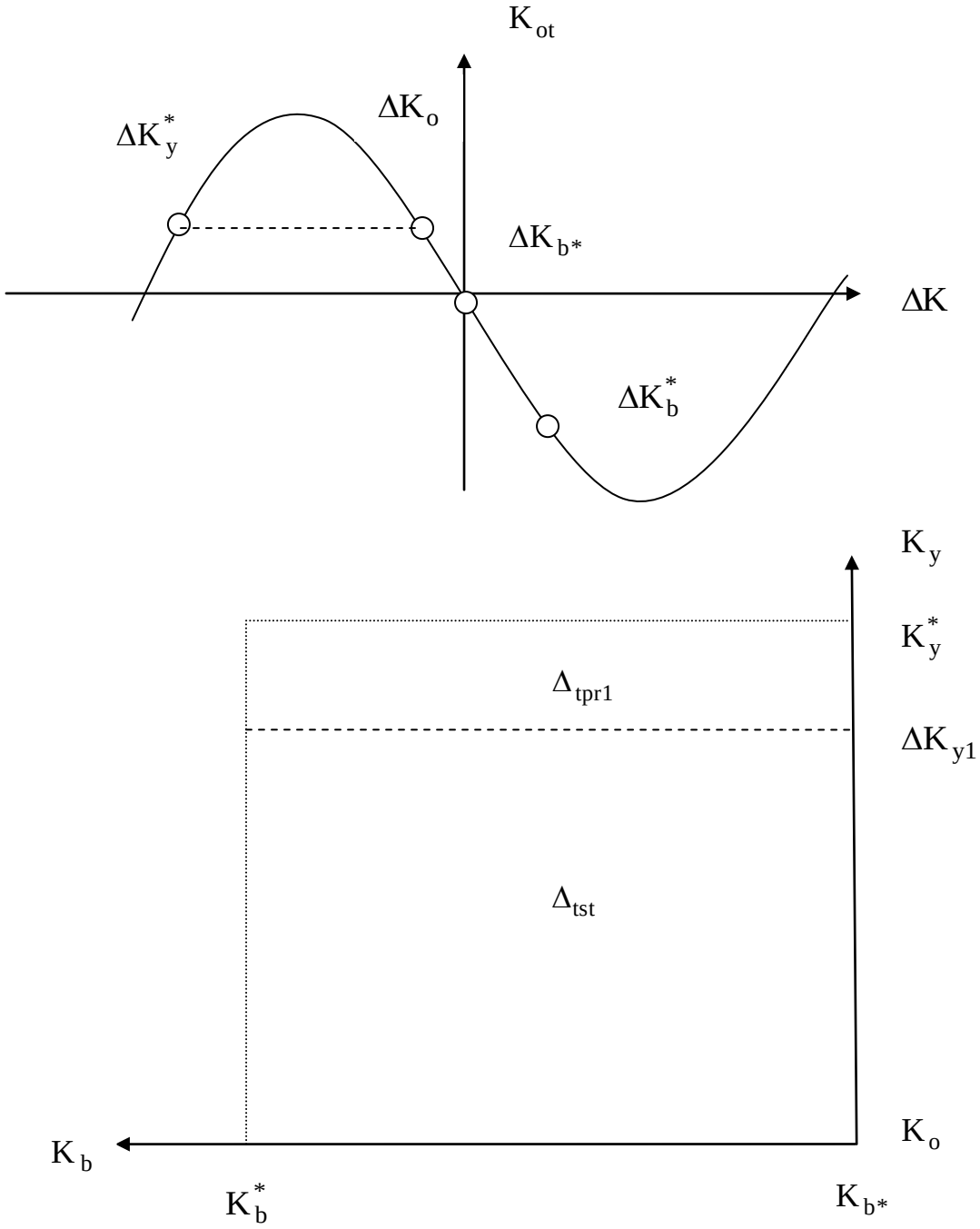


Рис. 4.36. Визначення границі ΔK_8 зміни ситуацій $Q\Delta_6$ на $Q\Delta_5$

Ситуація $Q\Delta_5$ для границі ΔK_8=347° і курсу судна K_o=57° показана на рис. 4.37.

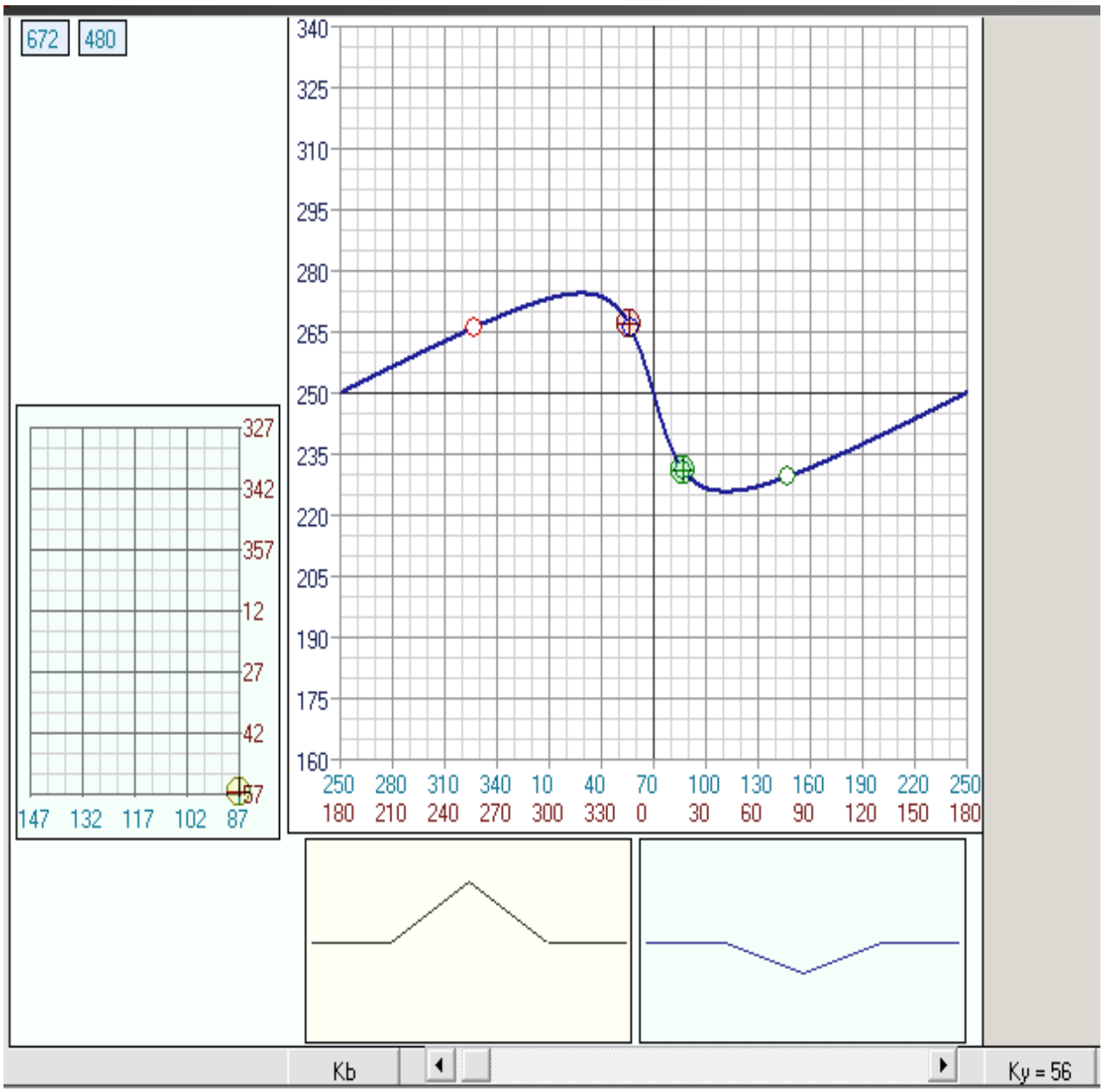


Рис. 4.37. Ситуація $Q\Delta_5$ при границі ΔK_8=347° і K_o=57°

Ситуація $Q\Delta_5$ буде незмінною до граничного завершення росту ΔK=2π.

В табл. 4.2 вказаний перелік ситуацій $Q\Delta_i$, що виникають при маневрі ухилення судна, зміною курсу відворотом вліво. Наведені значення різниці курсів ΔK_i і рівняння границь ΔK_{yi}.

Таблиця 4.2.

Відображення F_{em} при формі істинної траєкторії розходження δ_{tpr}

Ситуація $Q\Delta_j$	Склад ситуації	Вираз для границь ΔK_i і ΔK_{yi}
$Q\Delta_5$	(Δ_{tst})	$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho \frac{\sqrt{2}}{2})$
$Q\Delta_4$	$(\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_2 = \frac{\pi}{2}$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_3$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_3 = \frac{2\pi}{3} - \arcsin(0{,}5\rho)$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$ $\Delta K_{y5} = K_{oto} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_2$	$(\Delta_{tst1}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_4 = \frac{3\pi}{4} - \arcsin(0{,}7071\rho)$ $\Delta K_{y5} = K_{oto} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_1$	(Δ_{tpr})	$\Delta K_5 = \frac{5\pi}{4} + \arcsin(0{,}7071\rho)$
$Q\Delta_8$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tpr1})$	$\Delta K_6 = 2\pi - \arccos\rho$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_7$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_7 = \frac{5\pi}{3} + \arcsin(0{,}5\rho)$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$ $\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_6$	$(\Delta_{tst}, \Delta_{tpr1})$	$\Delta K_8 = \frac{7\pi}{4} + \arcsin(0{,}71\rho)$ $\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c]$

На рис. 4.38 показані залежності границь ΔK_i (dKN на рис. 4.38) від значення відношення швидкостей судна і цілі ρ, що змінюється в межах від 0 до 1, ніж проведена декомпозиція площині ситуацій $\Delta K \times \rho$ на області незмінних ситуацій $Q\Delta_i$ (QN на рис. 4.38).

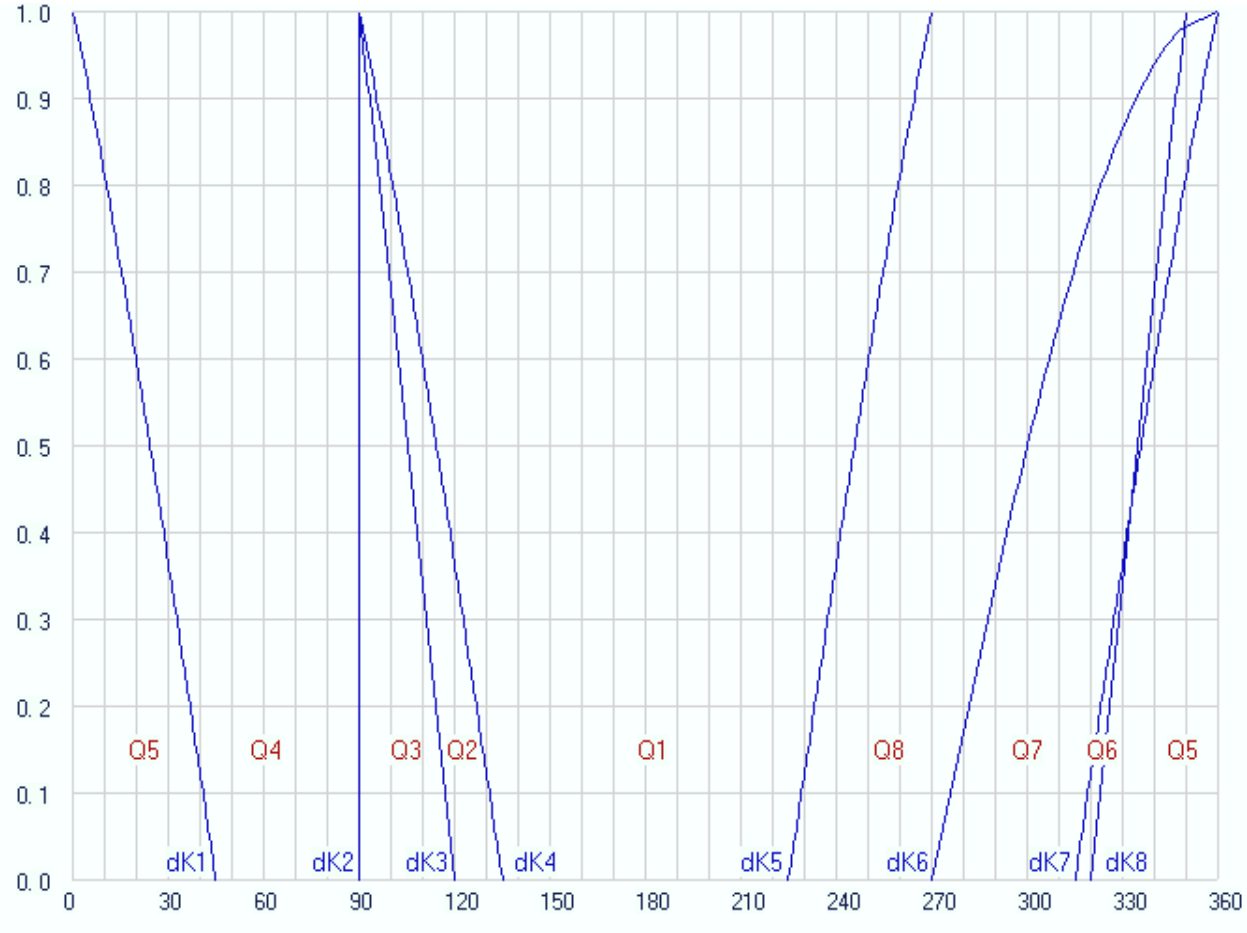


Рис. 4.38. Декомпозиція площини ситуацій $\Delta K \times \rho$ для форми δ_{tpr}

4.3. Висновки по четвертому розділу.

В розділі розглянуто відображення двох елементарних форм істинної траєкторії розходження судна в безліч форм відносної траєкторії розходження. Для елементарної форми істинної траєкторії розходження

судна ухиленням вправо отримано підмножину з семи ситуацій форм відносної траєкторії розходження, причому кожна із ситуацій містить від однієї до трьох областей незмінної форми відносної траєкторії. Показано, що зміна ситуацій відбувається зі зміною різниці курсів судна і цілі, причому отримані аналітичні вирази для розрахунку границь зміни суміжних ситуацій. Якщо ситуація містить декілька областей незмінної форми відносної траєкторії, то знайдені залежності для границь, які розділяють суміжні області.

Аналогічні результати отримані для елементарної форми істинної траєкторії розходження судна ухиленням курсу вліво. Для обох підмножин ситуацій, що виникають при ухиленні судна вправо і вліво, отримані залежності границь між суміжними ситуаціями від відносин швидкості судна до швидкості цілі, які дозволяють зробити декомпозицію площини ситуації на підмножину самих ситуацій.

РОЗДІЛ 5.
ПЕРЕВІРКА КОРЕКТНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ.

5.1. Метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна.

Після виявлення ситуації небезпечного зближення з можливістю стандартного маневру розходження стратегія розходження визначається за наступним алгоритмом.

Залежно від лімітуючих обставин (МППЗС-72, навігаційних небезпек, що заважають суднам і т.п.) обирається сторона ухилення. Отже, стає відомим $\delta_y = \pm 1$. Після цього визначаються параметри ухилення. Перш за все, розраховується мінімальне значення курсу ухилення і верхня межа часу початку ухилення. Мінімальний курс ухилення визначається вимогою помітності маневру розходження. У разі переваги швидкості судна V_o над швидкістю цілі V_c, тобто $V_o > V_c$, форми істинної і відносної траєкторій збігаються і мінімальний курс ухилення K_y визначається зміною початкового курсу на 30°, тому $K_y = K_o + 30\delta_y$, для якого розраховується відносний курс ухилення $\tilde{K}_{oty}$ за допомогою формули (3.1) третього розділу роботи. Для визначення часу ухилення $\tilde{t}_y$, тобто повороту на курс ухилення наведемо рис. 5.1, з якого випливає:

$$\tilde{t}_y = \frac{OM}{V_{otn}},$$

де V_{otn} – початкова відносна швидкість.

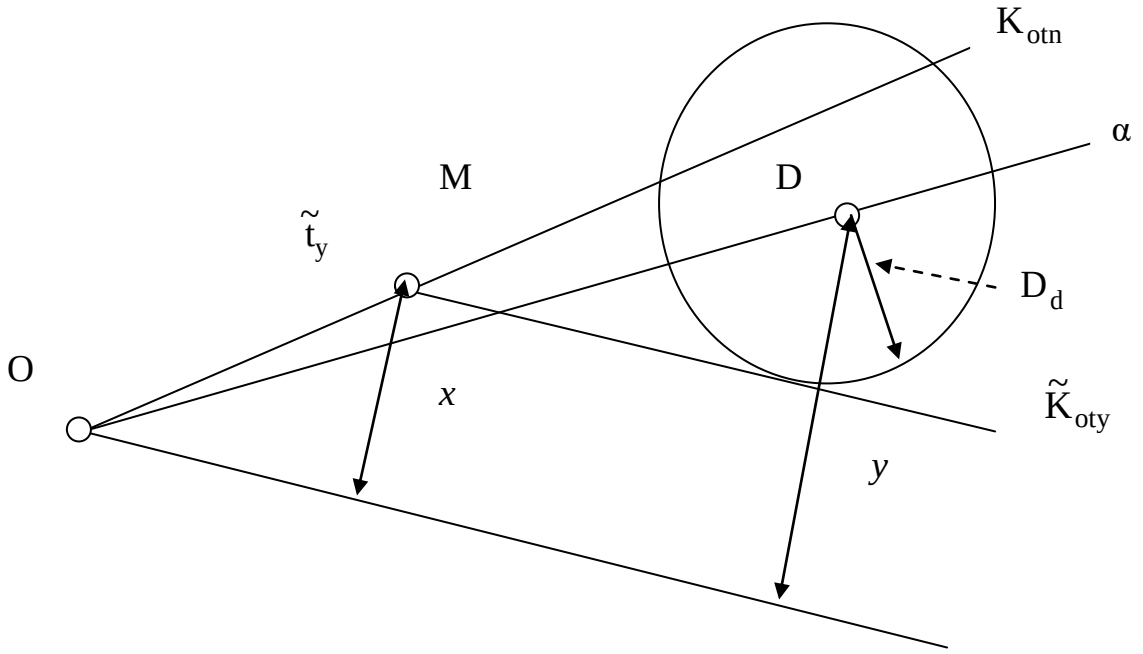


Рис. 5.1. Визначення значення $\tilde{t}_y$

Значення, яке вишукують OM визначається з виразу:

$$OM = \frac{x}{\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})},$$

де K_{otn} – початковий відносний курс.

В свою чергу,

$$x = y - D_d \text{ і } y = \Delta_y D \sin(\tilde{K}_{oty} - \alpha),$$

де $\Delta_y = \text{sign}[\sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otn})] = \pm 1.$

Тому

$$\tilde{t}_y = \frac{\Delta_y D \sin(\tilde{K}_{oty} - \alpha) - D_d}{\Delta_y V_{otn} \sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})}.$$

З урахуванням інерційності судна момент часу початку повороту ухилення t_y визначається виразом [55]:

$$t_y = \tilde{t}_y - \frac{\Delta_y(\Delta\xi_o \cos\tilde{K}_{oty} - \Delta\eta_o \sin\tilde{K}_{oty}) + V_c\tau_y \sin(\tilde{K}_{oty} - K_c)}{V_{otn}\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})},$$

де τ_y – тривалість повороту ухилення судна;

$\Delta\xi_o$ і $\Delta\eta_o$ – приріст координат оперуючого судна за час повороту τ_y;

K_c – курс цілі.

Значення тривалості повороту ухилення судна τ_y, а також збільшення координат оперуючого судна $\Delta\xi_o$ і $\Delta\eta_o$ за час повороту визначаються динамічною моделлю обертального руху судна. У даній роботі скористаємося кінематичною моделлю обертального руху судна з постійною кутовою швидкістю a_ω. У цьому випадку, як показано в роботі [55]:

$$\tau_y = \left|\frac{K_y - K_o}{a_\omega}\right|,$$

$$\Delta\xi_o(\tau_y) = \frac{V_o}{a_\omega}(\cos K_o - \cos K_y), \quad \Delta\eta_o(\tau_y) = \frac{V_o}{a_\omega}(\sin K_y - \sin K_o).$$

Розглянемо процедуру розрахунку моменту часу t_{b*} повороту судна в сторону його програмної траєкторії руху.

Умовою безпечного розходження на ділянці виходу є рівність дистанції найкоротшого зближення D_{min2} і гранично-допустимої дистанції D_d, тобто $D_{min2} = D_d$, як показано на рис. 5.2.

Очевидно, що дистанції найкоротшого зближення D_{min2} визначається виразом $D_{min2} = D(t_{b*})\sin[K_{otb} - \alpha(t_{b*})]$, тому:

$$D(t_{b*})\sin[K_{otb} - \alpha(t_{b*})] = \Delta_b D_d, \qquad (5.1)$$

де $D(t_{b*})$ і $\alpha(t_{b*})$ – дистанція і пеленг на момент часу t_{b*};

Δ_b – характеристика зміни відносного курсу при переході з ділянки ухилення на ділянку виходу, причому $\Delta_b = \mathrm{sign}[\sin(K_{otb} - K_{oty})]$.

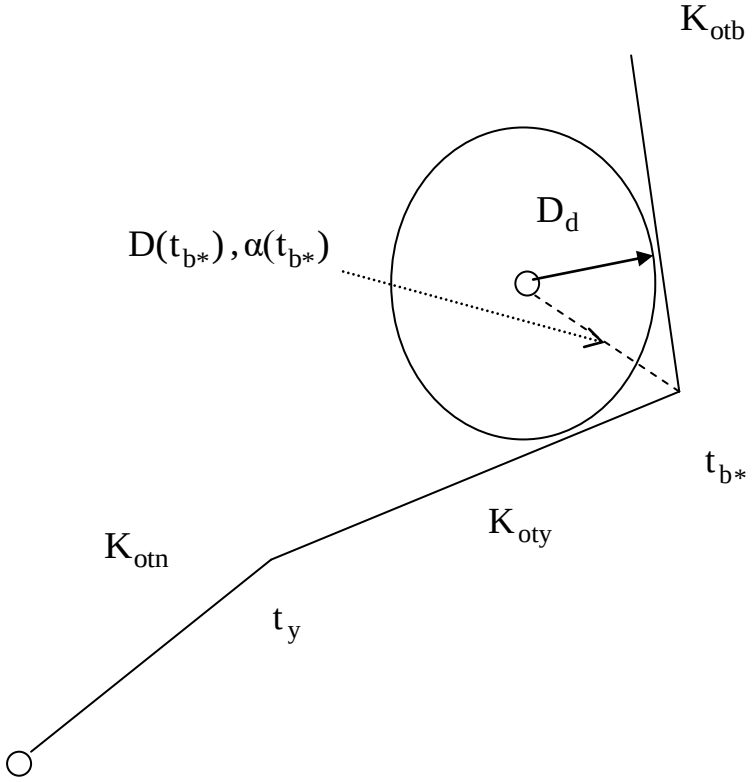


Рис. 5.2. До визначення нижньої границі t_{b*}

Наведене рівняння містить змінну t_{b*}, яку шукаємо при відомому відносному курсі виходу K_{otb}, що залежить від заданого значення K_b. Рівняння (5.1) записуємо в наступному вигляді:

$$D(t_{b*})\sin K_{otb}\cos\alpha(t_{b*}) - D(t_{b*})\cos K_{otb}\sin\alpha(t_{b*}) = \Delta_b D_d.$$

Враховуємо, що:

$$D(t_{b*})\sin\alpha(t_{b*}) = \Delta\xi_n - V_{otn}t_y\sin K_{otn} - V_{oty}(t_{b*} - t_y)\sin K_{oty},$$

$$D(t_{b*})\cos\alpha(t_{b*}) = \Delta\eta_n - V_{otn}t_y\cos K_{otn} - V_{oty}(t_{b*} - t_y)\cos K_{oty},$$

отримаємо:

$$\sin K_{otb}[\Delta\eta_n - V_{otn}t_y\cos K_{otn} - V_{oty}(t_{b*} - t_y)\cos K_{oty}] - \rightarrow$$

$$\rightarrow \cos K_{otb}[\Delta\xi_n - V_{otn}t_y\sin K_{otn} - V_{oty}(t_{b*} - t_y)\sin K_{oty}] = \Delta_b D_d,$$

де $\Delta\xi_n$ і $\Delta\eta_n$ – складові початкової дистанції D_n між суднами;

V_{otn} і V_{oty} – відносні швидкості відповідно початкова і ухилення.

Групуємо члени, що містять t_{b*}:

$$V_{oty}(t_{b*} - t_y)\sin(K_{oty} - K_{otb}) = \Delta_b D_d + t_y V_{otn}\sin(K_{otb} - K_{otn}) + \rightarrow$$
$$\rightarrow + \Delta\xi_n \cos K_{otb} - \Delta\eta_n \sin K_{otb}.$$

Враховуємо, що:

$$\Delta\xi_n = D_n \sin\alpha_n \text{ і } \Delta\eta_n = D_n \cos\alpha_n,$$

де α_n – початковий пеленг на ціль.

Отже,

$$\Delta\xi_n \cos K_{otb} - \Delta\eta_n \sin K_{otb} = D_n \sin(\alpha_n - K_{otb})$$

і остаточно отримаємо вираз для нижньої границі t_{b*} моменту часу повороту до заданої траєкторії руху:

$$t_{b*} = t_y + \frac{\Delta_b D_d + D_n \sin(\alpha_n - K_{otb}) + V_{otn} t_y \sin(K_{otb} - K_{otn})}{V_{oty}\sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})},$$

де $\Delta_b = \mathrm{sign}[\sin(K_{otb} - K_{oty})]$;

V_{oty} – відносна швидкість на ділянці виходу.

З урахуванням інерційності судна з отриманого виразу слід відняти поправку за інерційність Δt_b:

$$t_b = t_{b*} - \Delta t_b,$$

де Δt_b виражається в такий спосіб:

$$\Delta t_b = \frac{\Delta_b(\Delta\eta_o \sin K_{otb} - \Delta\xi_o \cos K_{otb}) + V_c \tau_b \sin(\tilde{K}_{otb} - K_c)}{V_{oty} \sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})}.$$

Тривалість повороту τ_b і збільшення координат розраховуються наступним чином:

$$\tau_b = \left| \frac{K_b - K_y}{a_\omega} \right|,$$

$$\Delta\xi_o(\tau_b) = \frac{V_o}{a_\omega}(\cos K_y - \cos K_b), \quad \Delta\eta_o(\tau_b) = \frac{V_o}{a_\omega}(\sin K_b - \sin K_y).$$

На закінчення наведемо вираз для розрахунку моментів часу повороту на програмну траєкторію руху судна [55]:

$$t_{kn} = t_b + \frac{L_p}{V_o |\sin(K_b - K_k)|} - \Delta t_k,$$

де $L_p = \delta_y V_o (t_b - t_y) \sin(K_y - K_o)$;

$$\Delta t_k = \frac{l_2}{V_o |\sin(K_b - K_k)|},$$

$$1_2 = \delta_y [\Delta\xi_o^2(\tau_k) + \Delta\eta_o^2(\tau_k)]^{1/2} \sin\varepsilon,$$

$$\varepsilon = \operatorname{arctg}[\Delta\eta_o(\tau_k)/\Delta\xi_o(\tau_k)] - K_k,$$

τ_k – тривалість повороту судна.

Тривалість повороту τ_k і приріст координат розраховуються за допомогою формул:

$$\tau_k = \left| \frac{K_k - K_b}{a_\omega} \right|,$$

$$\Delta\xi_o(\tau_k) = \frac{V_o}{a_\omega}(\cos K_b - \cos K_k), \quad \Delta\eta_o(\tau_k) = \frac{V_o}{a_\omega}(\sin K_k - \sin K_b).$$

Якщо $V_o < V_c$, то значення K_y визначається наступним чином. Спочатку приймається $K_y^{(n)} = K_o + 30\delta_y$. Потім вибирається найближчий курс K_{extr} зміни знаку зміни відносного курсу у напрямку знаку δ_y. Потім перевіряється приналежність значення K_{extr} інтервалу $(K_o, K_y^{(n)})$. Якщо значення K_{extr} належить інтервалу $(K_o, K_y^{(n)})$, то курсом ухилення K_y приймається K_{extr}, в іншому випадку $K_y = K_y^{(n)}$, що можна записати:

$$K_y = \begin{cases} K_{extr}, \text{ if } K_{extr} \in (K_o, K_y^{(n)}); \\ K_y^{(n)}, \text{ if } K_{extr} \notin (K_o, K_y^{(n)}). \end{cases}$$

Надалі необхідно враховувати форму відносної траєкторії. Як вказувалося в попередніх розділах, у випадку $V_o < V_c$ відносна траєкторія розходження може приймати чотири форми Δ_{tst}, Δ_{tpr}, Δ_{tst1} і Δ_{tpr1}, які характеризуються двома параметрами Δ_y и Δ_b, перший з яких вказує на сторону зміни відносного курсу на ділянці ухилення в момент часу t_y, а другий – на ділянці повороту до програмної траєкторії в момент часу t_b. Кожен з параметрів може набувати значень 1 або -1, причому відповідності значень Δ_y і Δ_b формам Δ_{tst}, Δ_{tpr}, Δ_{tst1} і Δ_{tpr1} наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Значення параметрів σ_y і σ_b

Форми	Δ_{tst}	Δ_{tpr}	Δ_{tst1}	Δ_{tpr1}
Δ_y	1	-1	1	-1
Δ_b	-1	1	1	-1

Для всіх чотирьох форм відносної траєкторії розходження час початку повороту ухилення розраховується за допомогою формули:

$$t_y = \tilde{t}_y - \frac{\Delta_y(\Delta\xi_o \cos\tilde{K}_{oty} - \Delta\eta_o \sin\tilde{K}_{oty})cm + V_c\tau_y \sin(\tilde{K}_{oty} - K_c)}{V_{otn}\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})},$$

де $cm = \pm 1$, а знак визначається співвідношенням знаків δ_y, Δ_y і Δ_b.

В останньому виразі $\tilde{t}_y = \dfrac{\left|D\sin(\tilde{K}_{oty} - \alpha)\right| - D_d}{V_{otn}\left|\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})\right|}$.

Для форм Δ_{tst} і Δ_{tpr} момент часу початку виходу

$$t_b = t_y + \frac{cmvD_d + D_n \sin(\alpha_n - K_{otb}) + V_{otn}\, t_y \sin(K_{otb} - K_{otn})}{V_{oty}\sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})} - \Delta t_b,$$

де $$\Delta t_b = \frac{\delta_y \Delta_b(\Delta\eta_o \sin K_{otb} - \Delta\xi_o \cos K_{otb}) + V_c\tau_b \sin(\tilde{K}_{otb} - K_c)}{V_{oty}\sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})};$$

$cmv = \pm 1$, причому знак визначається співвідношенням знаків δ_y, Δ_y і Δ_b.

Якщо реалізуються форми Δ_{tst1} або Δ_{tpr1}, то розрахунок величини t_{b*} через те що $\Delta_y \Delta_b = 1$, проводиться іншим способом. Для отримання необхідного аналітичного виразу звертаємося до рис. 5.2.

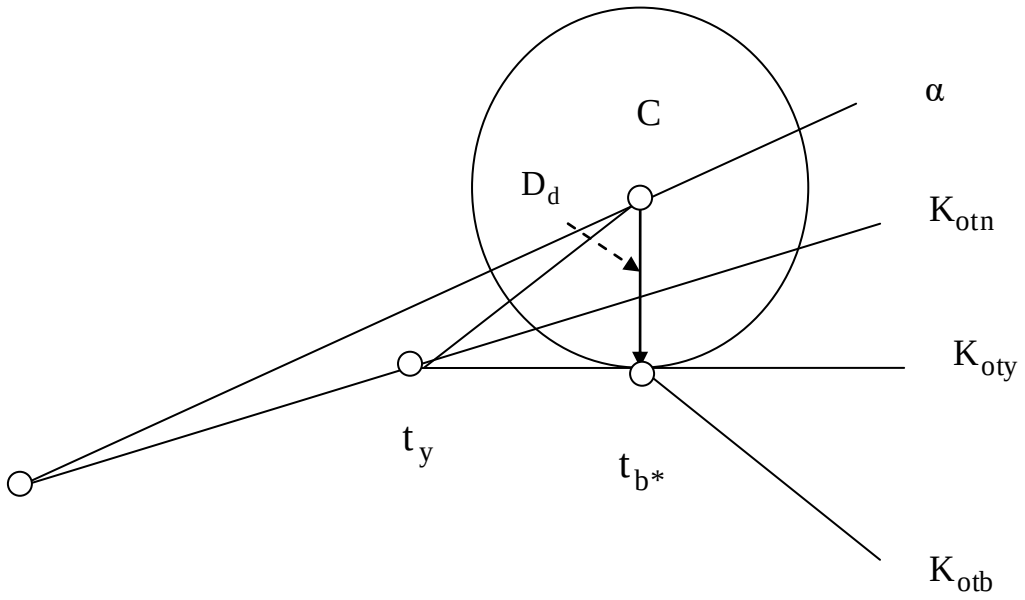


Рис. 5.2. Визначення часу виходу t_{b*}

З рисунку слідує:

$$t_{b*} = t_y + \frac{D_y \cos(K_{oty} - \alpha_y)}{V_{oty}},$$

де α_y і D_y – відповідно пеленг і дистанція до цілі в момент часу t_y.

Момент часу повороту до програмної траєкторії з урахуванням інерційності судна:

$$t_b = t_{b*} - \Delta t_b,$$

причому $\Delta t_b = \dfrac{-\delta_y \Delta_b(\Delta\eta_o \sin K_{otb} - \Delta\xi_o \cos K_{otb})cm + V_c \tau_b \sin(K_{otb} - K_c)}{V_{oty} \sin(K_{oty} - K_{otb})}$.

Незалежно від форми відносної траєкторії розходження час початку повороту на програмну траєкторію розраховується наступним чином:

$$t_{kn} = t_b + \frac{L_p}{V_o \left|\sin(K_b - K_k)\right|} - \Delta t_k,$$

де $L_p = \left|V_o(t_b - t_y)\sin(K_y - K_o)\right|$;

$$\Delta t_k = cmk \frac{l_2}{V_o \left|\sin(K_b - K_k)\right|},$$

$cmk = \pm 1$ і знак визначається співвідношенням знаків δ_y, Δ_y і Δ_b.

$1_2 = \Delta_b\ [\Delta\xi_o^2(\tau_k) + \Delta\eta_o^2(\tau_k)\ ]^{1/2} \sin\varepsilon$,

$\varepsilon = \mathrm{arctg}\ [\Delta\eta_o(\tau_k)/\Delta\xi_o(\tau_k)\ ] - K_k$,

τ_k – тривалість повороту судна.

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

Для перевірки коректності отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи, що дозволяють зробити синтез методу вибору безпечного маневру розходження оперуючого судна з ціллю зміною курсу з урахуванням реалізованої форми відносної траєкторії розходження була розроблена імітаційна комп’ютерна програма, яка може бути використана у вигляді окремого модуля при розробці судновий інформаційної системи підтримки прийняття рішення судноводія в ситуаціях небезпечного

зближення з ціллю при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден.

Розроблена комп'ютерна імітаційна програма також містить модуль моделювання процесу розходження суден з розрахованими параметрами маневру, в результаті чого можна оцінити коректність запропонованого способу вибору безпечного маневру розходження суден. Розглянемо результати імітаційного моделювання маневрів розходження судна з ціллю, розрахованих інформаційною системою для різних ситуацій небезпечного зближення з урахуванням форми відносної траєкторії розходження. Спочатку розглянемо ситуації зближення судна з ціллю, з переважною швидкістю судна, тобто $V_o > V_c$.

Ситуація 1 небезпечного зближення судна з ціллю характеризується параметрами: пеленгом α = 200°, дистанцією D = 5 миль, $K_o = 251°$, $V_o = 20$ вузлів, $K_c = 302°$, $V_c = 15$ вузлів і показана на рис. 5.3. Судном обрана істинні траєкторія розходження відворотом вліво. Форми відносної і істинної траєкторій однакові і показані на рис. 5.4. Програмою за допомогою отриманих виразів розраховані параметри маневру розходження, які також наведені на рис. 5.4. До них відносяться курси проходження ділянками траєкторії розходження і моменти часу початку і поворотів судна. У даній ситуації відносна траєкторія розходження має форму Δ_{tpr}, яка забезпечує розходження перетином траєкторії цілі по кормі. Програвання маневру імітаційним моделюванням показано на рис. 5.5 ÷ 5.9. Початок і завершення повороту судна на ділянку ухилення показані на рис. 5.5 і 5.6.

На 912 с процесу розходження відбувається найкоротше зближення судна з ціллю на ділянці ухилення. Після завершення ухилення судно починає поворот на ділянку виходу до програмної траєкторії руху, що показано на рис. 5.8. У момент часу 1468 с судно досягає найкоротшого зближення з ціллю на ділянці виходу (рис. 5.9), а потім зближується з програмною траєкторією руху.

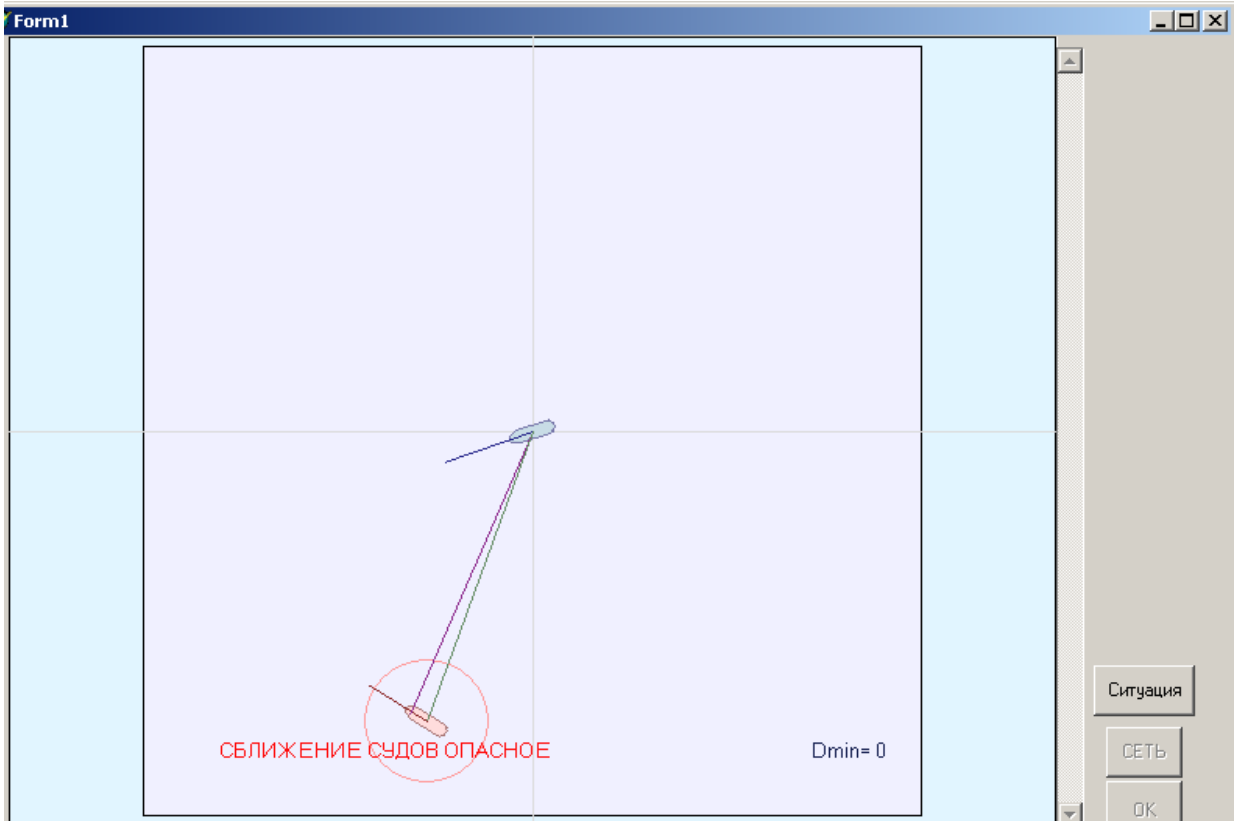


Рис. 5.3. Небезпечне зближення судна з ціллю в ситуації 1

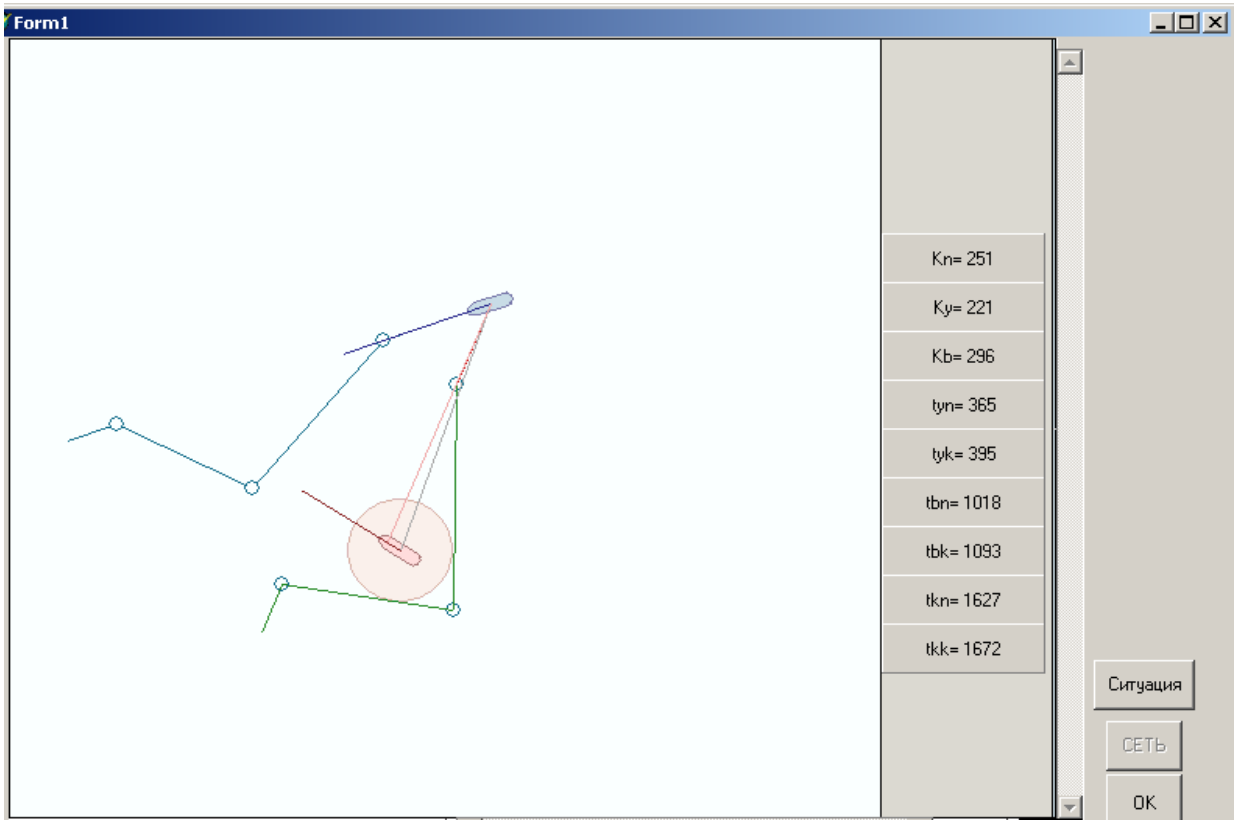


Рис. 5.4. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 1)

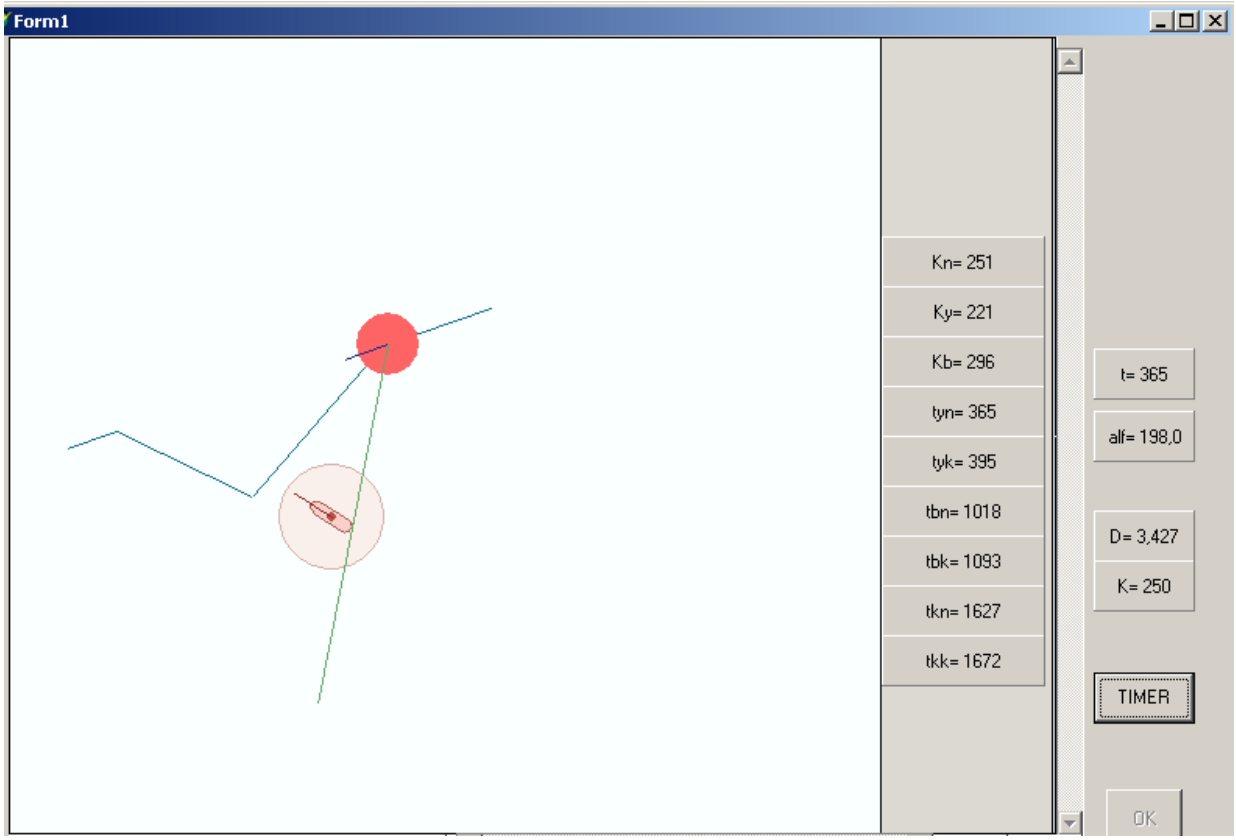


Рис. 5.5. Початок повороту судна на ділянку ухилення (ситуація 1)

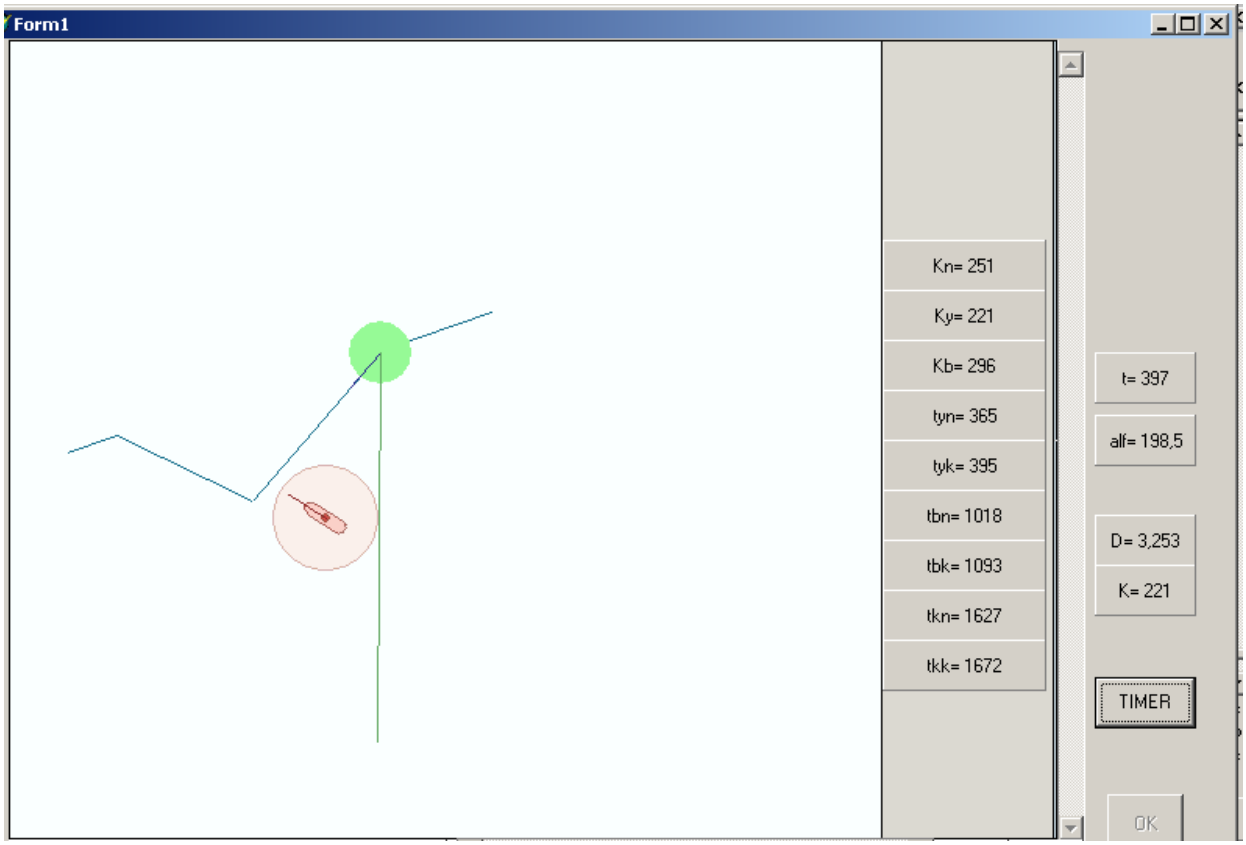


Рис. 5.6. Завершення повороту судна на ділянку ухилення (ситуація 1)

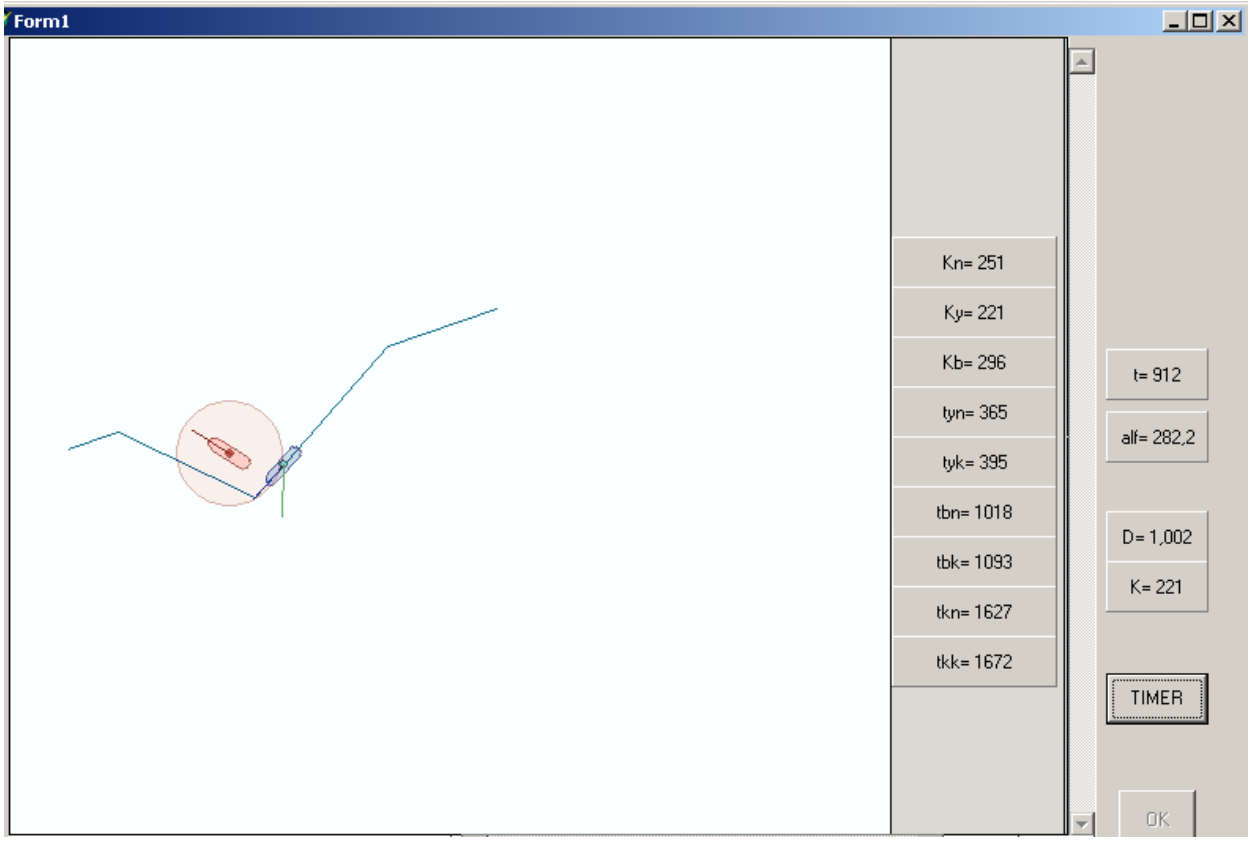


Рис. 5.7. Найкоротше зближення судна з ціллю (ситуація 1)

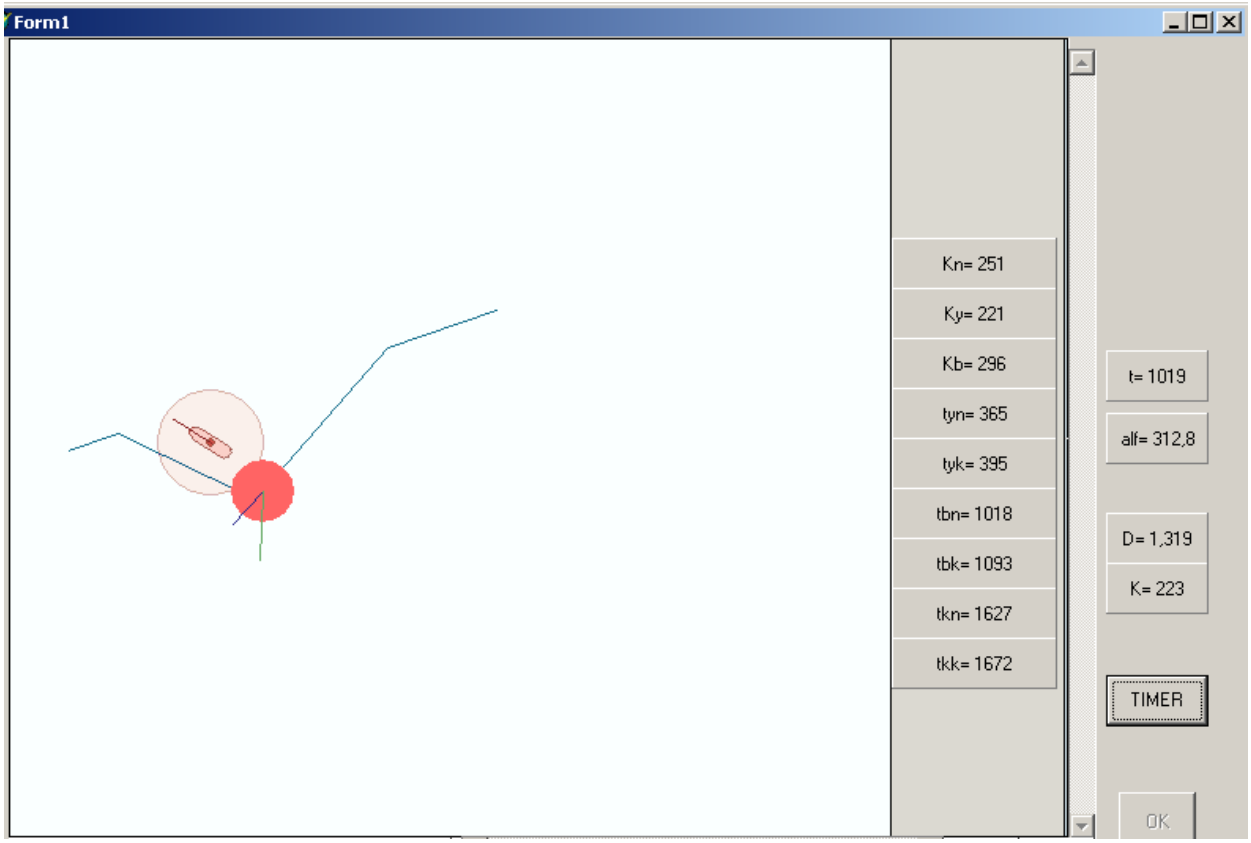


Рис. 5.8. Початок повороту судна на ділянку виходу (ситуація 1)

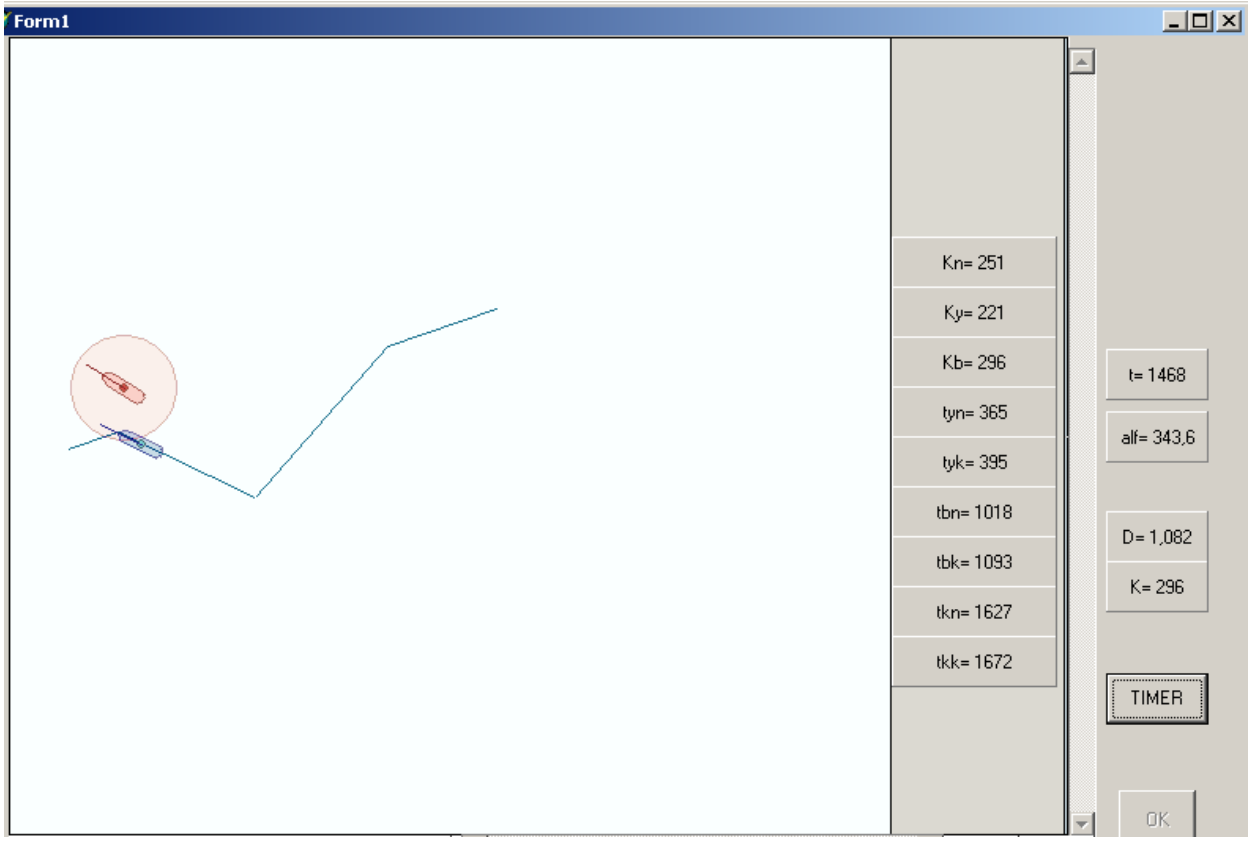


Рис. 5.9. Повернення судна на програмну траєкторію (ситуація 1)

Аналізуючи програвання процесу розходження судна з ціллю, переконуємося, що судно реалізувало траєкторію розходження, виконуючи повороти в розраховані моменти часу і слідуючи заданими курсами розходження. Причому дистанції найкоротшого зближення не досягались меншого значення гранично-допустимої дистанції.

Наступна ситуація 2 небезпечного зближення судна з ціллю показана на рис. 5.10 і характеризується пеленгом α = 200°, дистанцією D = 5 миль, $K_o = 150°$, $V_o = 20$ вузлів, $K_c = 70°$, $V_c = 15$ вузлів. Істинна траєкторія розходження судном обрана відворотом вправо. Форми відносної і істинної траєкторій показані на рис. 5.11, вони збігаються, тобто є однаковими. Параметри маневру розходження, розраховані програмою, наведено на рис. 5.11. Відносна траєкторія розходження має форму Δ_{tst}. Процес розходження відображений на рис. 5.12 - 5.17. На рис. 5.12 і 5.13 показаний поворот судна

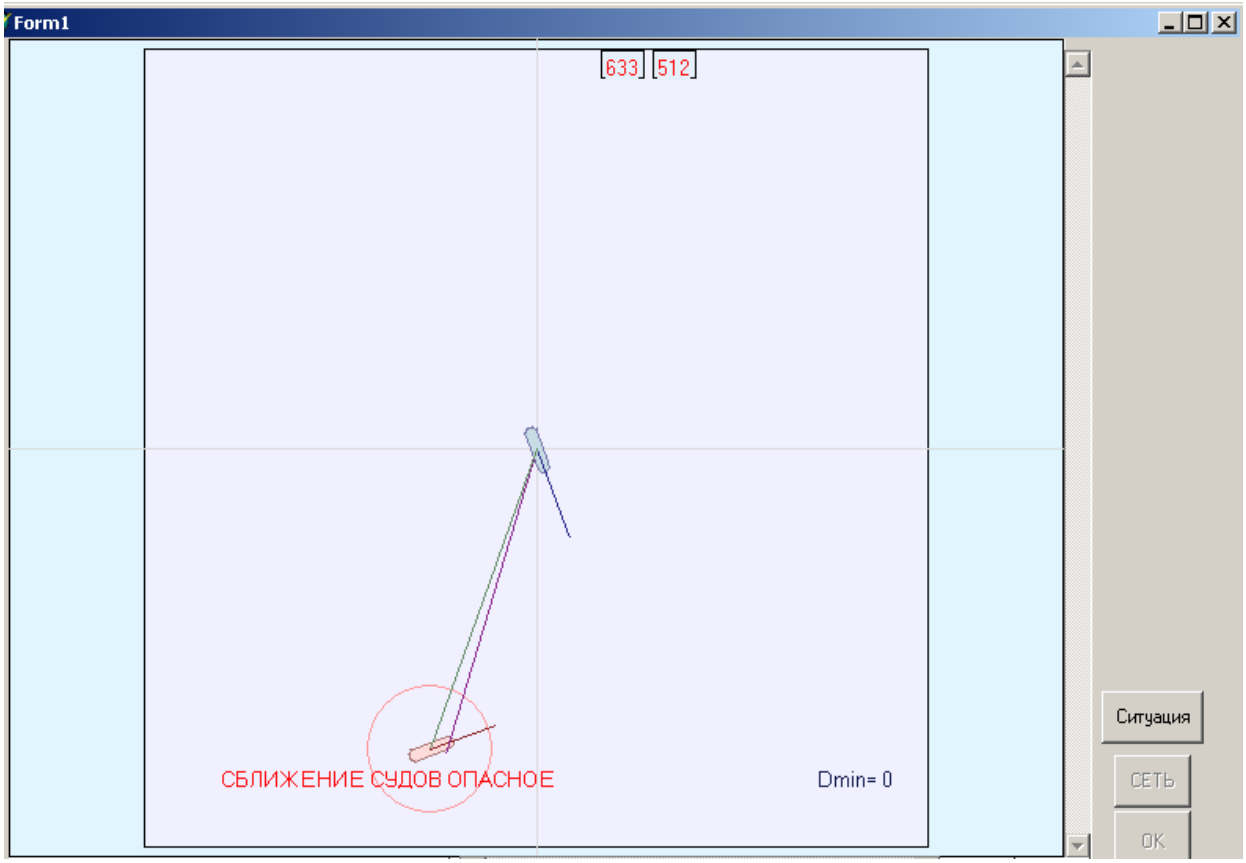


Рис. 5.10. Ситуація 2 небезпечного зближення судна з ціллю

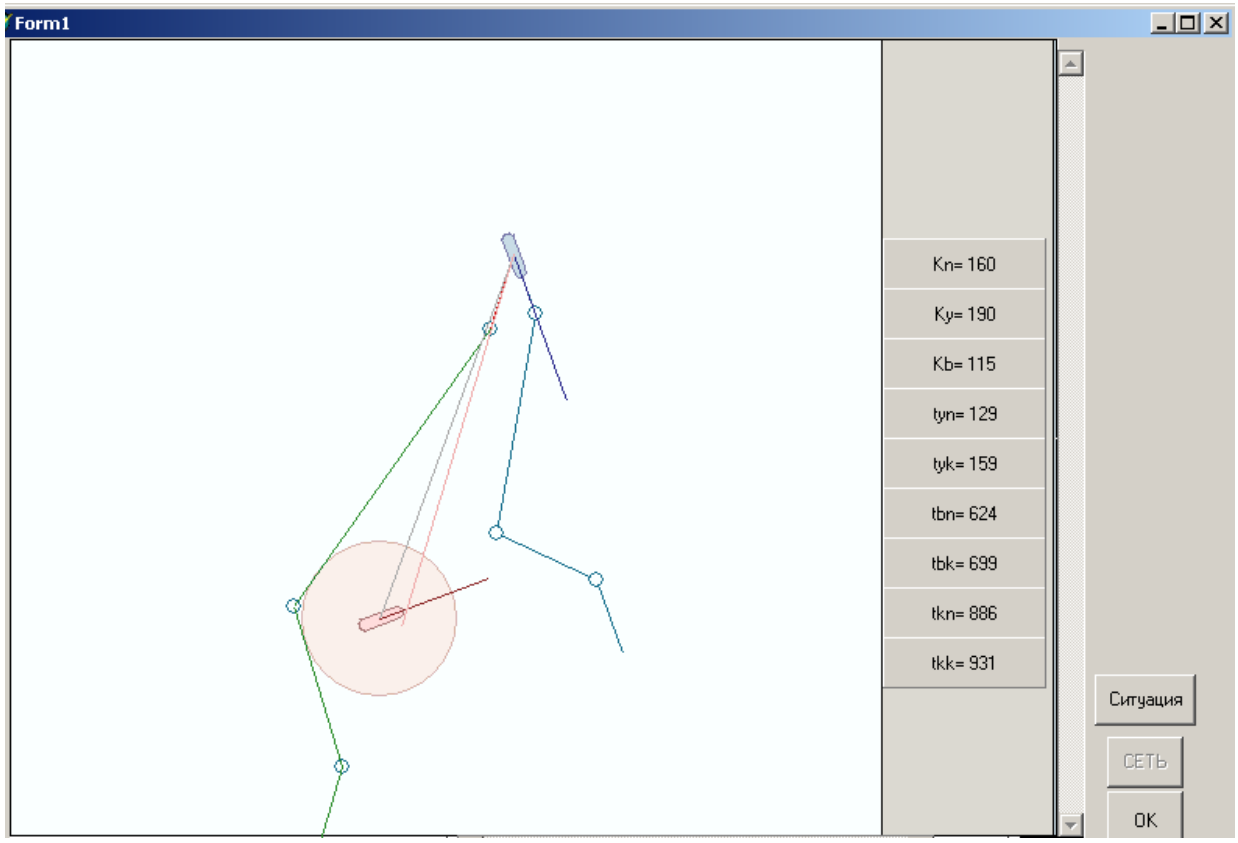


Рис. 5.11. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 2)

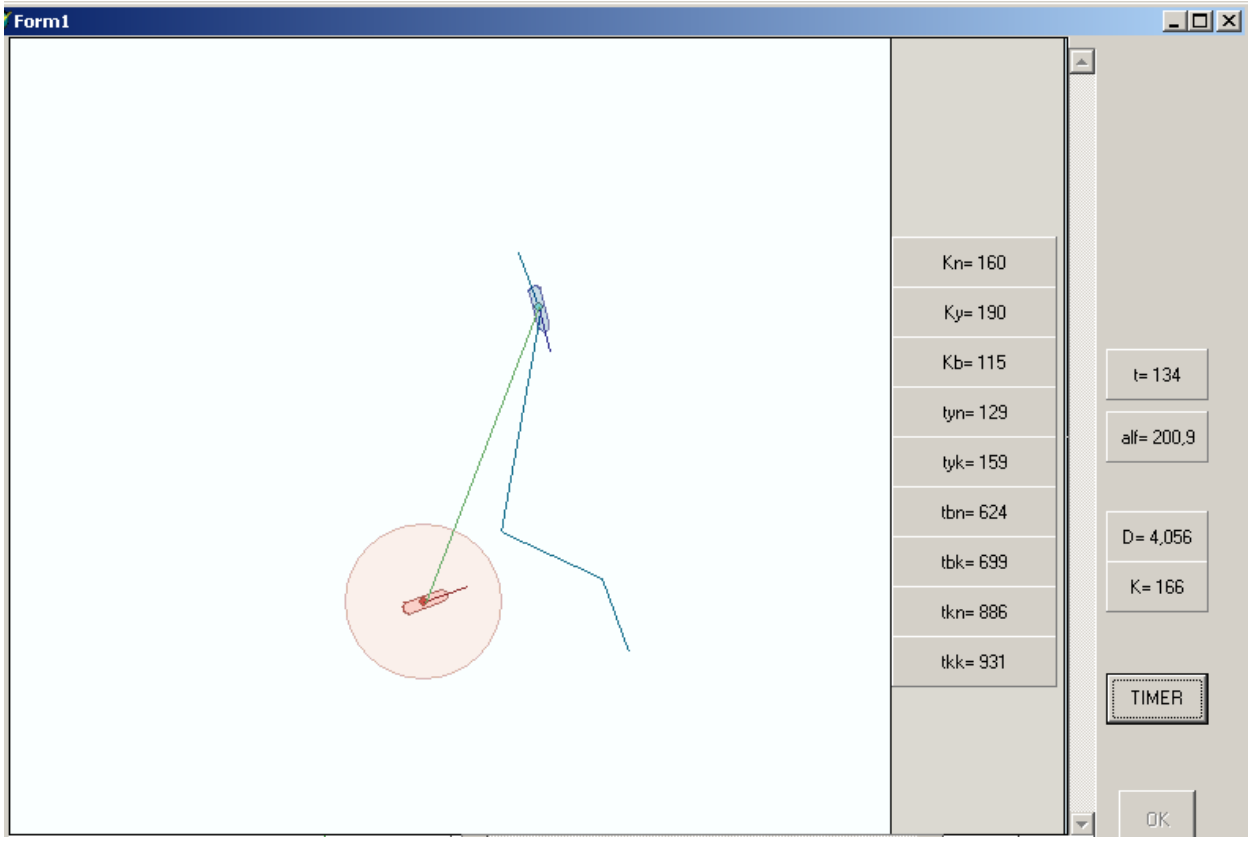


Рис. 5.12. Початок повороту судна на ділянку ухилення (ситуація 2)

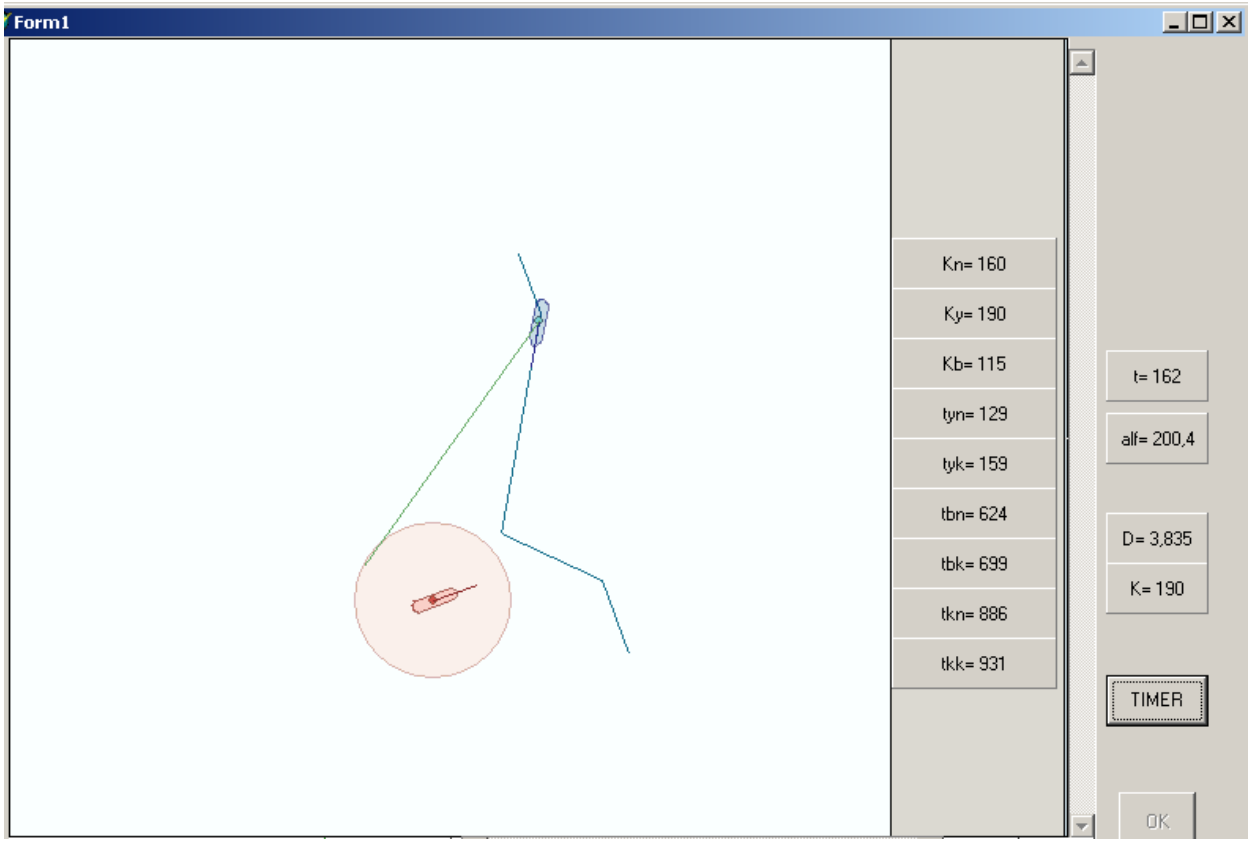


Рис. 5.13. Завершення повороту судна на ділянку ухилення (ситуація 2)

на ділянку ухилення.

Найкоротше зближення на ділянці ухилення показано на рис. 5.14, а на рис. 5.16 відображений процес розходження в момент найкоротшого зближення на ділянці виходу.

На рис. 5.15 представлений поворот судна на ділянку виходу, а повернення судна на програмну траєкторію показано на рис. 5.17.

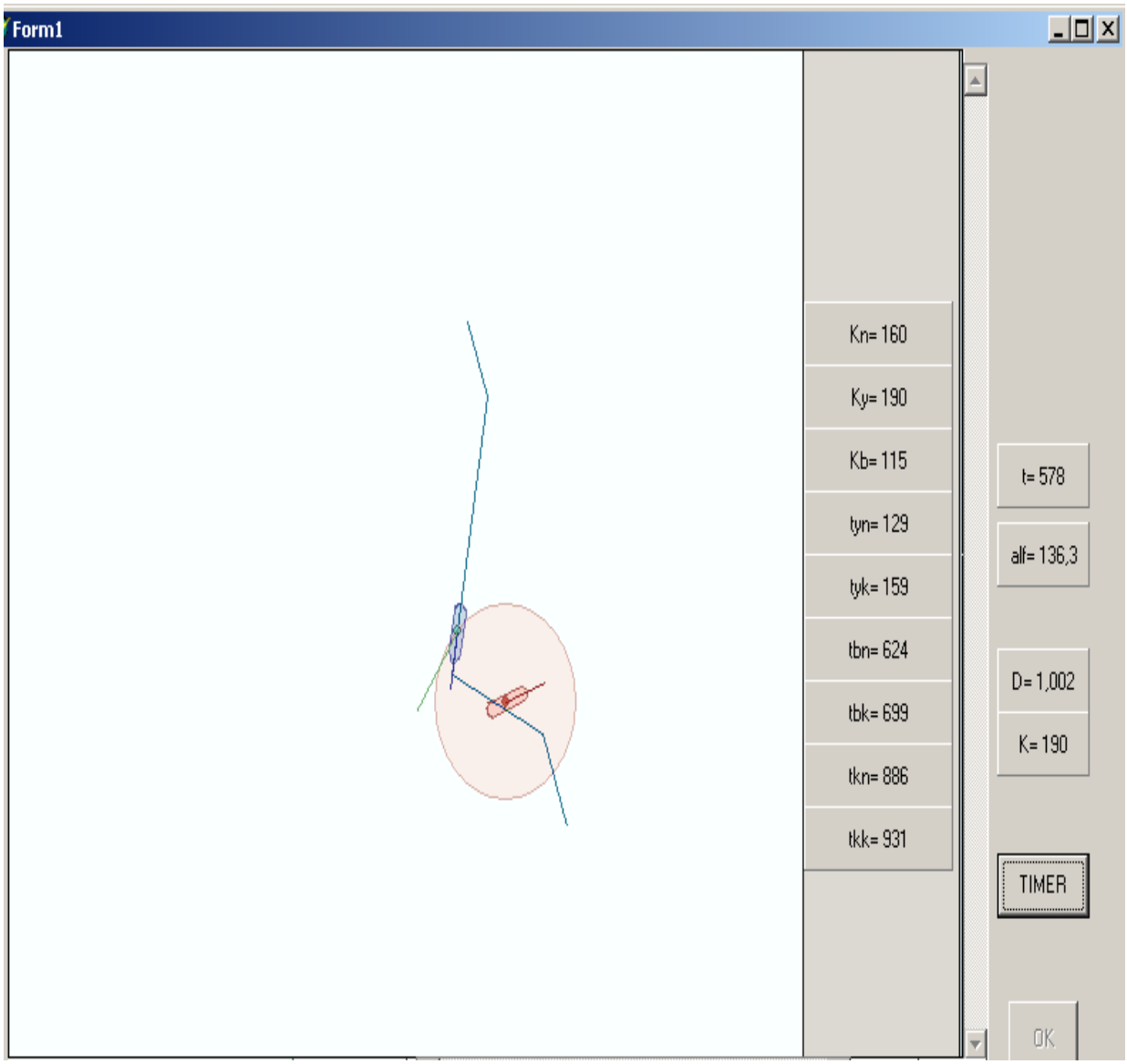


Рис. 5.14. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 2)

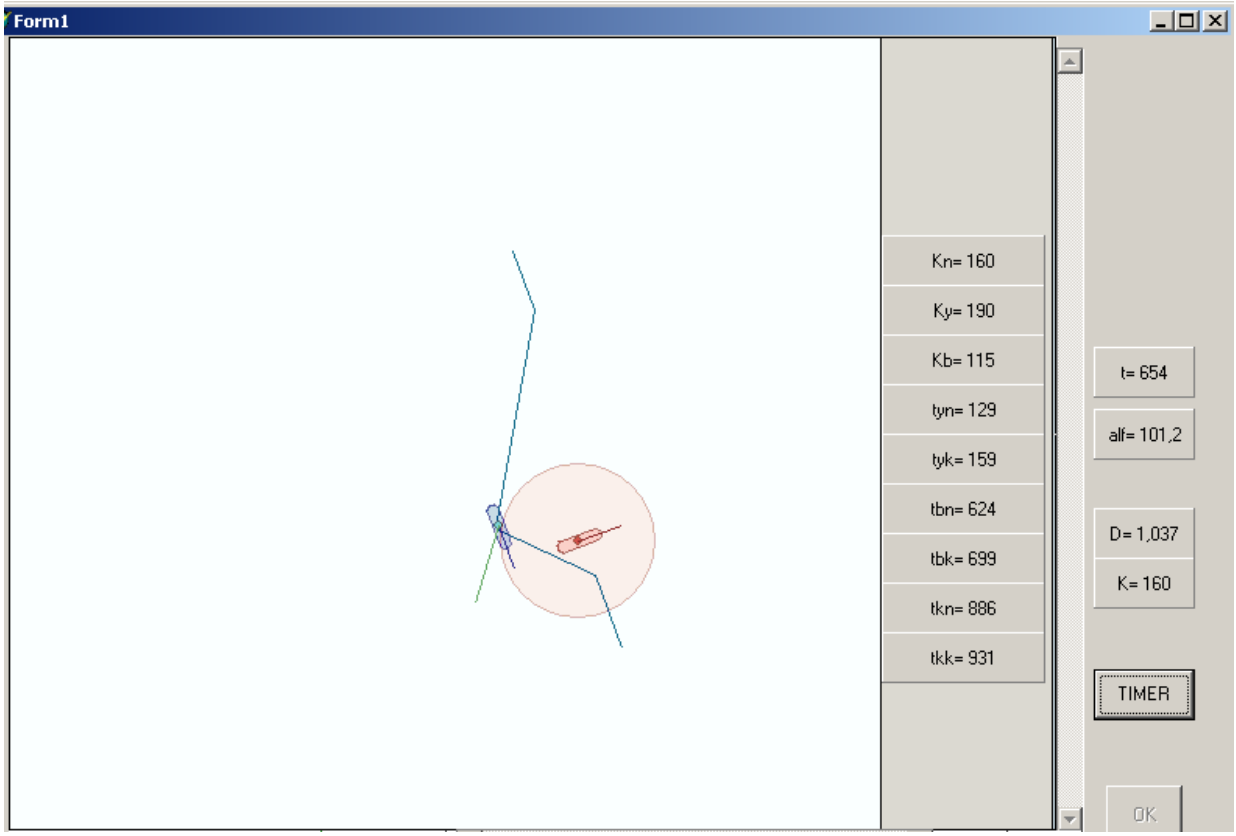


Рис. 5.15. Початок повороту судна на ділянку виходу (ситуація 2)

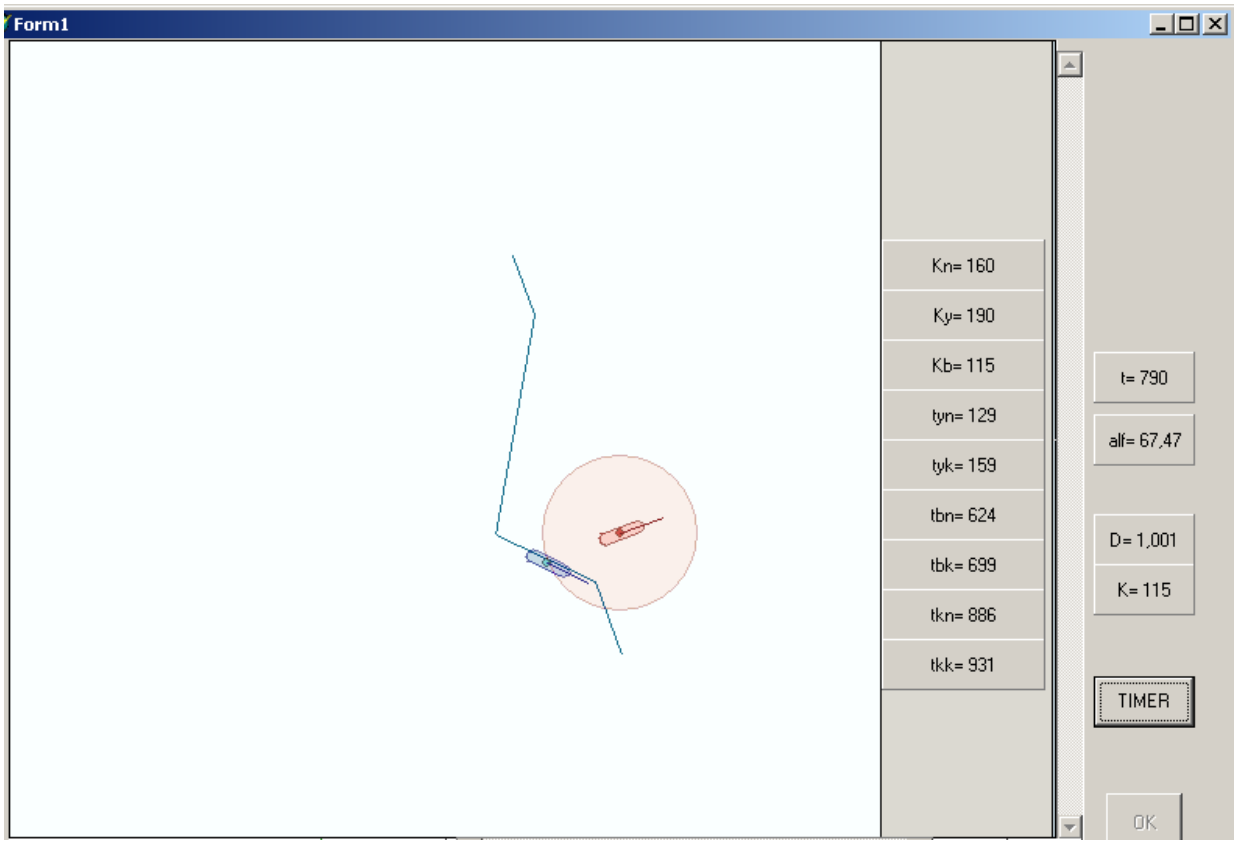


Рис. 5.16. Найкоротше зближення на ділянці виходу (ситуація 2)

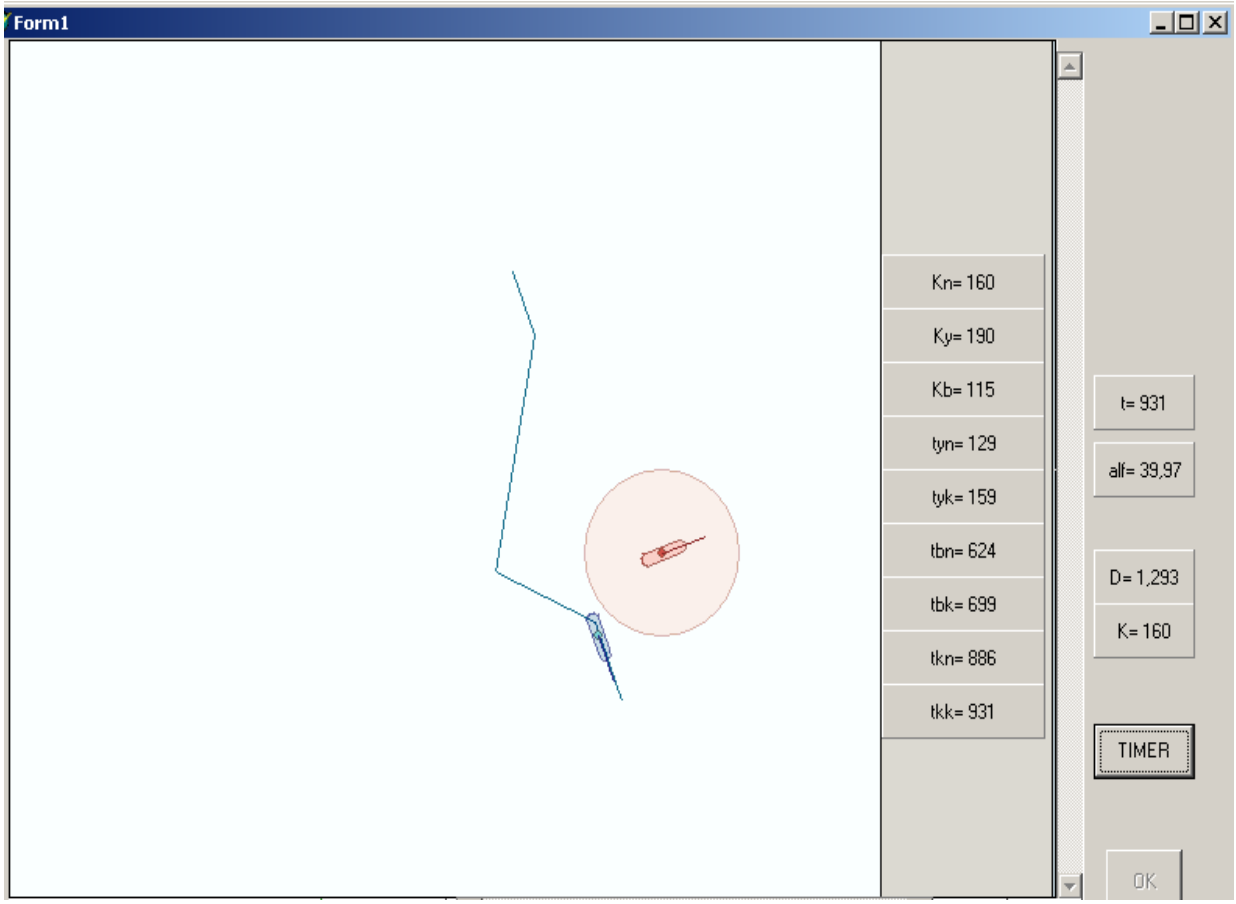


Рис. 5.17. Повернення судна на програмну траєкторію (ситуація 2)

Ситуація 3 небезпечного зближення судна з ціллю характеризується наступними параметрами: пеленг α = 200 °, дистанція D = 5 миль, $K_o = 160°$, $V_o = 20$ вузлів, $K_c = 65°$, $V_c = 15$ вузлів і показана на рис. 5.18. Судно реалізує істинну траєкторію розходження відворотом вліво. Відносна і істинна траєкторії розходження показані на рис. 5.19 і мають однакові форми. Програмою були розраховані параметри маневру розходження, які також наведені на рис. 5.19. В районі зближення знаходиться навігаційна небезпека, тому судном обрана траєкторія розходження ухиленням вліво, при якій курс цілі перетинається по носу. Так як швидкість судна більше швидкості цілі, то форми істинної і відносної траєкторій збігаються. На рис. 5.20 ÷ 5.24 відображений процес розходження і підтверджена коректність методу вибору параметрів маневру розходження.

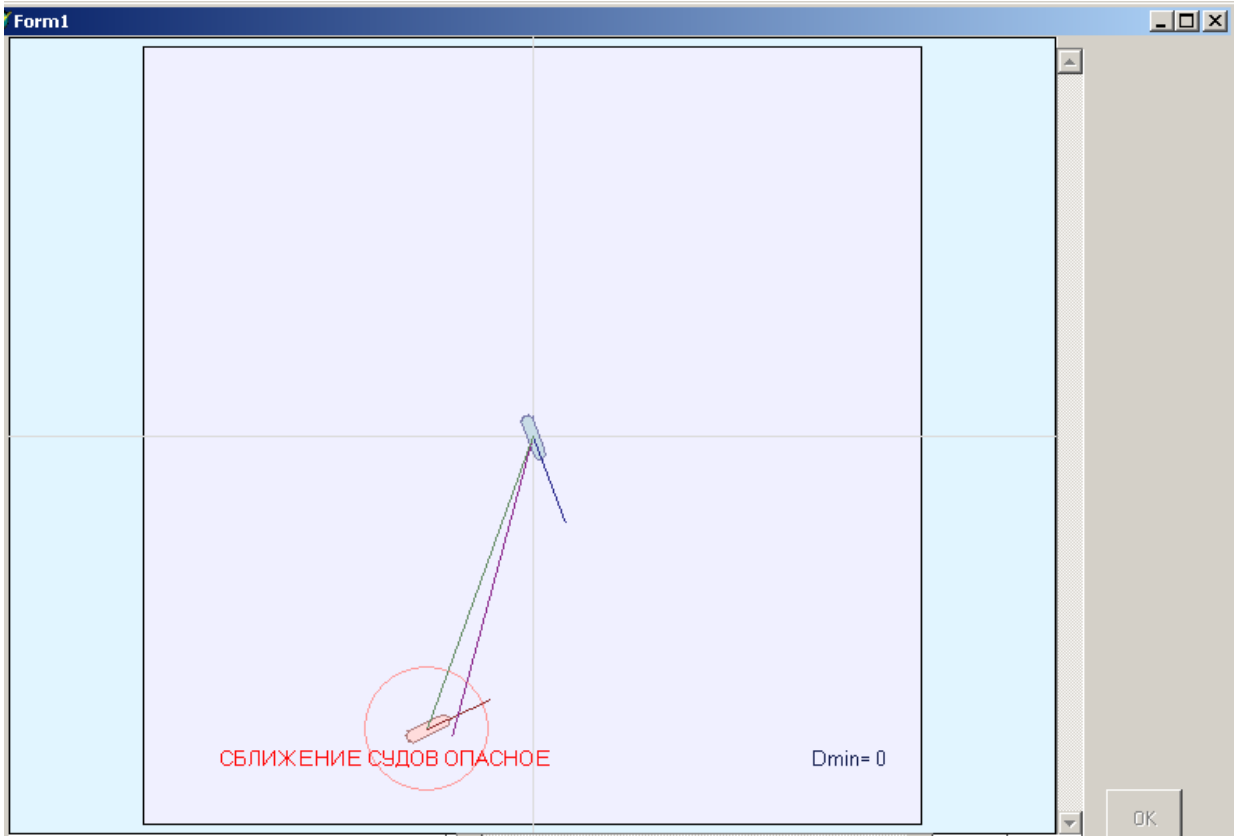


Рис. 5.18. Ситуація 3 небезпечного зближення судна з ціллю

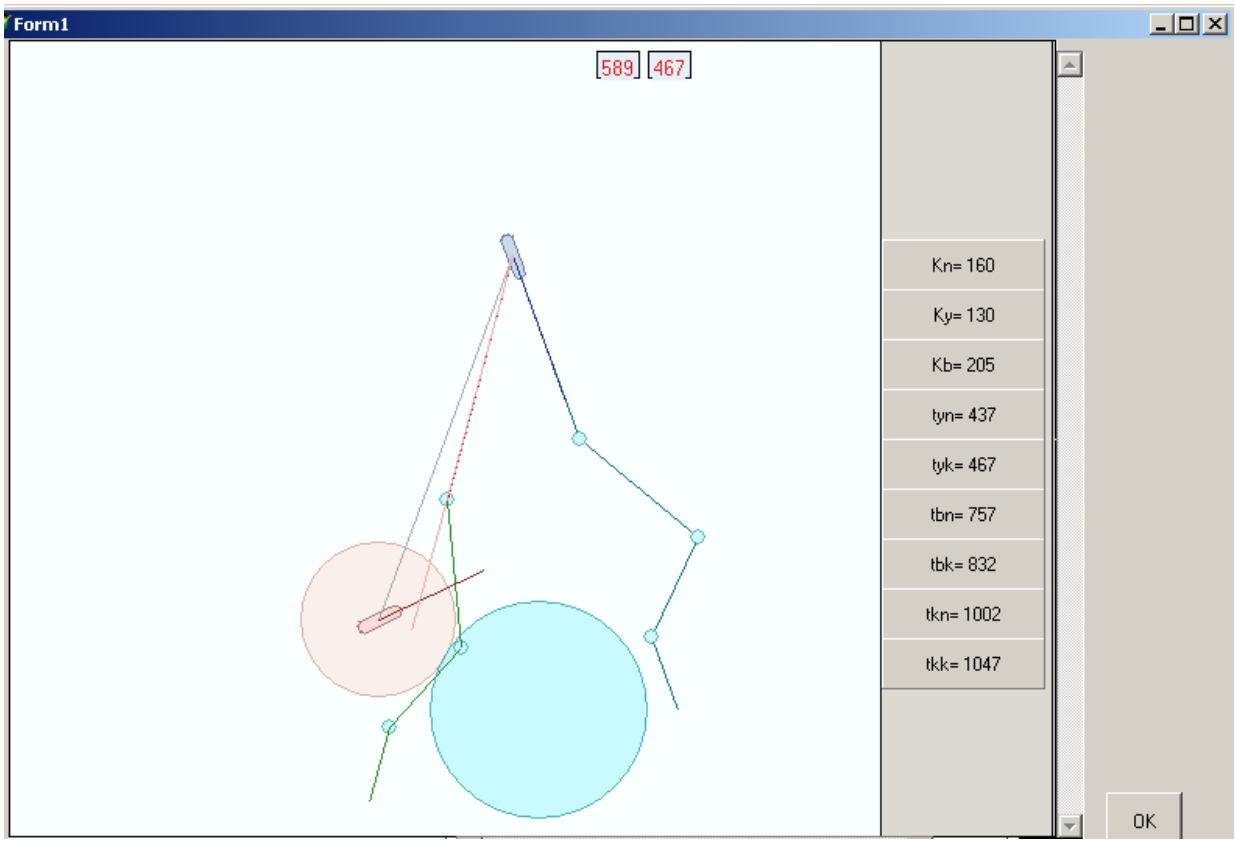


Рис. 5.19. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 3)

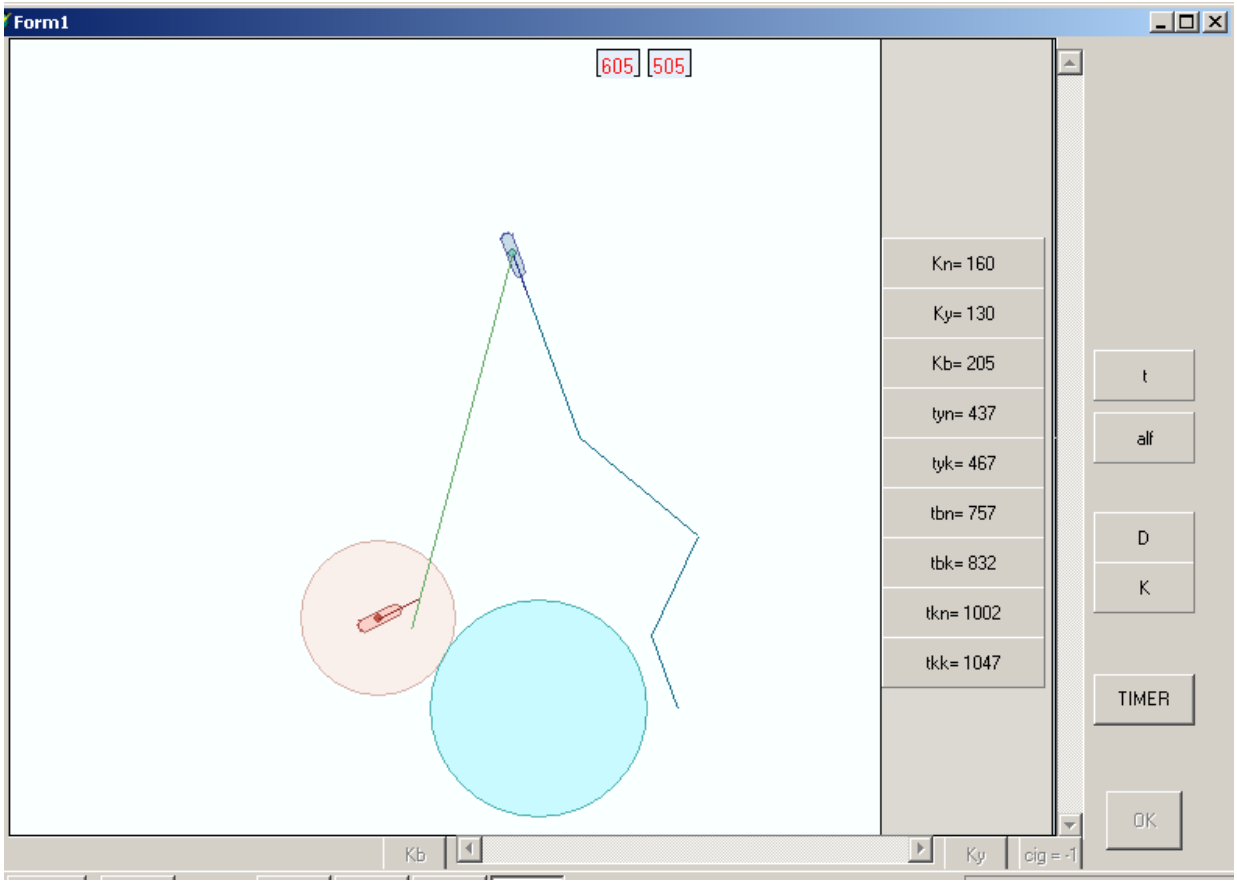


Рис. 5.20. Початкова позиція процесу розходження

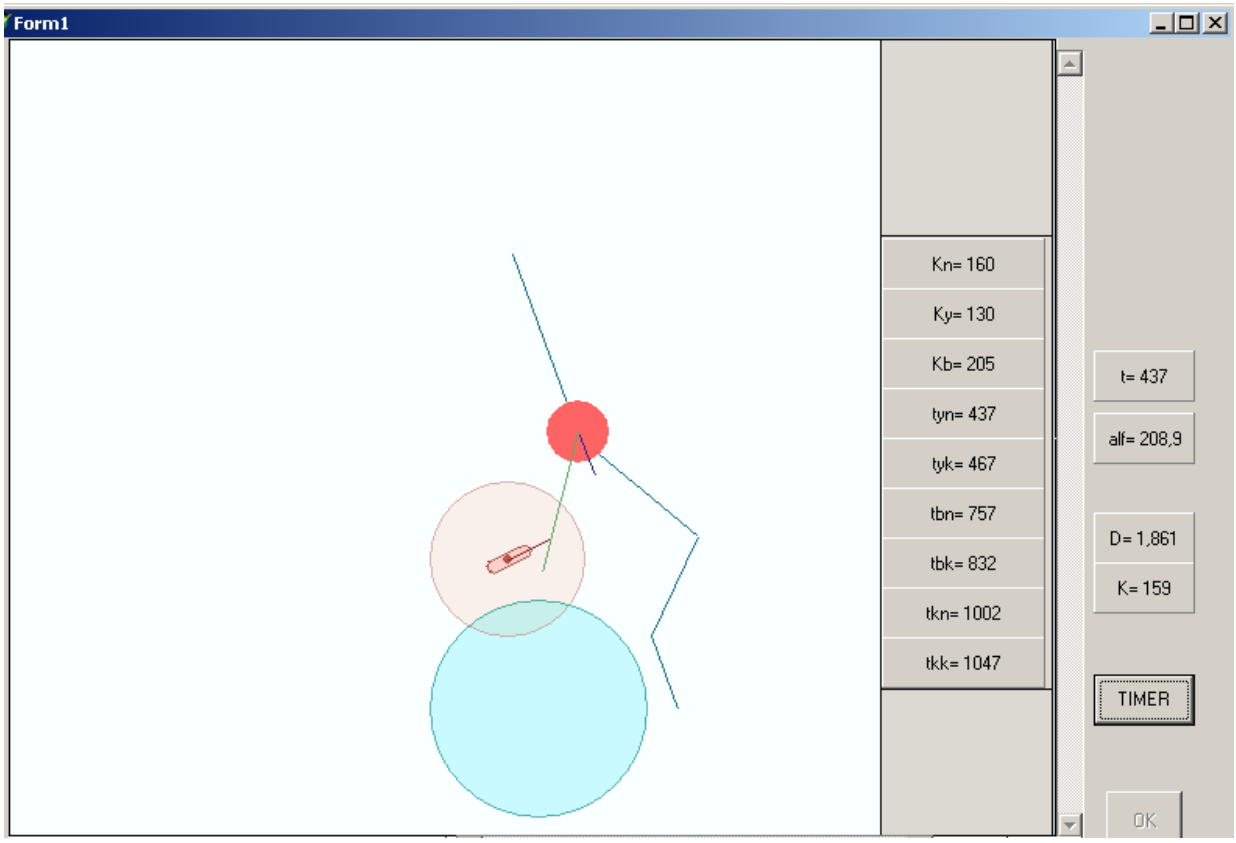


Рис. 5.21. Початок повороту судна на ділянку ухилення (ситуація 3)

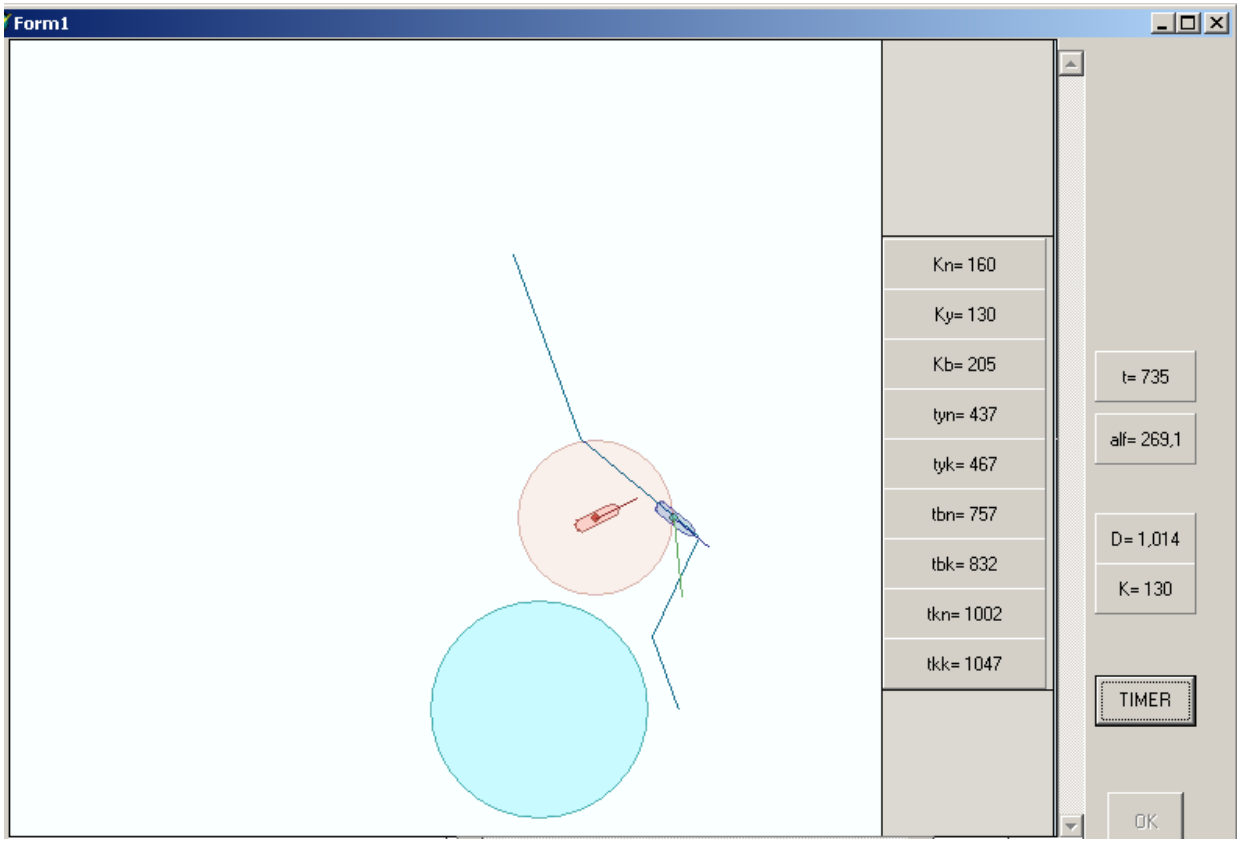


Рис. 5.22. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 3)

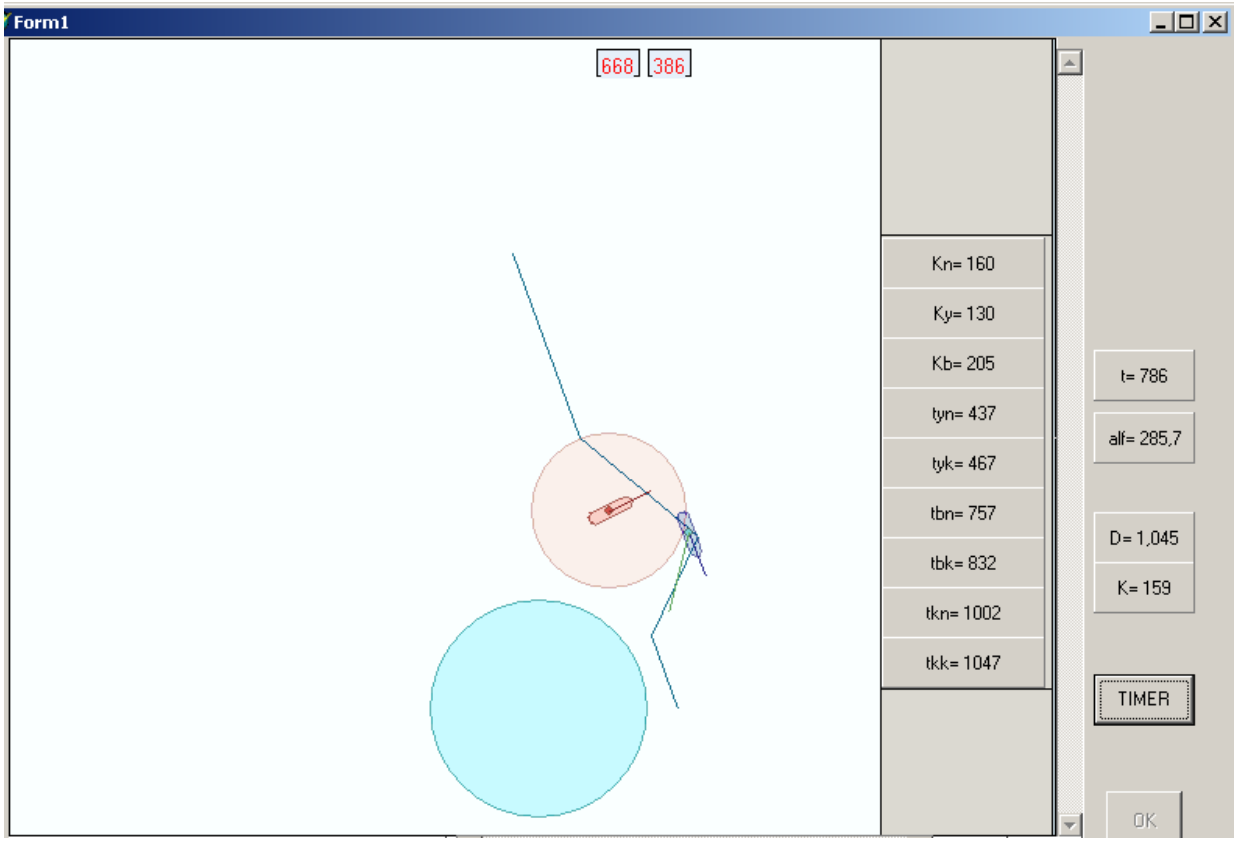


Рис. 5.23. Початок повороту судна на ділянку виходу (ситуація 3)

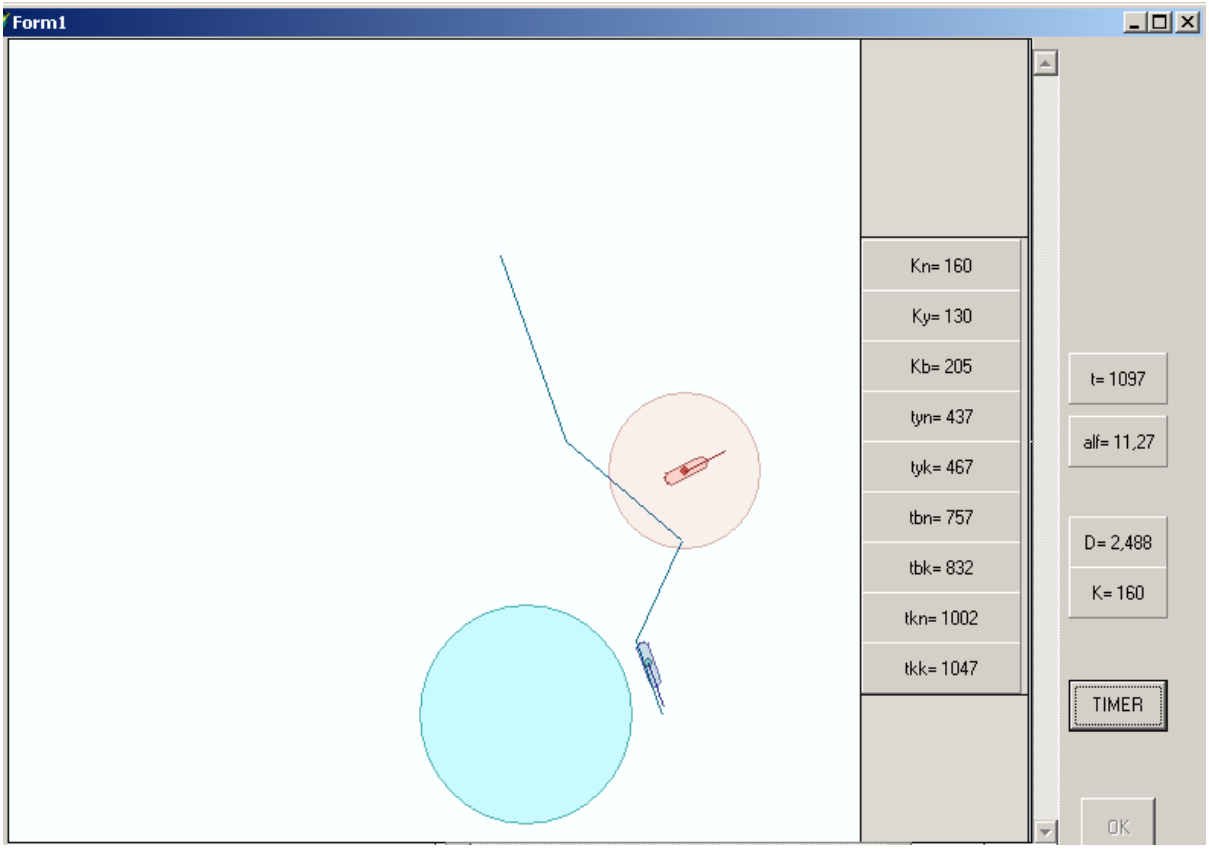


Рис. 5.24. Закінчення маневру розходження (ситуація 3)

Чергова ситуація 4 небезпечного зближення судна з ціллю на попутних курсах з параметрами: пеленгом α = 70°, дистанцією D = 3 милі, $K_o = 95°$, $V_o = 25$ вузлів, $K_c = 120°$, $V_c = 15$ вузлів показана на рис. 5.25. Істинна траєкторія розходження судном обгоном обрана відворотом вправо. Однакові форми відносної і істинної траєкторій показані на рис. 5.26. Параметри маневру розходження, розраховані програмою, наведені також на рис. 5.26. Відносна траєкторія розходження має форму Δ_{tst}. Процес розходження відображений на рис. 5.27 ÷ 5.31. На рис. 5.27 показаний поворот судна на ділянку ухилення. На 738 с процесу розходження досягається найкоротше зближення судна з ціллю на ділянці ухилення, як представлено на рис. 5.28, а найкоротше зближення на ділянці виходу відображено на рис. 5.30. Повороти на ділянки виходу і програмну траєкторію руху показані на рис. 5.29 і рис. 5.31.

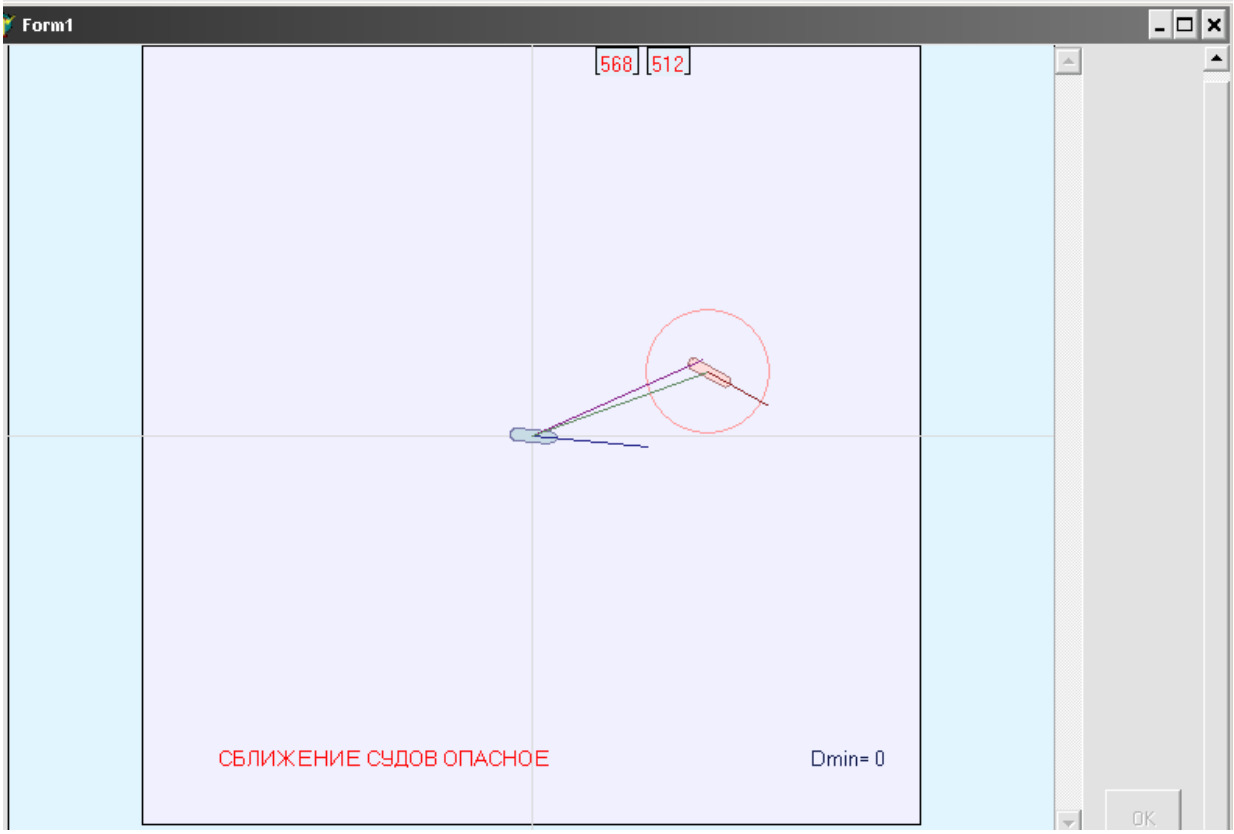


Рис. 5.25. Ситуація 4 небезпечного зближення судна з ціллю

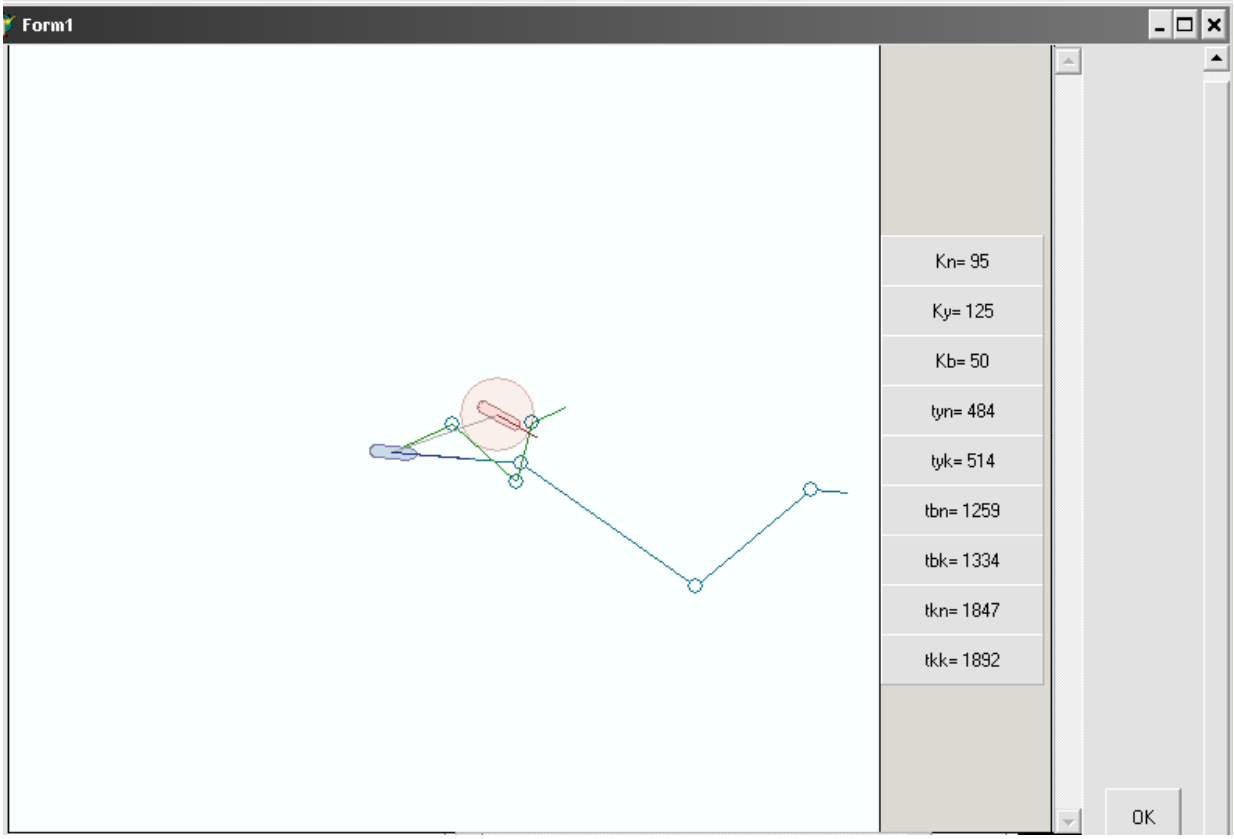


Рис. 5.26. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 4)

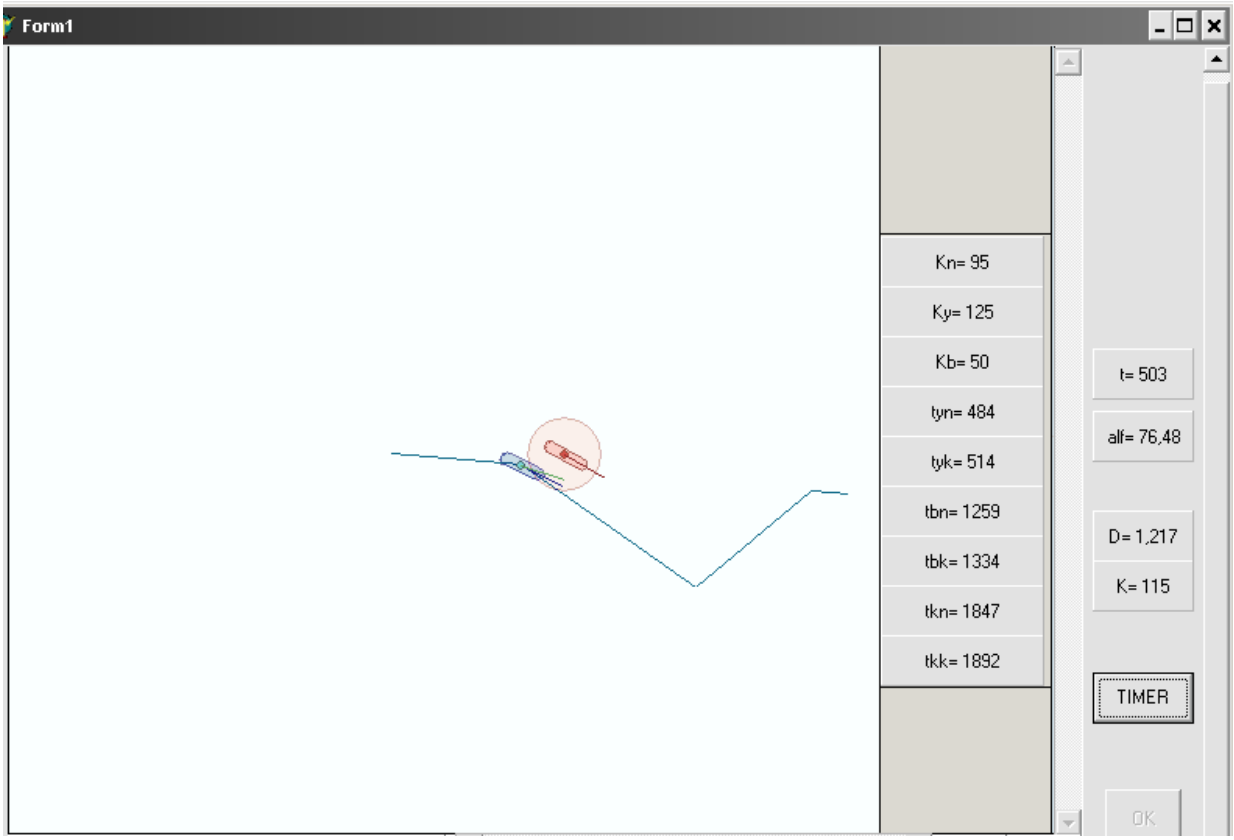


Рис. 5. 27. Поворот судна на ділянку ухилення (ситуація 4)

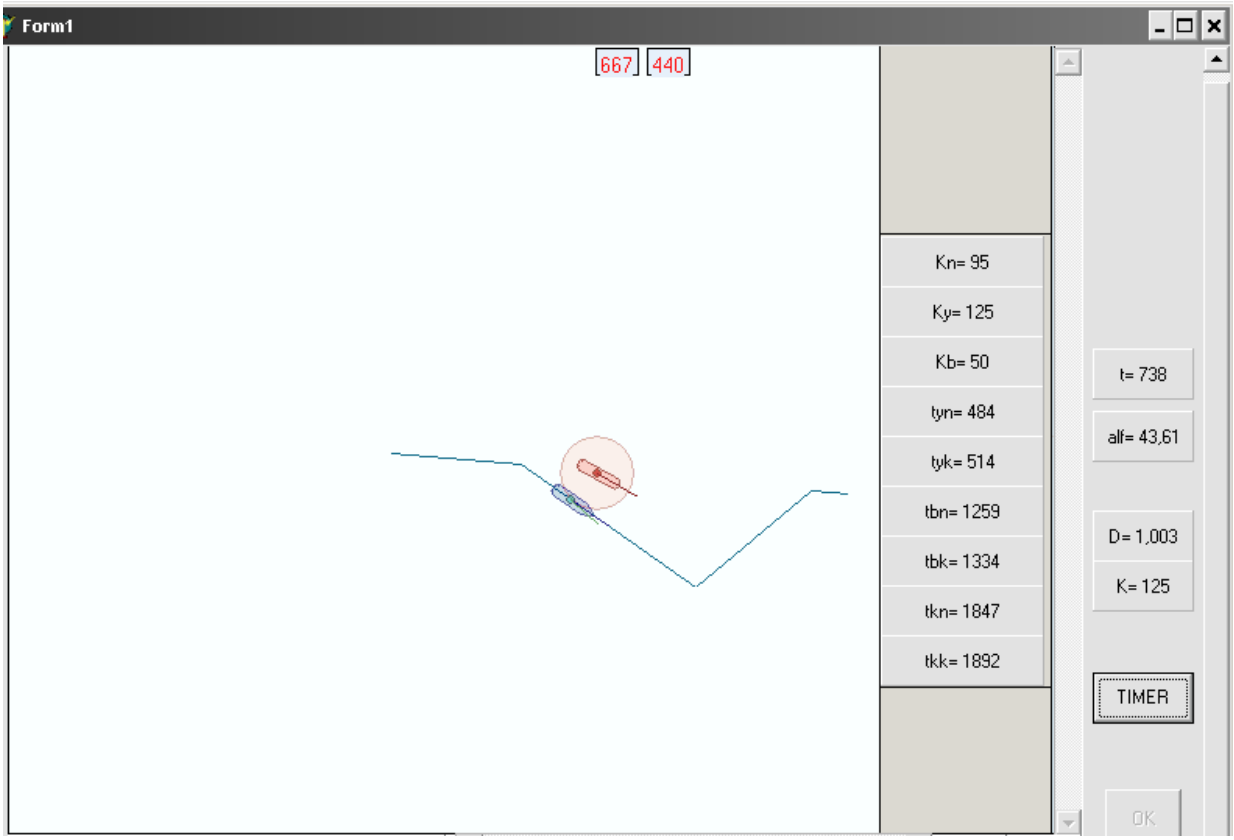


Рис. 5.28. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 4)

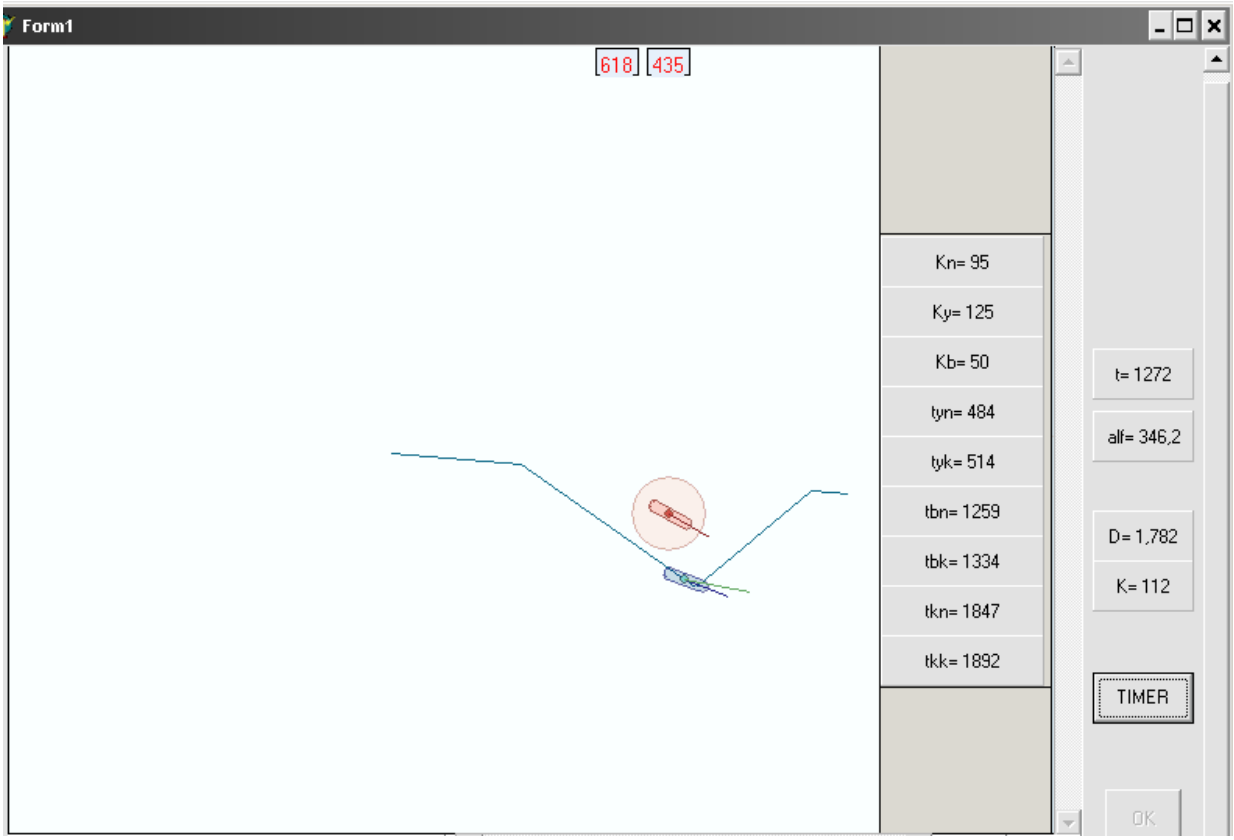


Рис. 5.29. Поворот судна на ділянку виходу (ситуація 4)

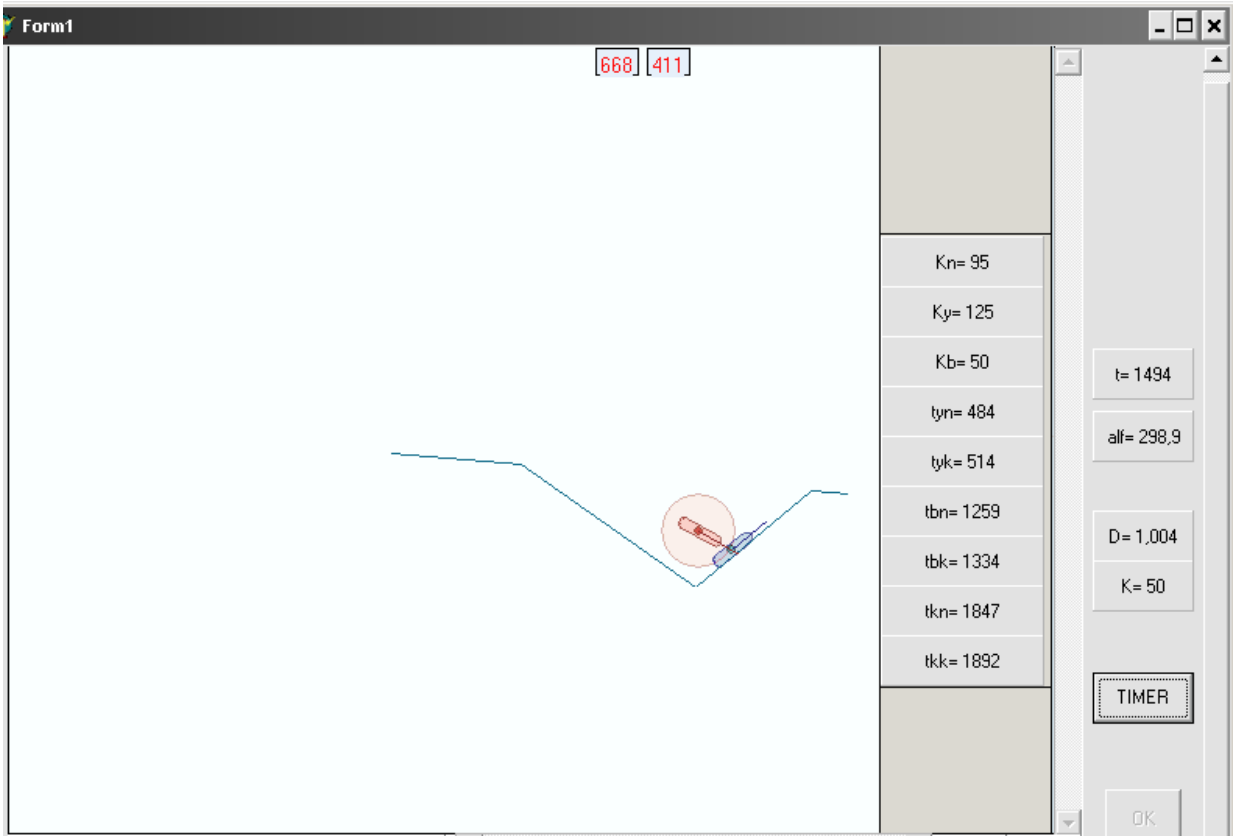


Рис. 5.30. Найкоротше зближення на ділянці виходу (ситуація 4)

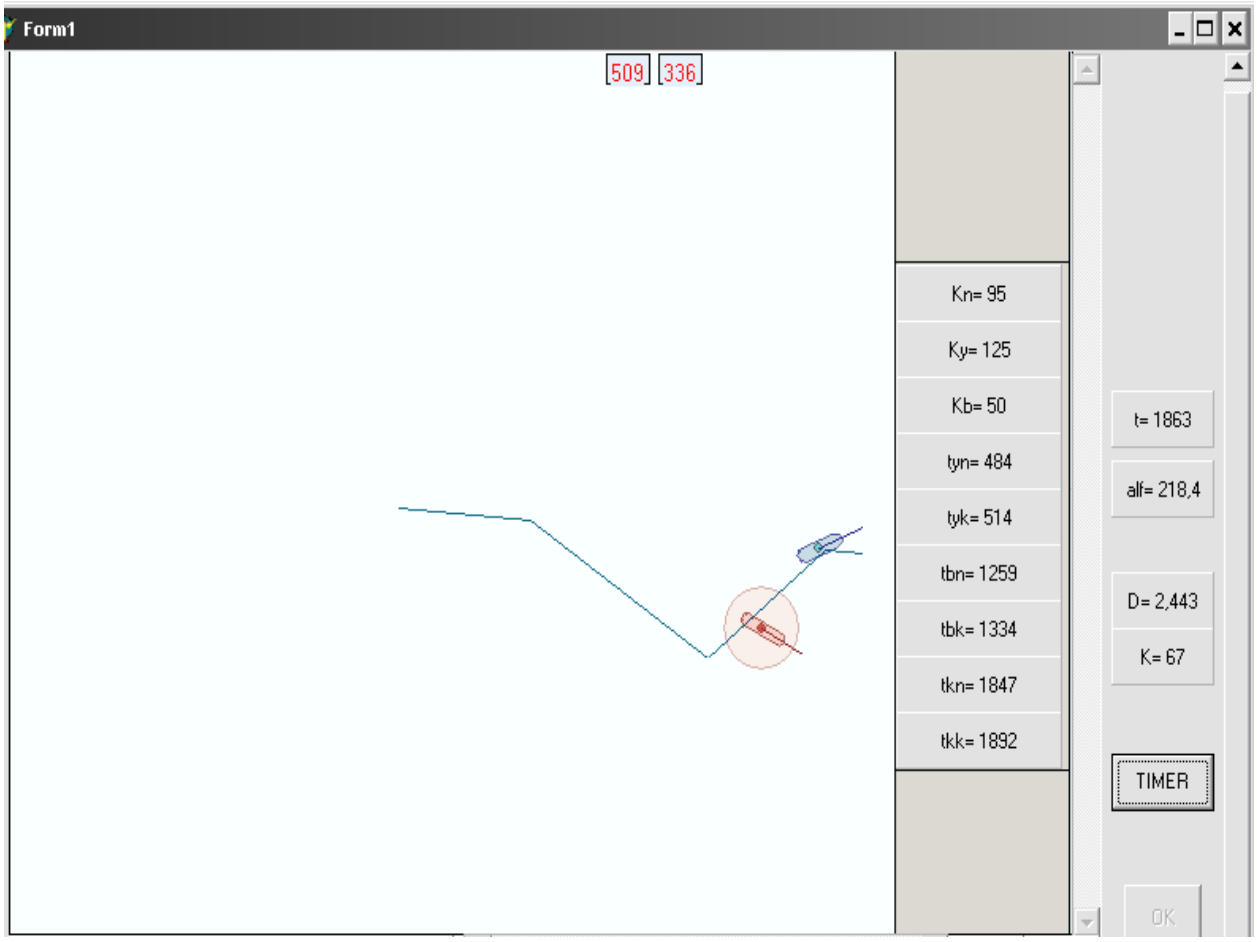


Рис. 5.31. Початок повороту судна на програмну траєкторію (ситуація 4)

Ситуація 5 небезпечного зближення судна з ціллю характеризується тими ж параметрами, що і попередня ситуація, проте судно розходиться з ціллю маневром обгону з відворотом вліво. Відносна і істинна траєкторії розходження показані на рис. 5.32 і мають однакові форми. Програмою були розраховані параметри маневру розходження, які наведені на тому ж рис. 5.32. На рис. 5.33 ÷ 5.35 відображений процес розходження і підтверджена коректність методу вибору маневру розходження. Так на рис. 5.33 наведено процес розходження судна з ціллю на початковий момент часу повороту судна на ділянку ухилення. На 521 с процесу розходження досягається дистанція найкоротшого зближення на ділянці ухилення траєкторії, що показано на рис. 5.34. Рис. 5.35 відображає поворот судна на програмну траєкторію руху.

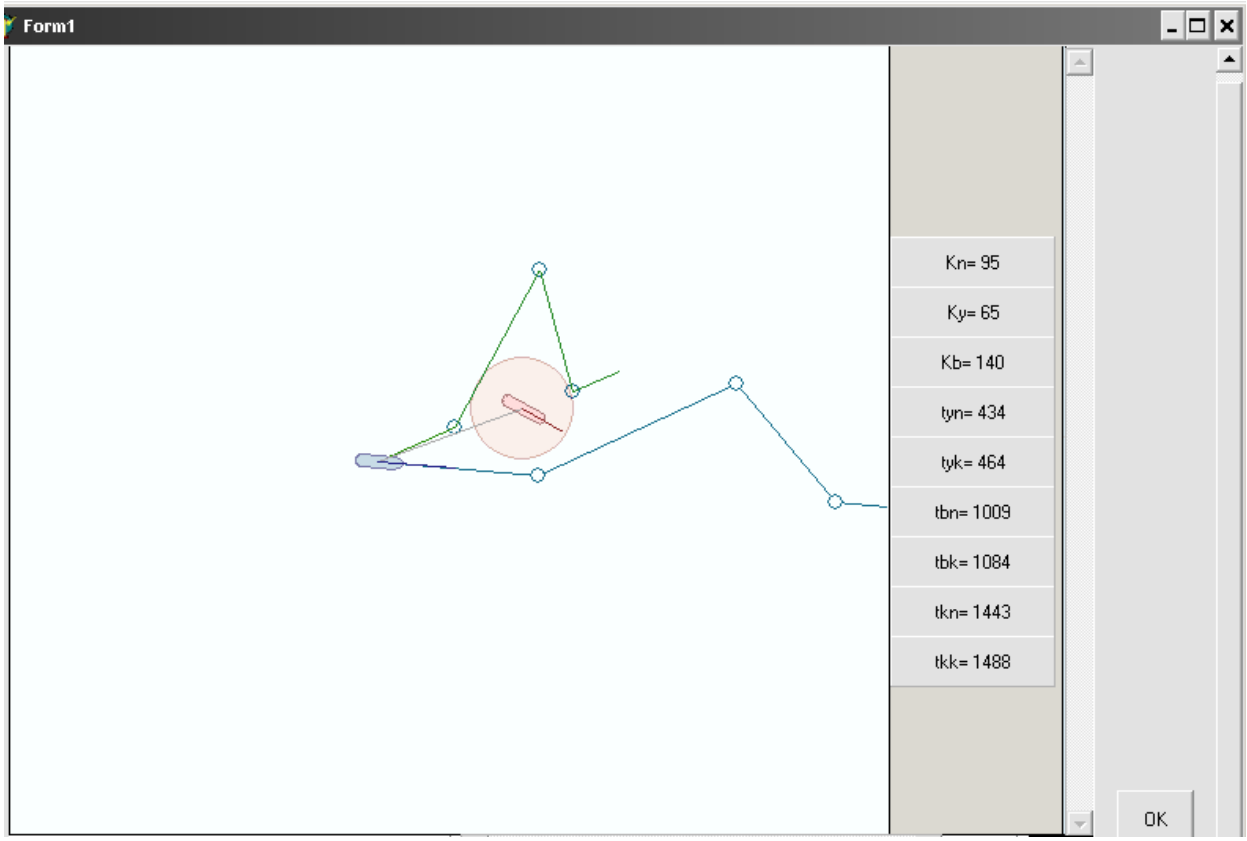


Рис. 5.32. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 5)

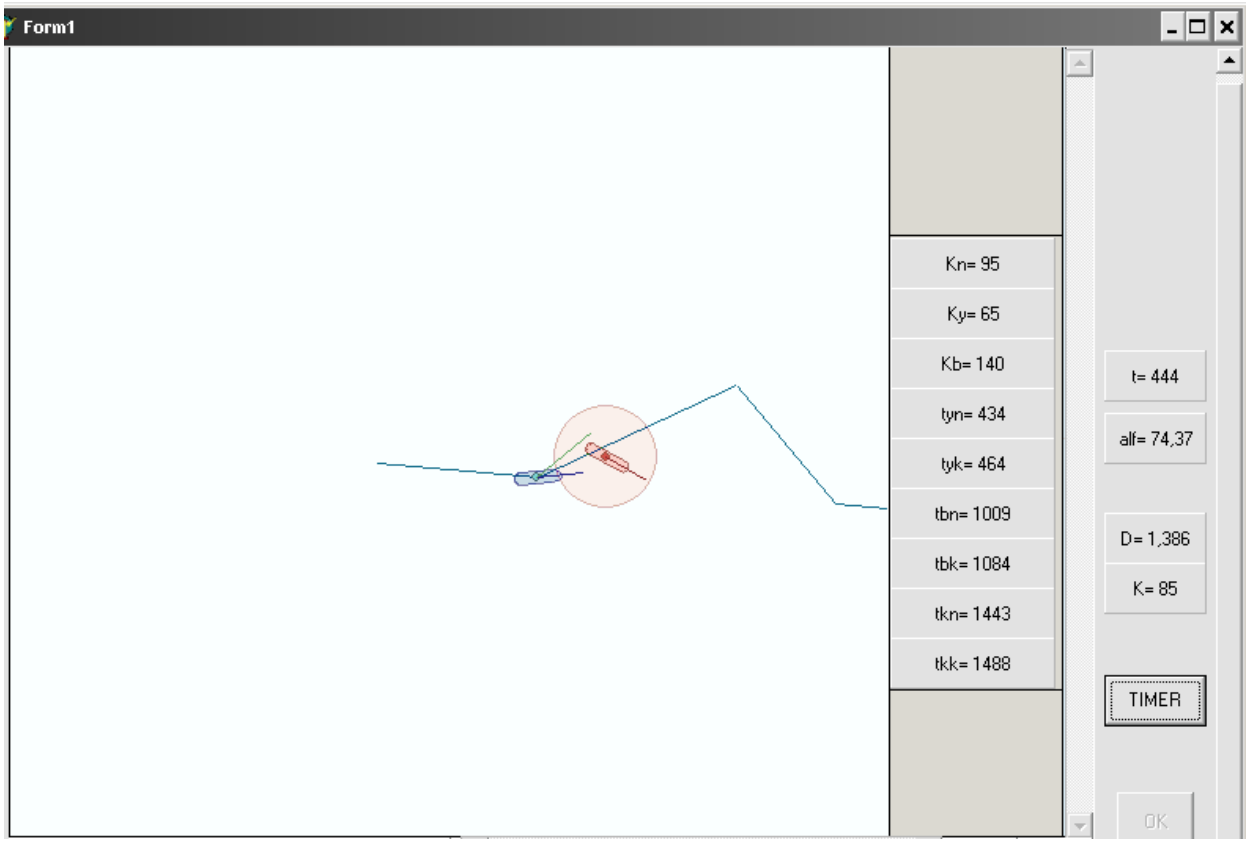


Рис. 5. 33. Поворот судна на ділянку ухилення (ситуація 5)

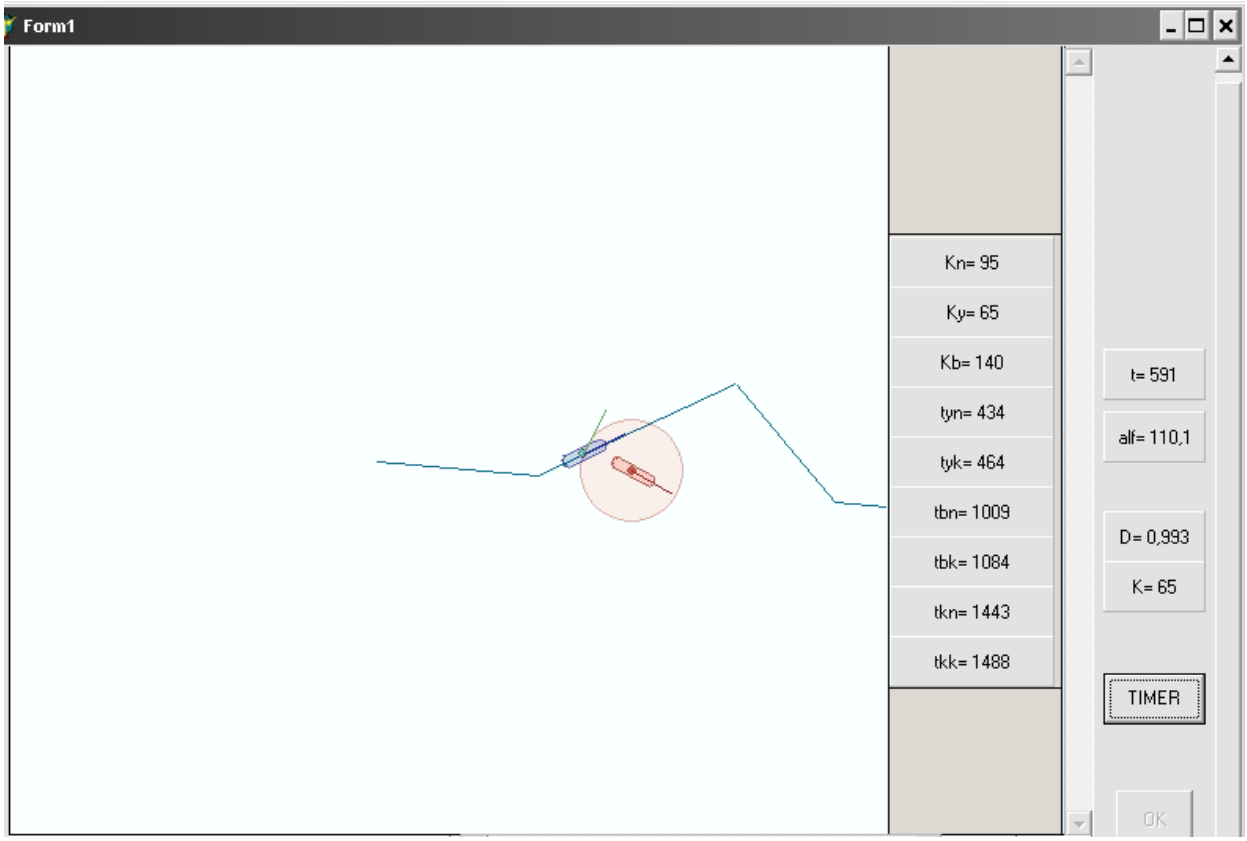
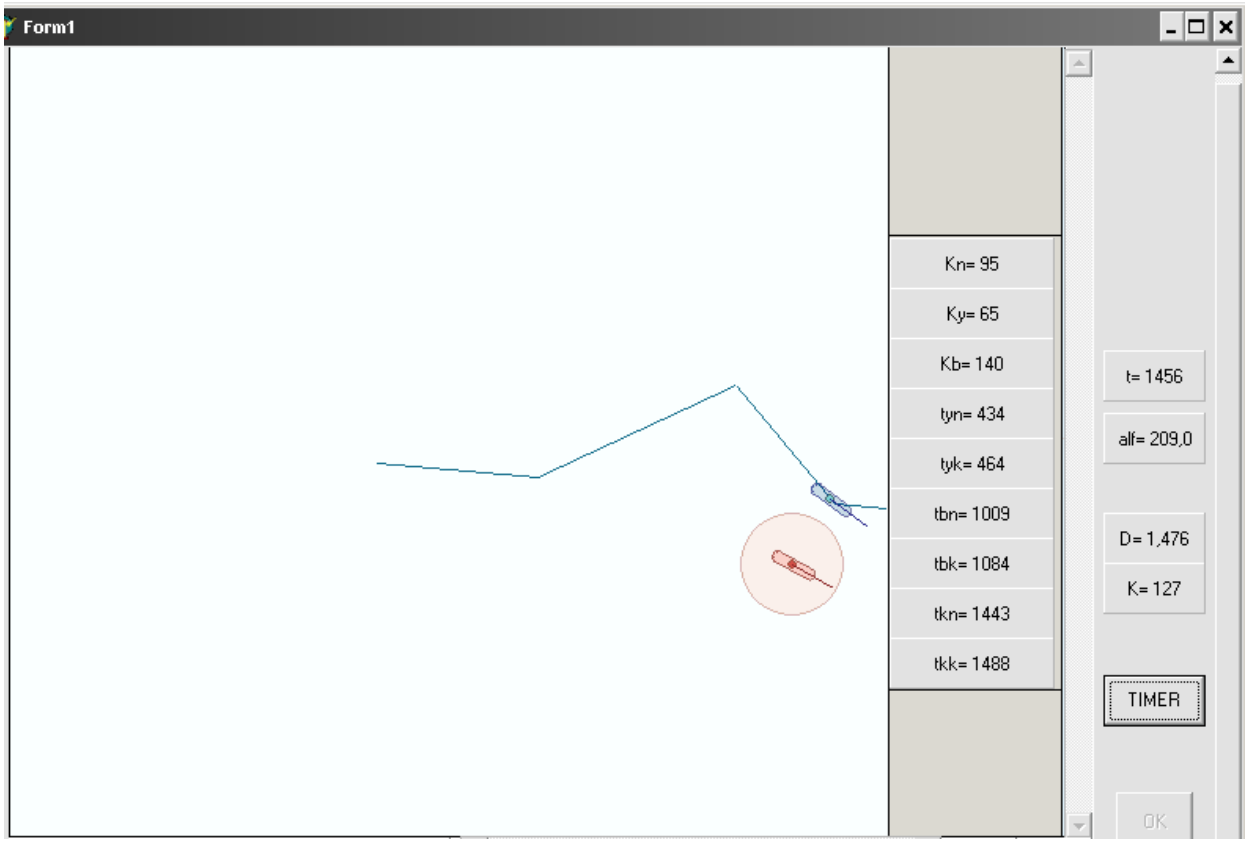


Рис. 5.34. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 5)



5.35. Початок повороту судна на програмну траєкторію (ситуація 5)

Далі розглянемо ситуації небезпечного зближення при швидкості судна меншій швидкості цілі.

Чергова ситуація 6 небезпечного зближення судна з ціллю характеризується параметрами: пеленгом α = 200°, дистанцією D = 3 милі, $K_o = 150°$, $V_o = 15$ вузлів, $K_c = 70°$, $V_c = 20$ вузлів показана на рис. 5.36. Істинна траєкторія розходження судна обрана відворотом вправо. Форми відносної і істинної траєкторій показані на рис. 5.37. Параметри маневру розходження наведені на тому ж рисунку. Відносна траєкторія розходження має форму Δ_{tst}. Процес розходження відображений на рис. 5.38 ÷ 5.43. На рис. 5.38 показана початкова позиція процесу розходження, а поворот судна на ділянку ухилення показаний на рис. 5.39. На 387 с процесу розходження досягається найкоротше зближення судна з ціллю на ділянці ухилення, як представлено на рис. 5.40. Повороти на ділянки виходу і програмну траєкторію руху показані на рис. 5.41 і рис. 5.43.

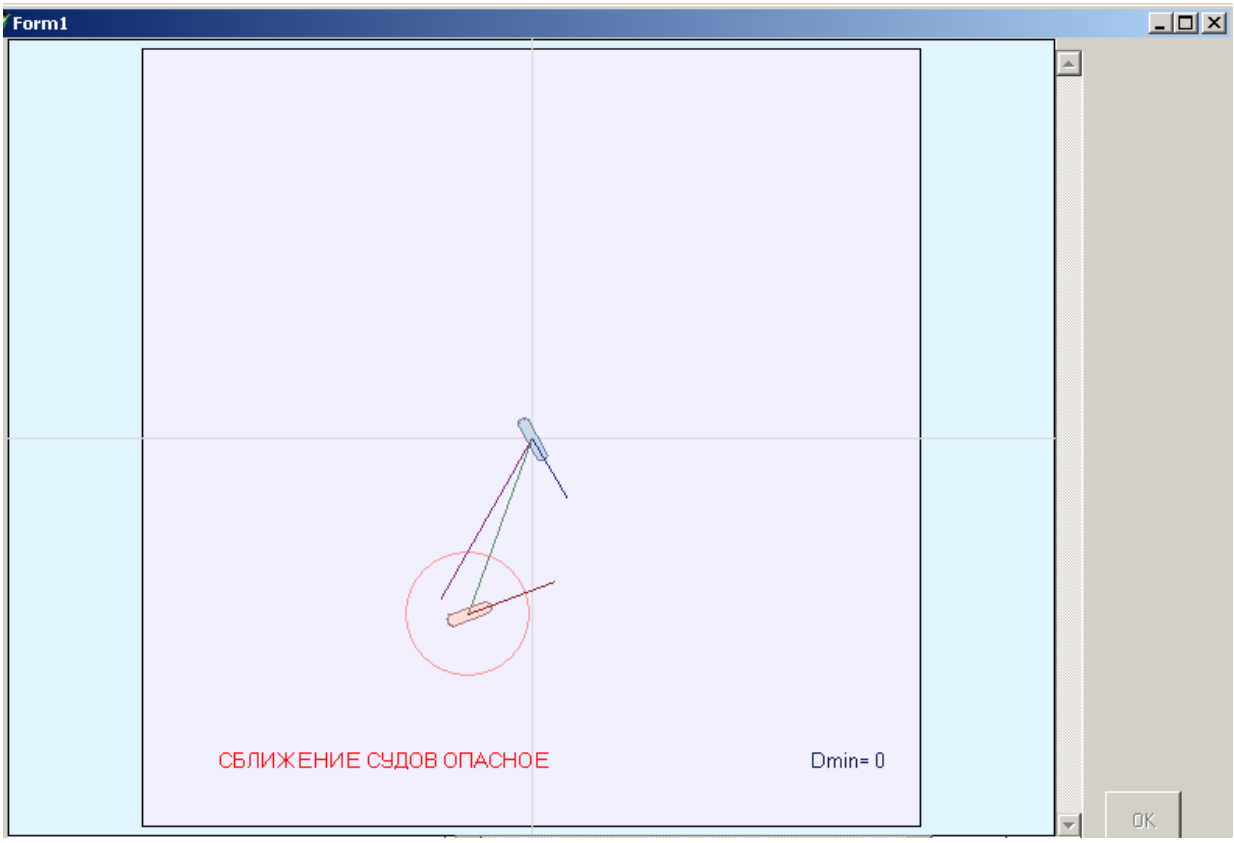


Рис. 5.36. Ситуація 6 небезпечного зближення судна з ціллю

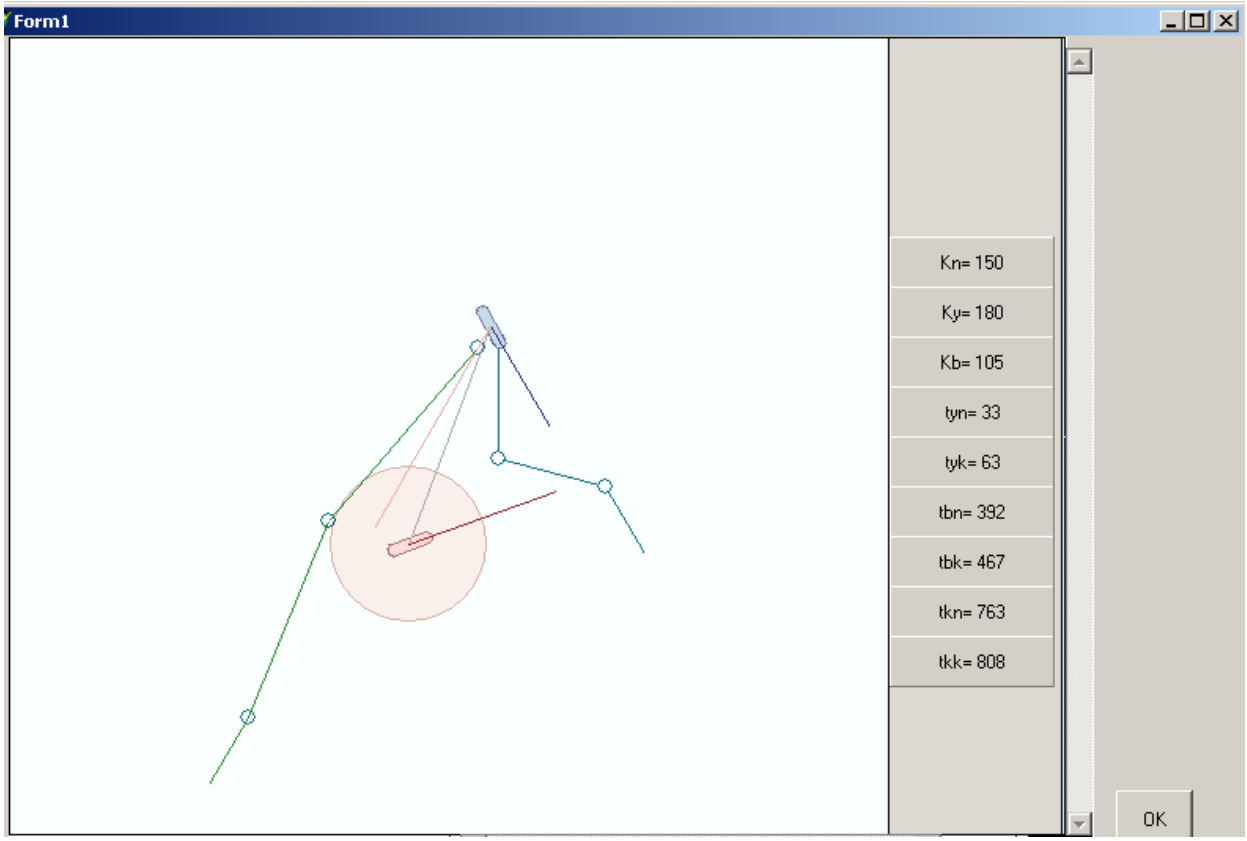


Рис. 5.37. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 6)

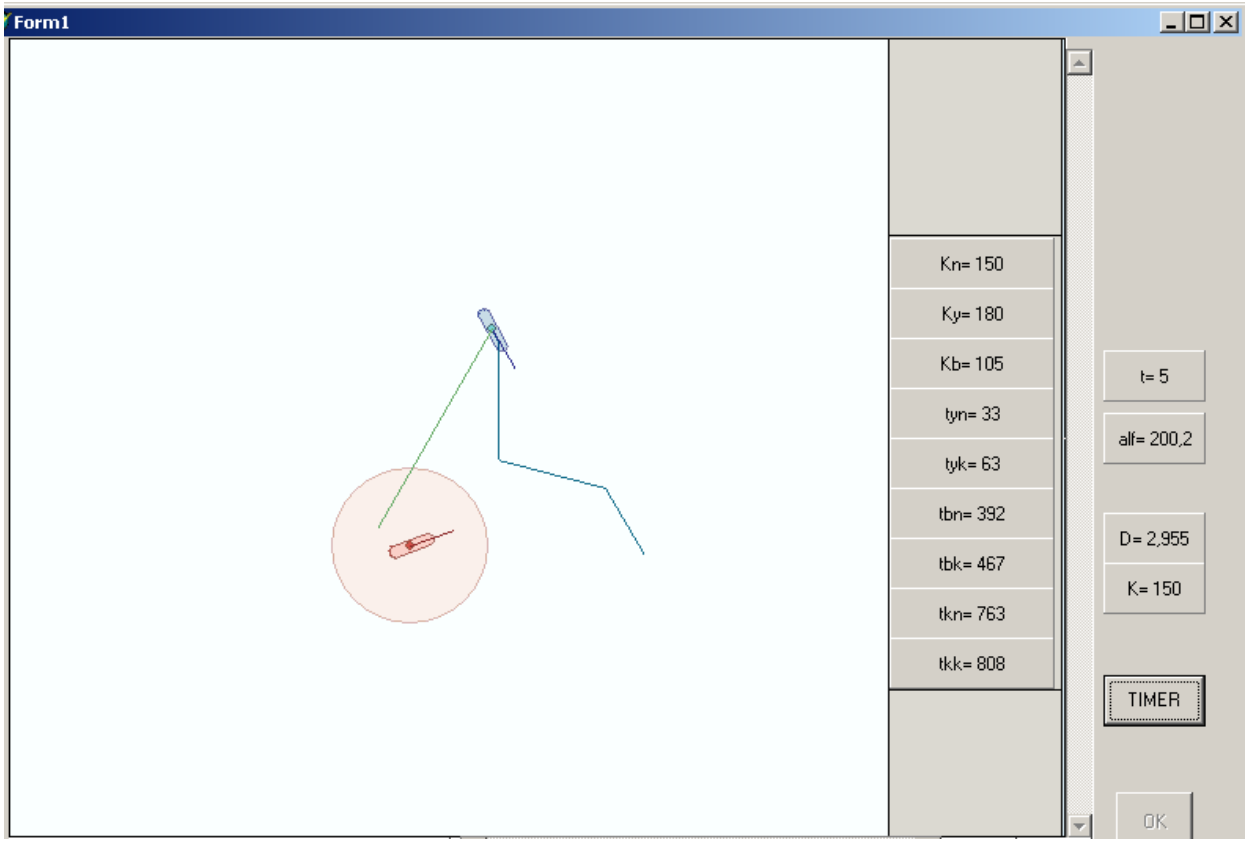


Рис. 5.38. Початкова позиція процесу розходження (ситуація 6)

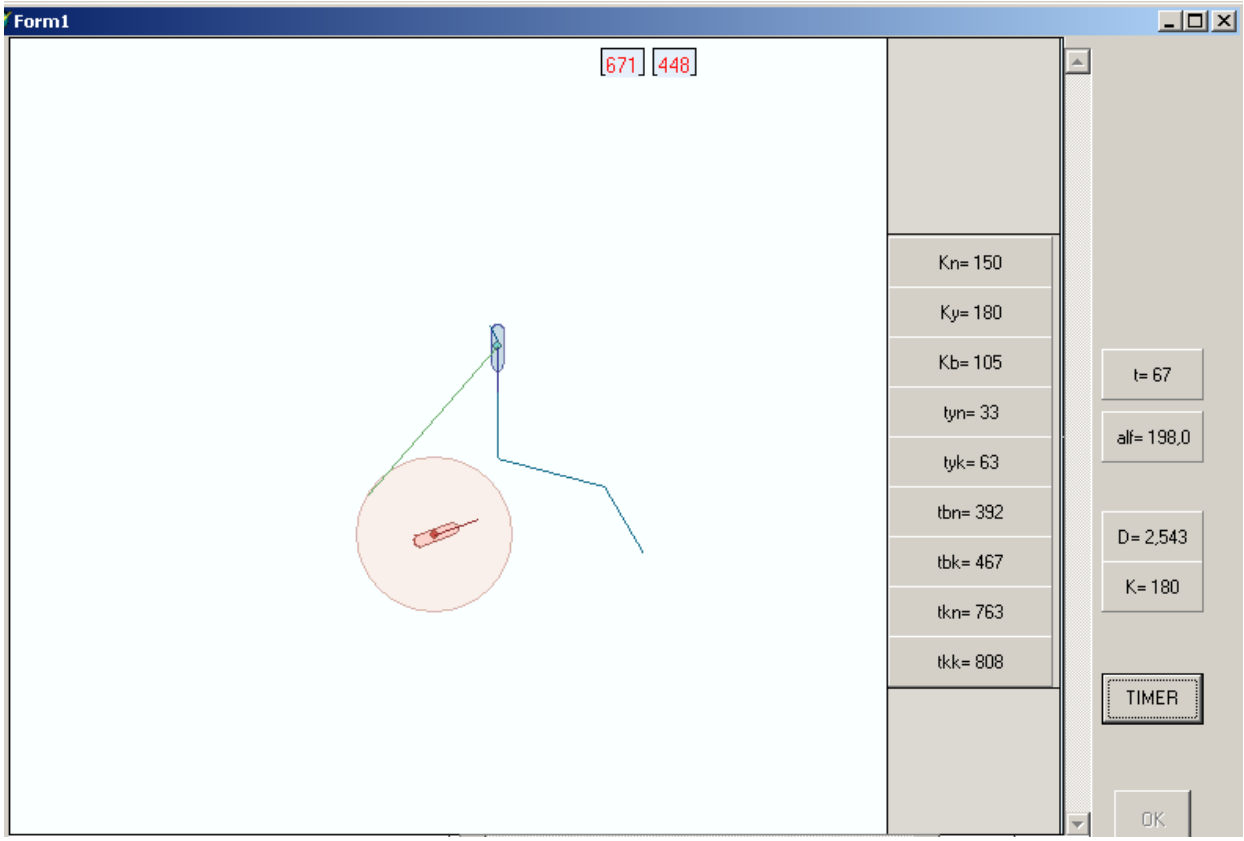


Рис. 5.39. Поворот судна на ділянку ухилення (ситуація 6)

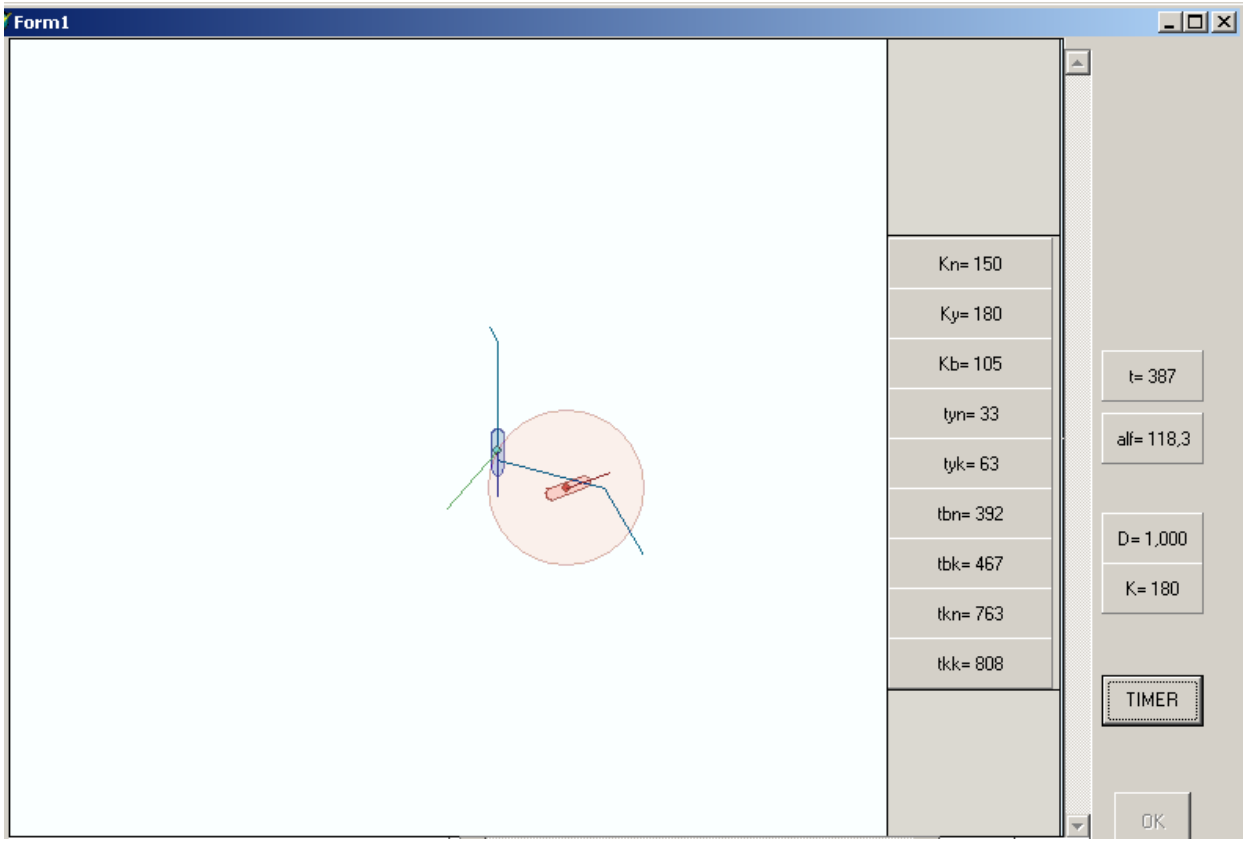


Рис. 5.40. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 6)

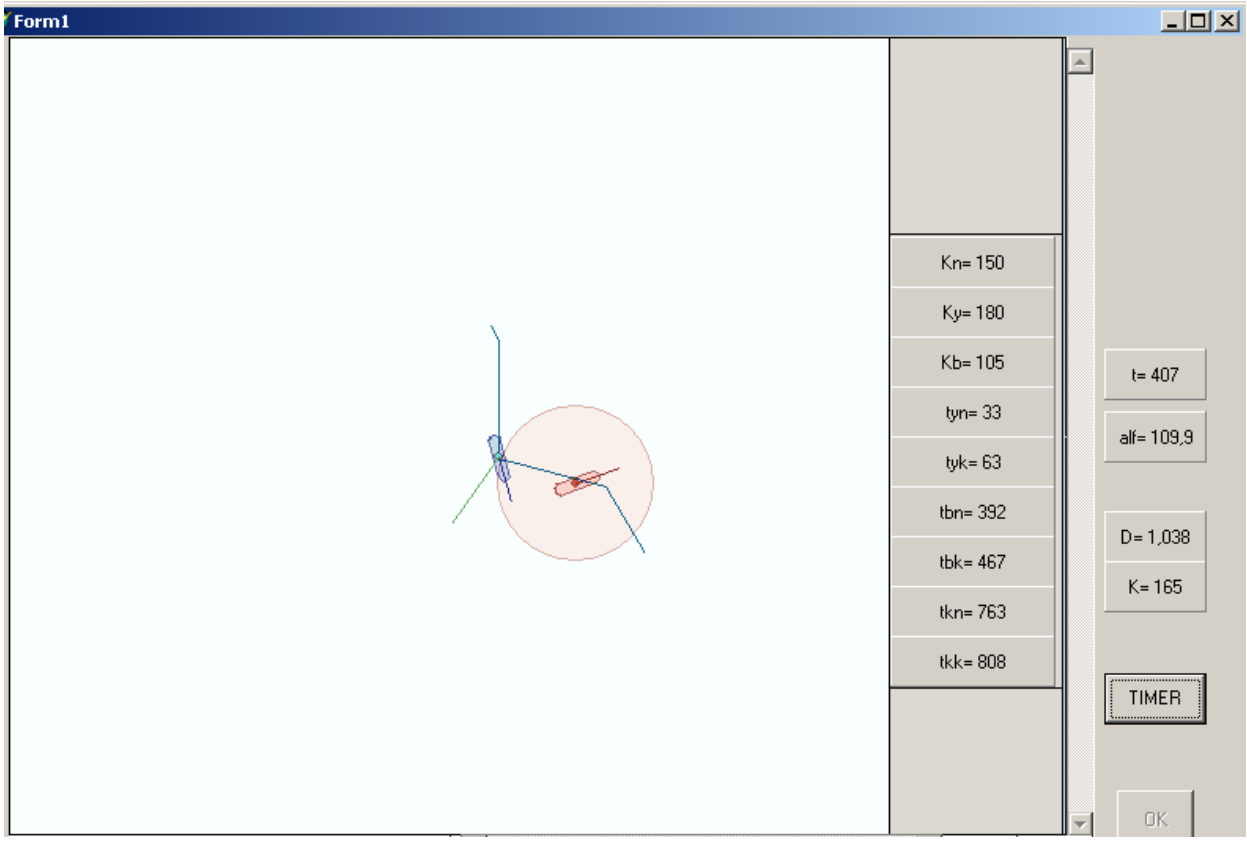


Рис. 5.41. Поворот судна на ділянку виходу (ситуація 6)

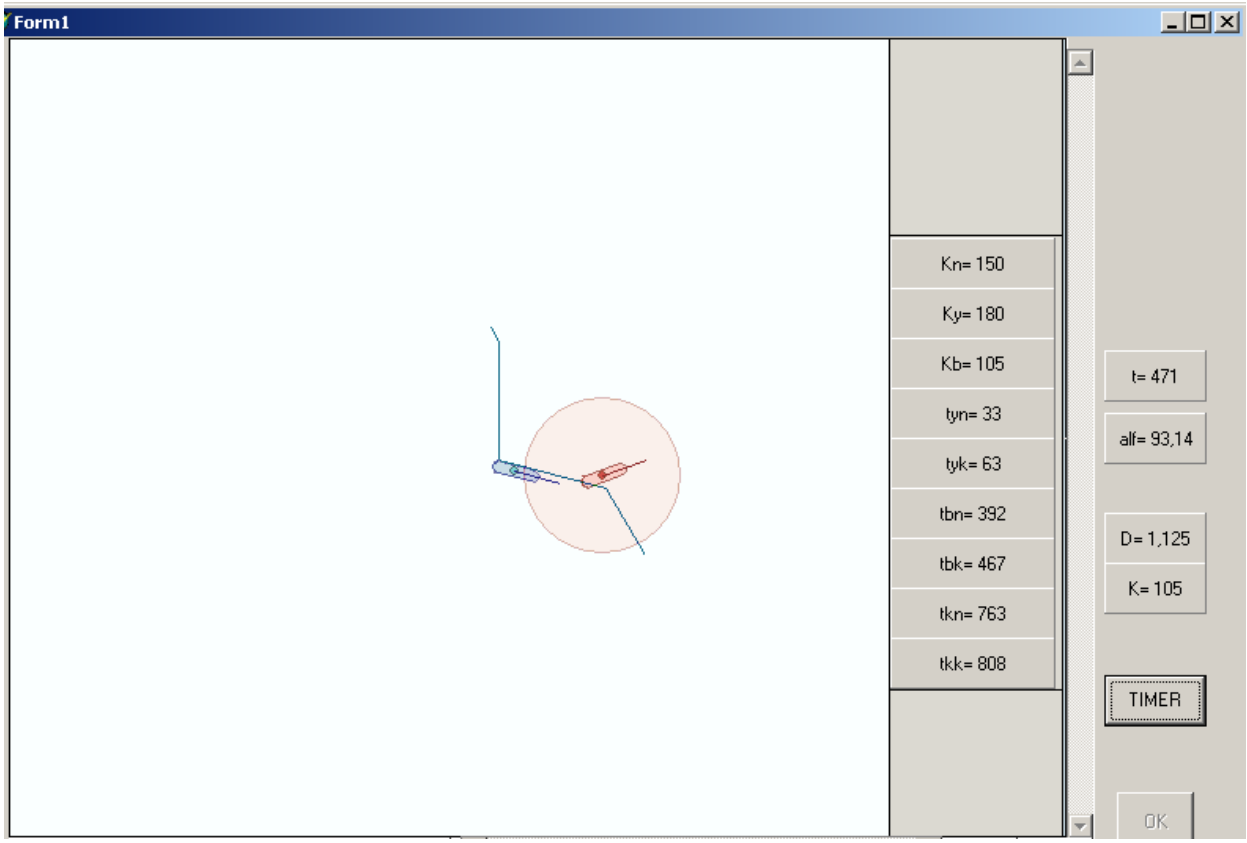
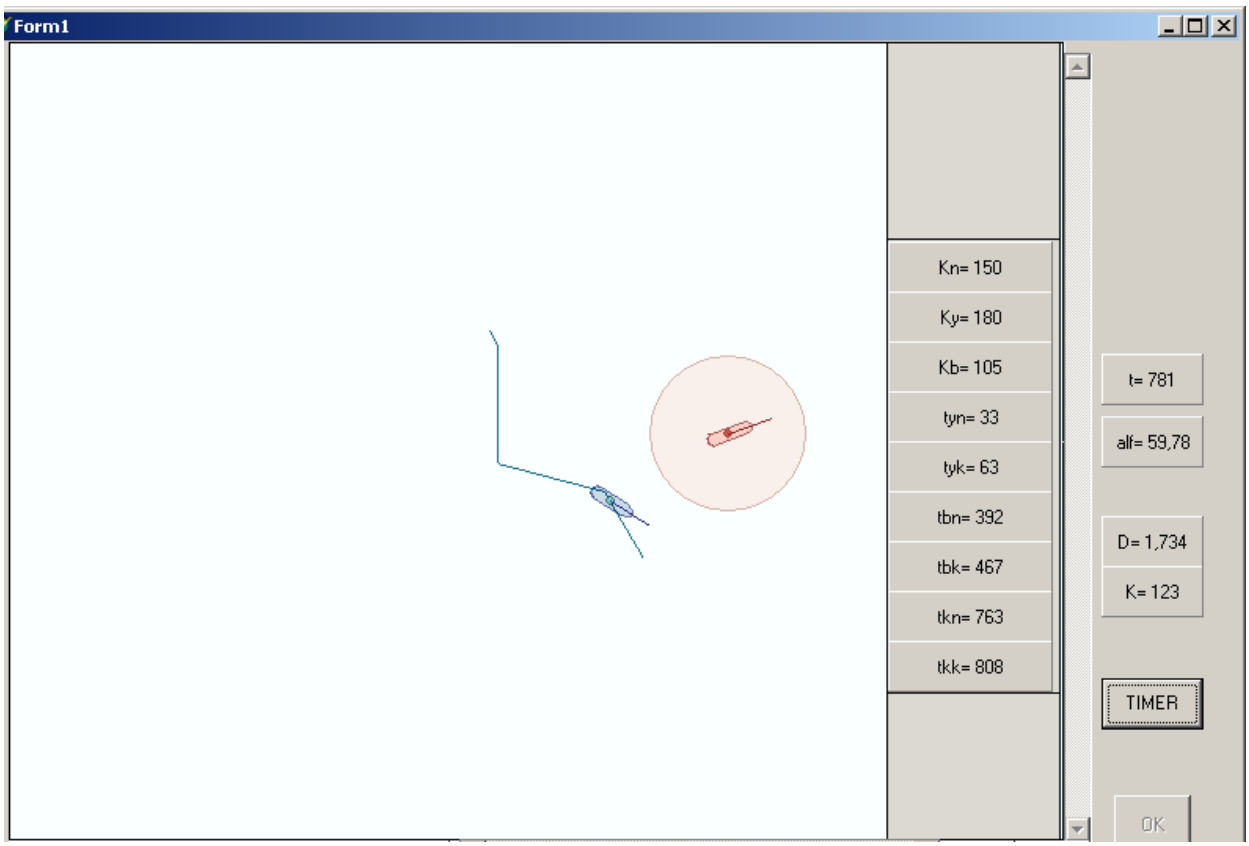


Рис. 5.42. Рух судна ділянкою виходу (ситуація 6)



5.43. Початок повороту судна на програмну траєкторію (ситуація 6)

Ситуація 7 небезпечного зближення судна з ціллю характеризується параметрами: пеленгом α = 286 °, дистанцією D = 5 миль, $K_o = 180°$, $V_o = 18$ вузлів, $K_c = 130°$, $V_c = 25$ вузлів. Істинна траєкторія розходження судна обрана відворотом вправо. Відносна і істинна траєкторії розходження показані на рис. 5.44, причому відносна траєкторія має форму Δ_{tst1}. Параметри маневру розходження наведені на тому ж рис. 5.44. На рис. 5.45 ÷ 5.35 відображений процес розходження і підтверджена коректність методу вибору маневру розходження. На рис. 5.46 наведено процес розходження судна з ціллю на початковий момент часу повороту судна на ділянку ухилення. На рис. 5.47 відображено початок повороту судна на ділянку виходу. На 987 с процесу розходження досягається дистанція найкоротшого зближення на ділянці виходу, що показано на рис. 5.48. Рис. 5.49 показує поворот судна на програмну траєкторію руху.

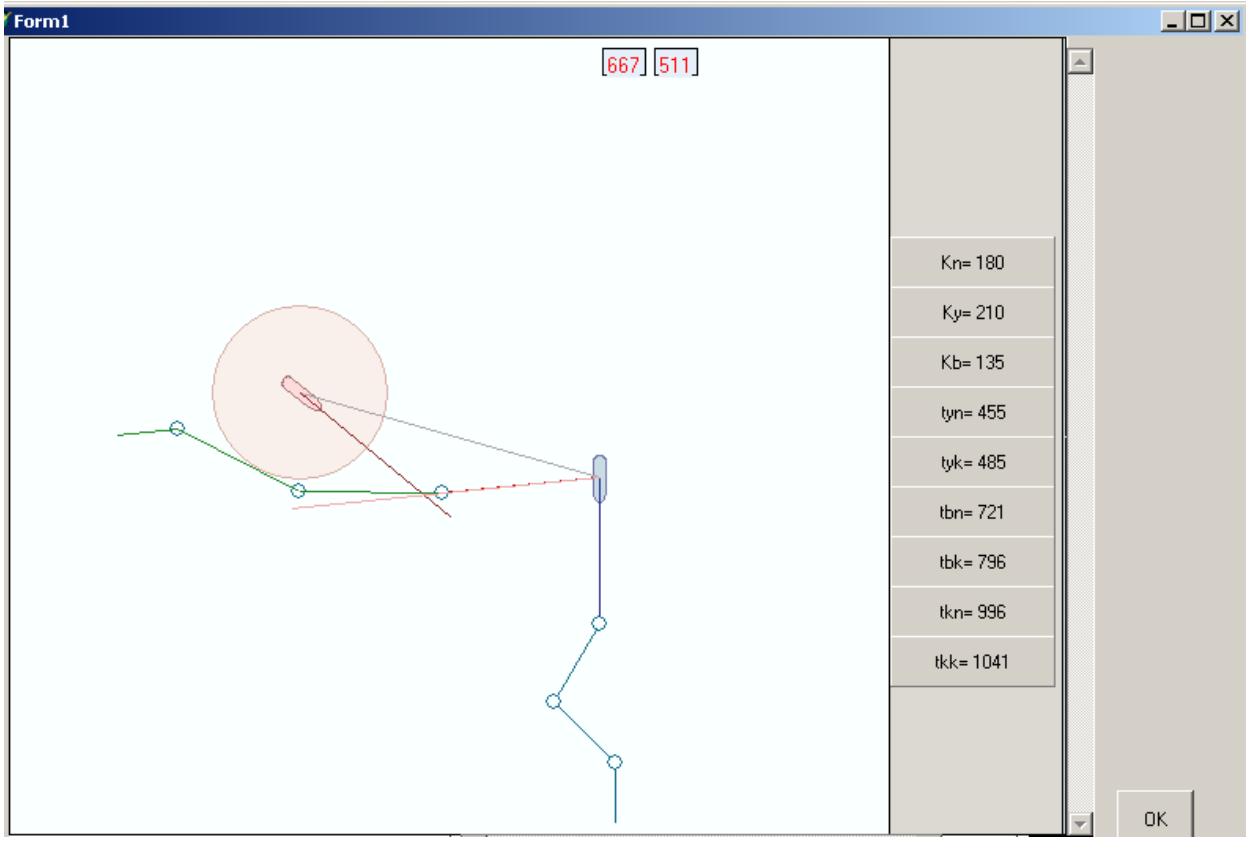


Рис. 5.44. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 7)

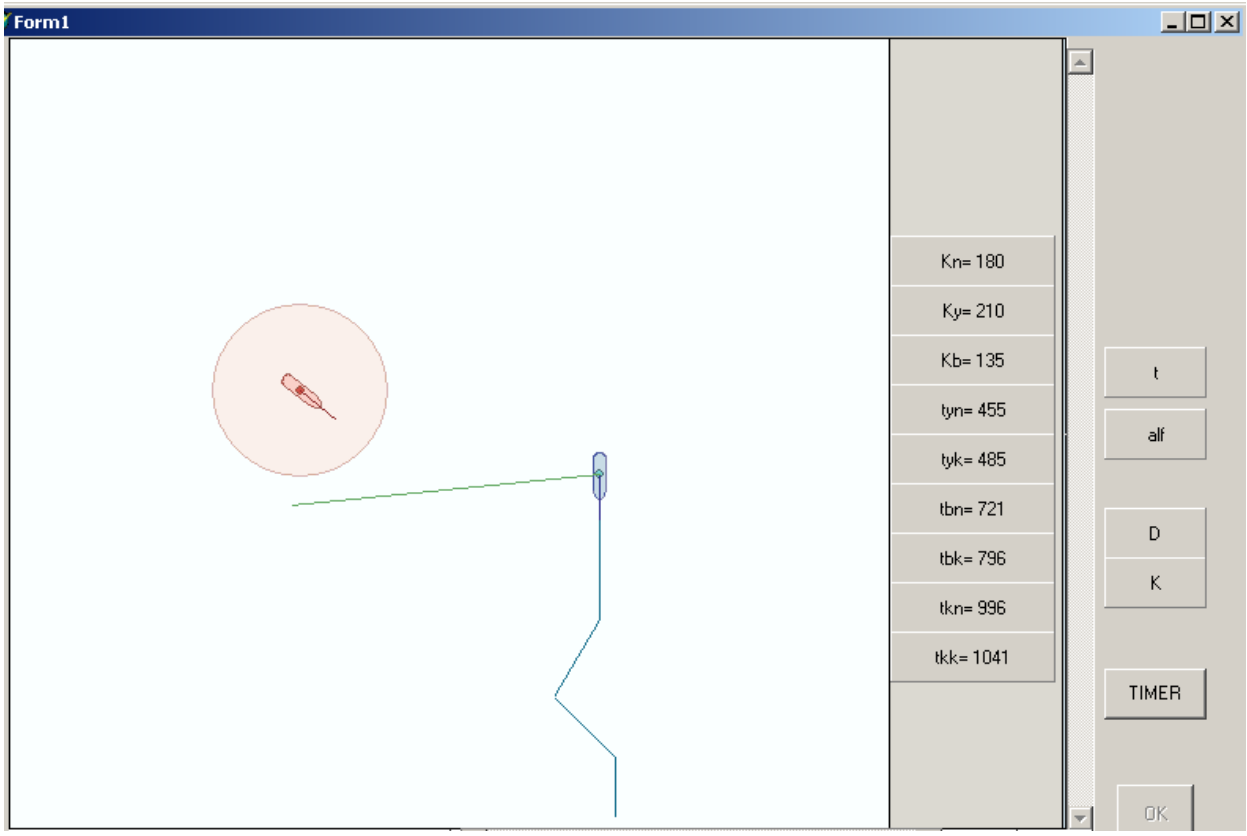


Рис. 5.45. Початкова позиція процесу розходження (ситуація 7)

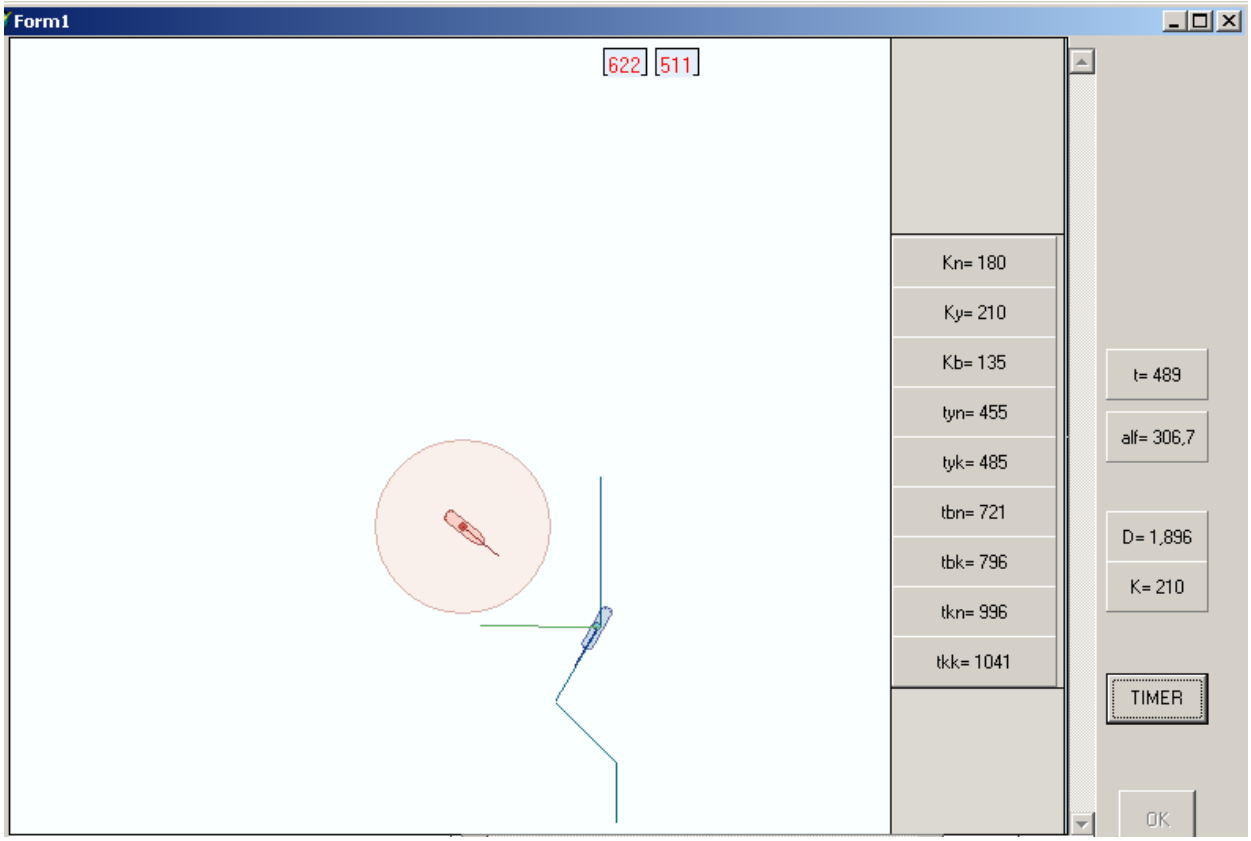


Рис. 5.46. Поворот судна на ділянку ухилення (ситуація 7)

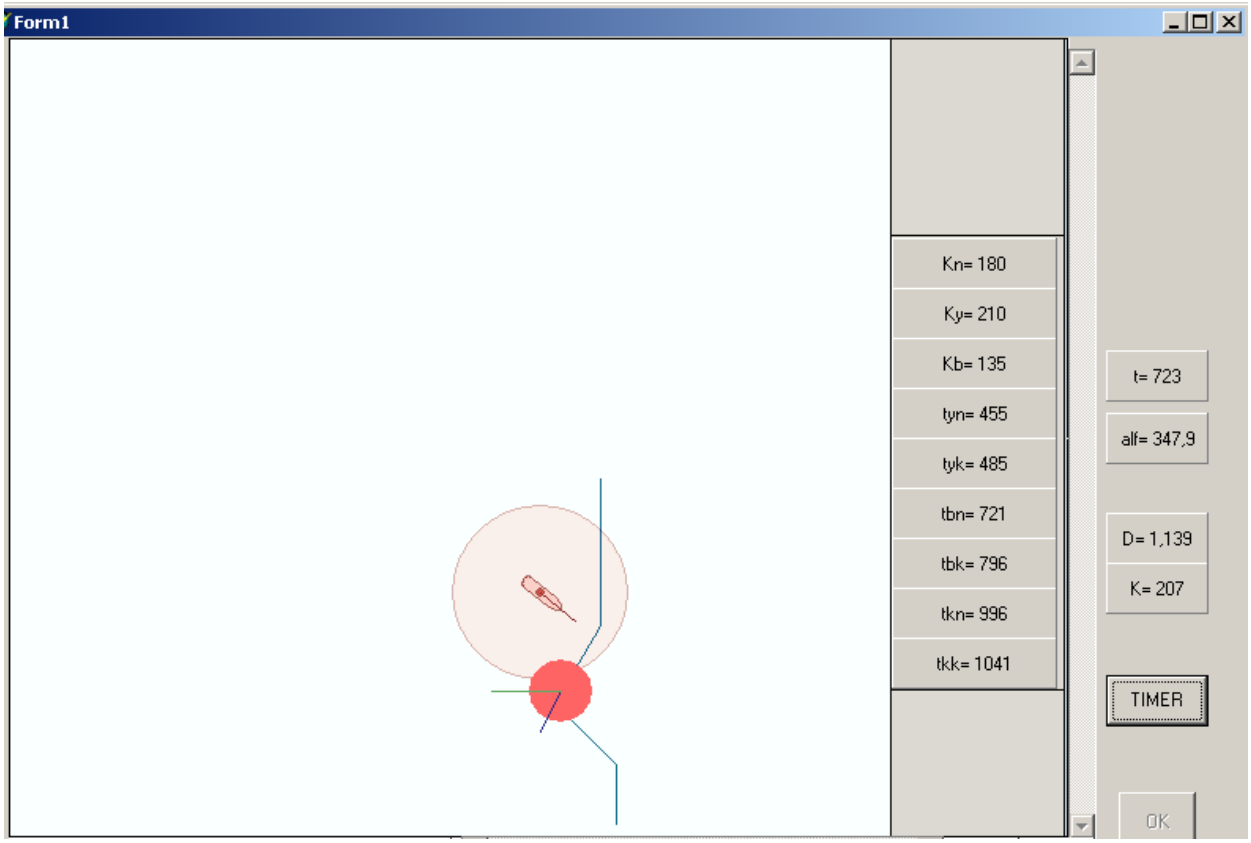


Рис. 5.47. Початок повороту судна на ділянку виходу (ситуація 7)

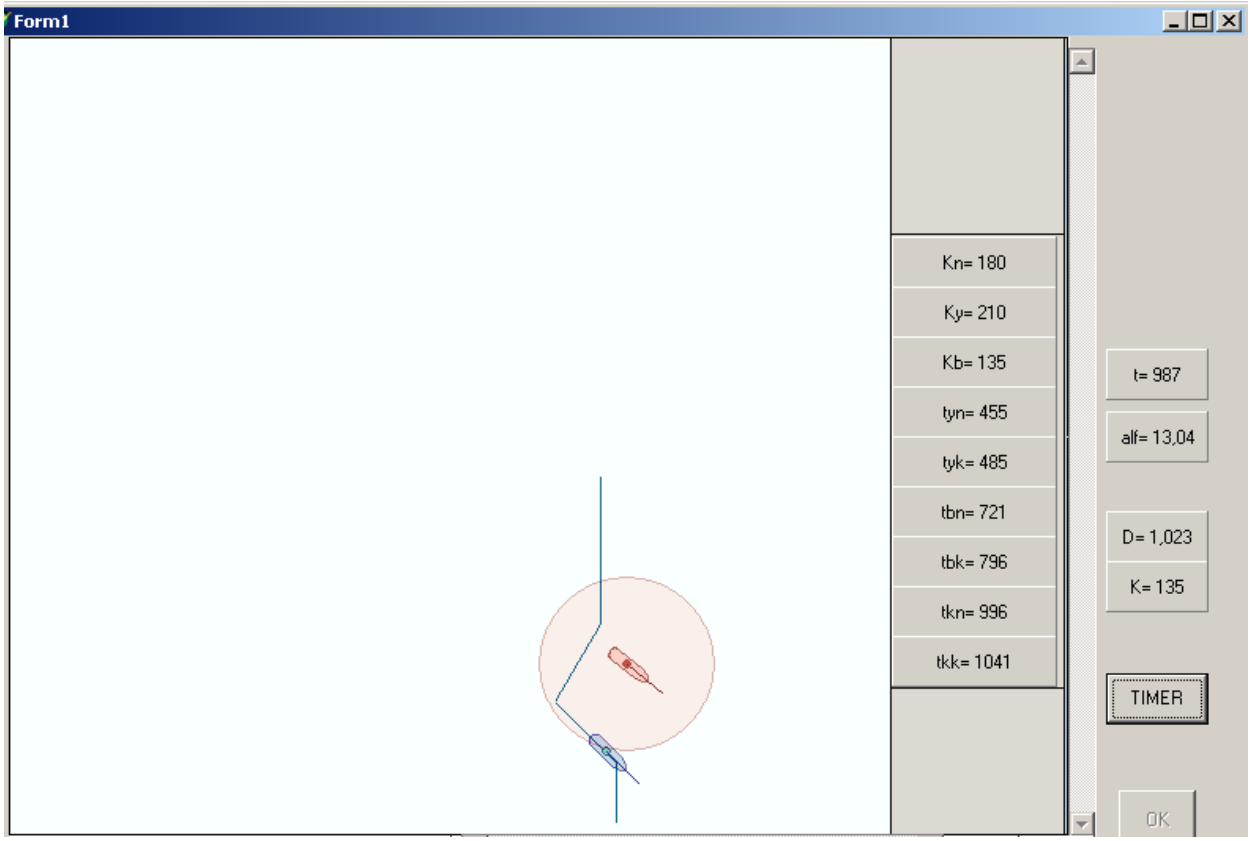
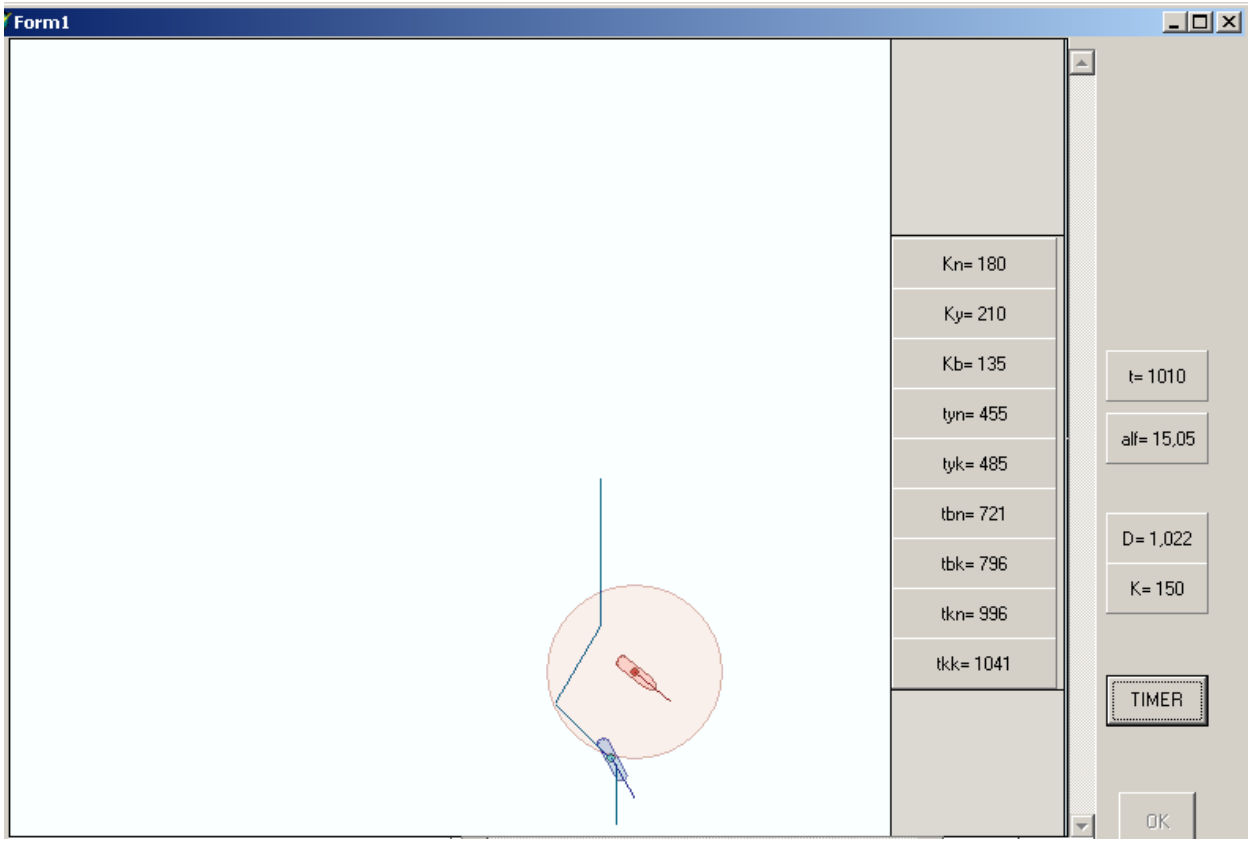


Рис. 5.48. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 7)



5.49. Початок повороту судна на програмну траєкторію (ситуація 7)

Ситуація 8 небезпечного зближення судна з ціллю характеризується параметрами: пеленгом α = 106 °, дистанцією D = 5 миль, $K_o = 180°$, $V_o = 18$ вузлів, $K_c = 230°$, $V_c = 25$ вузлів показана на рис. 5.50. Істинна траєкторія розходження судна обрана відворотом вліво. Форми відносної і істинної траєкторій показані на рис. 5.51. Параметри маневру розходження наведені на тому ж рисунку. Відносна траєкторія розходження має форму Δ_{tpr1}. Процес розходження відображений на рис. 5.52 ÷ 5.56. На рис. 5.52 показана початкова позиція процесу розходження, а поворот судна на ділянку ухилення показаний на рис. 5.53. На 816 с процесу розходження досягається найкоротше зближення судна з ціллю на ділянці ухилення, як представлено на рис. 5.54. Повороти на ділянки виходу і програмну траєкторію руху показані на рис. 5.55 і рис. 5.56.

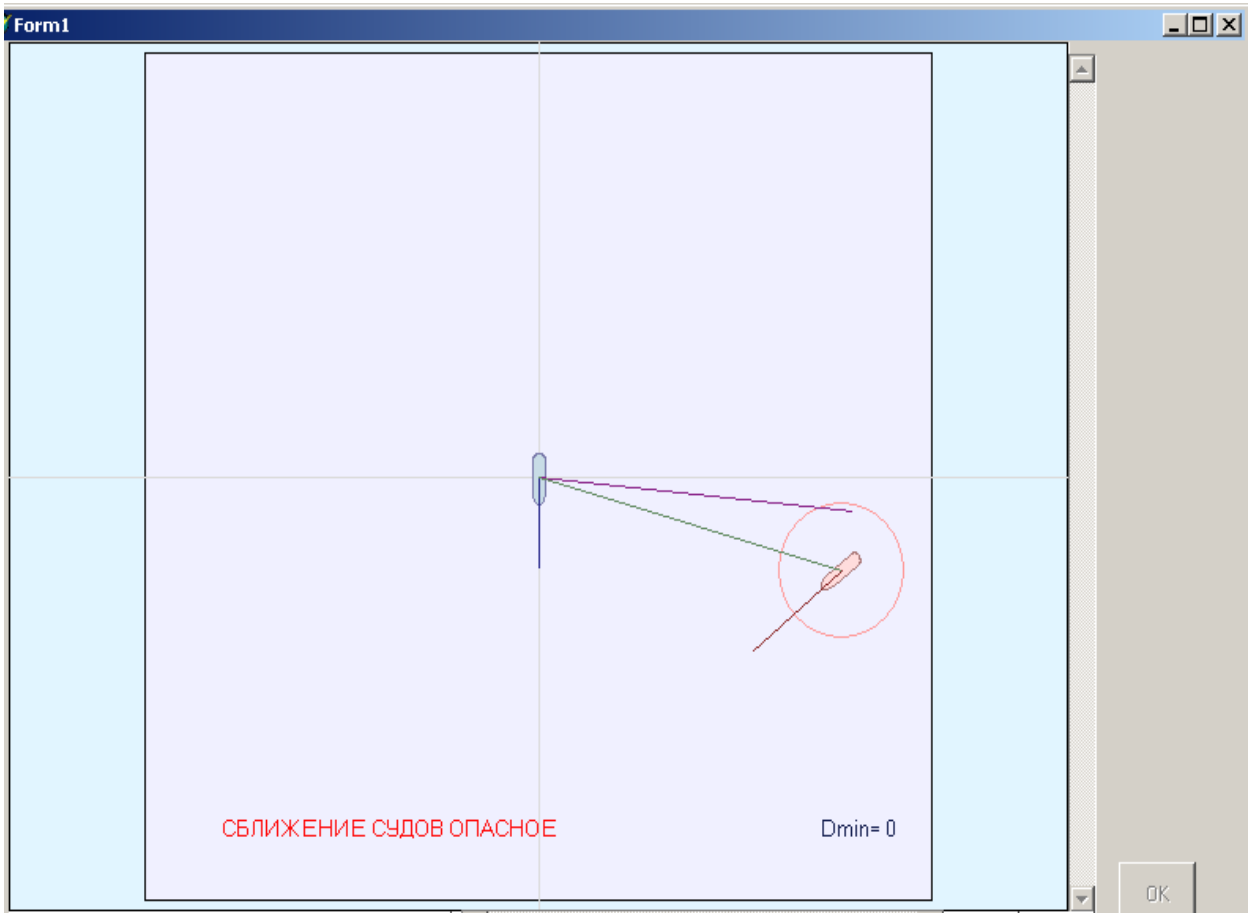


Рис. 5.50. Ситуація 8 небезпечного зближення судна з ціллю

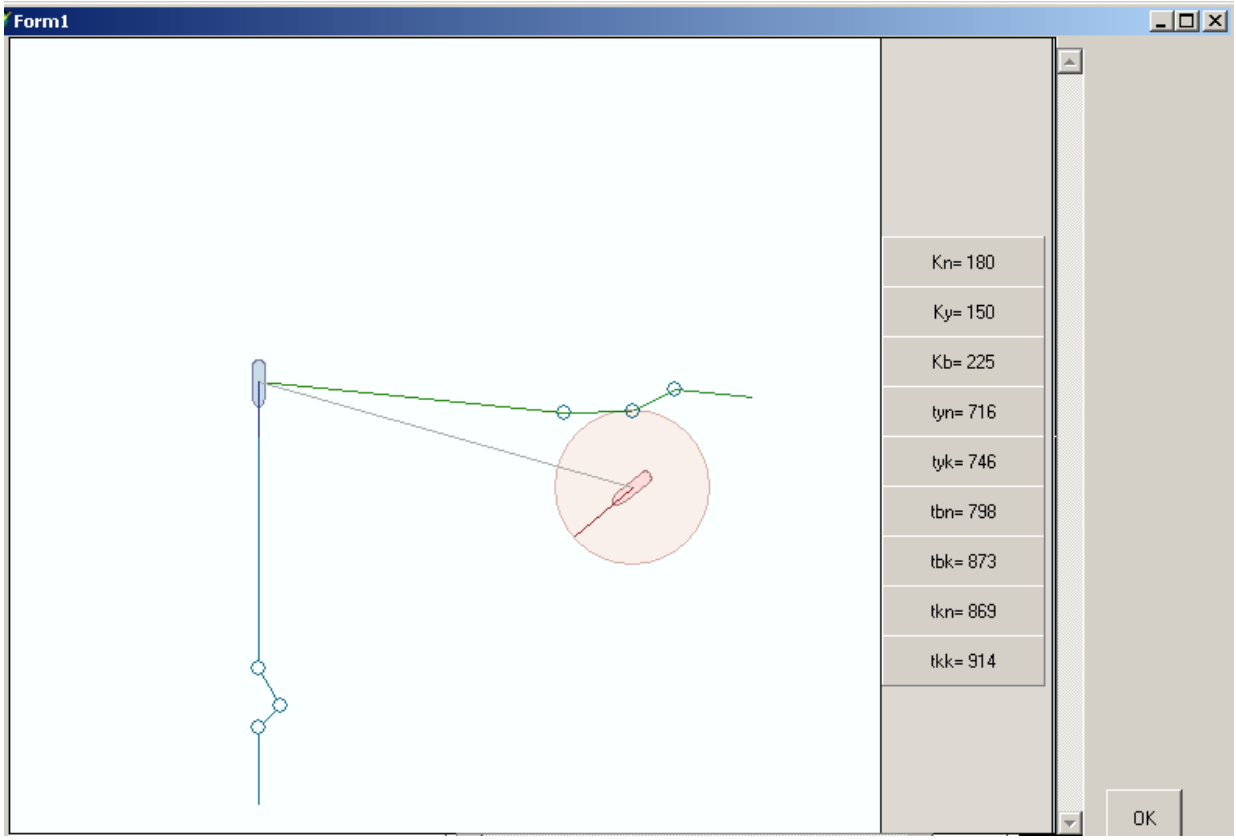


Рис. 5.51. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 8)

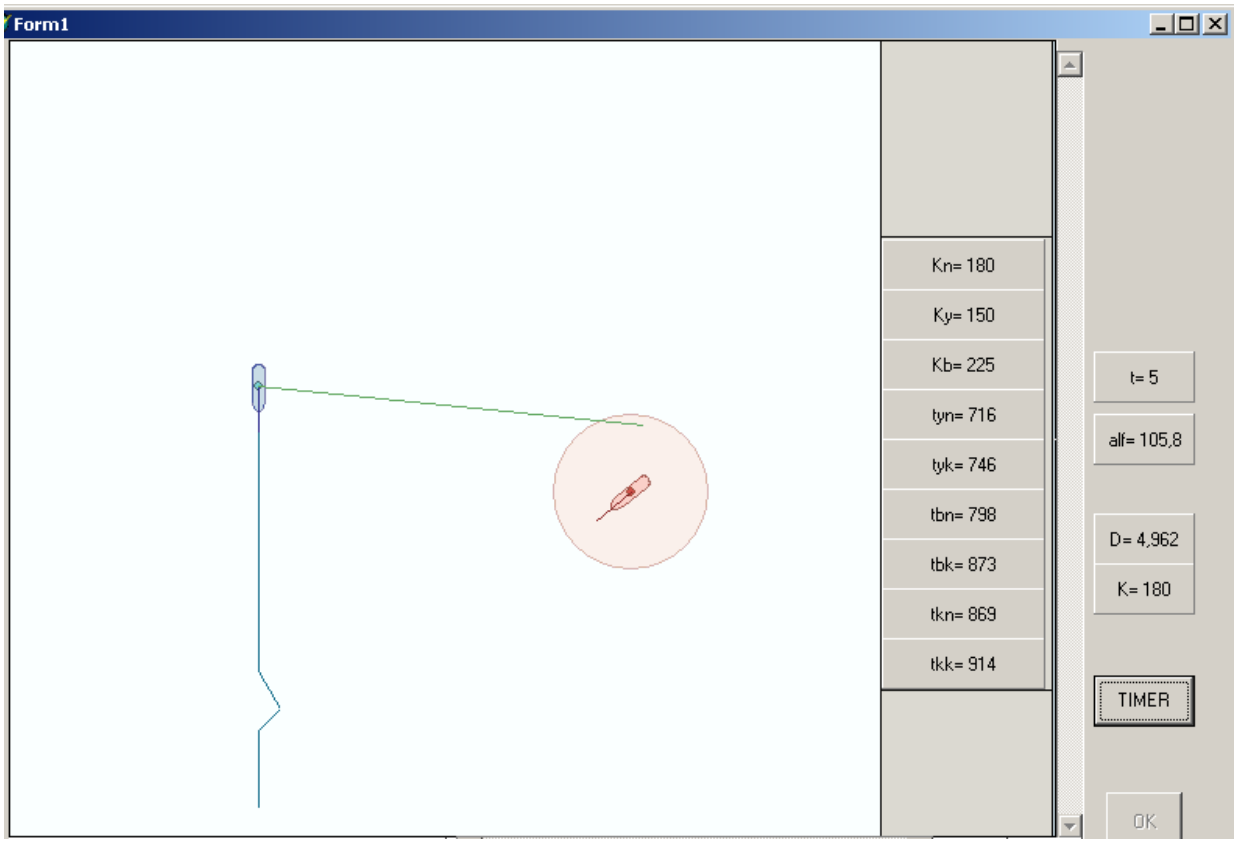


Рис. 5.52. Початкова позиція процесу розходження (ситуація 8)

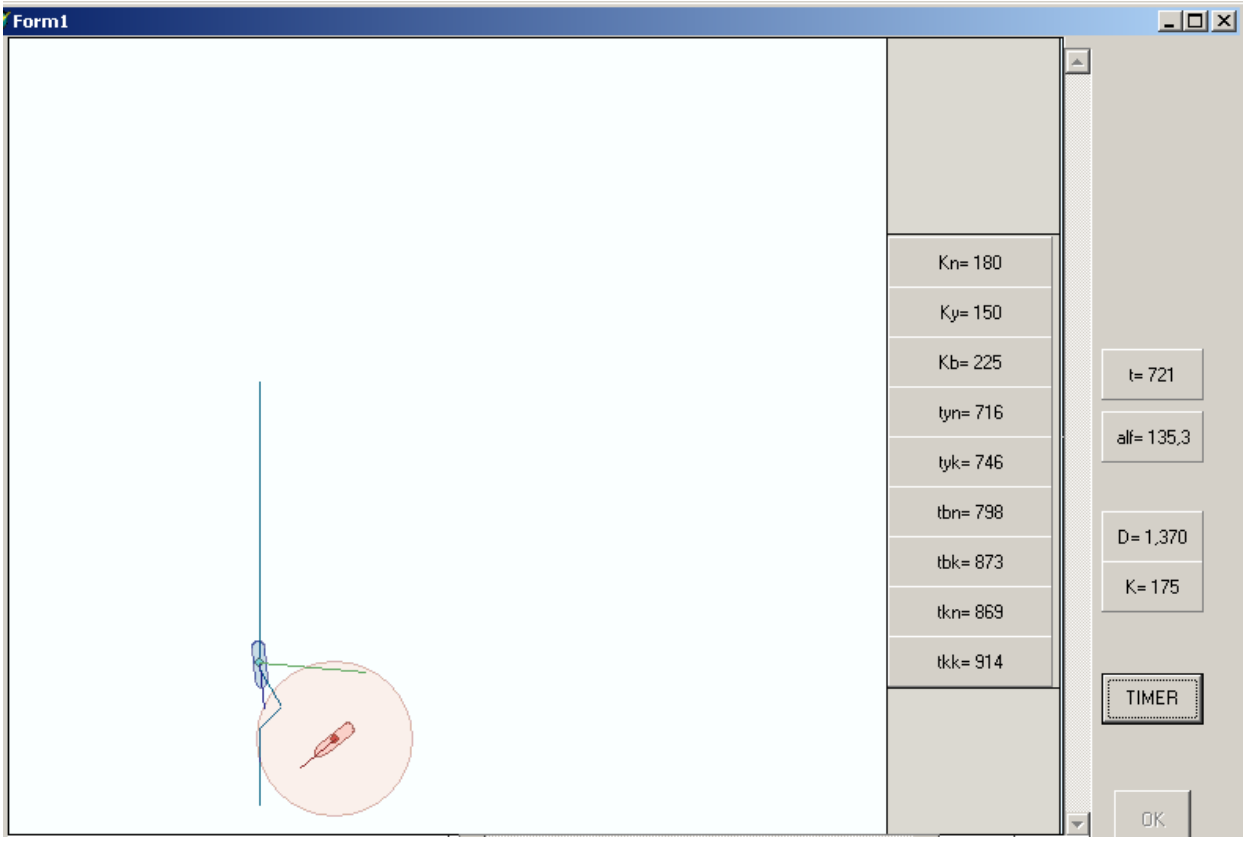


Рис. 5.53. Поворот судна на ділянку ухилення (ситуація 8)

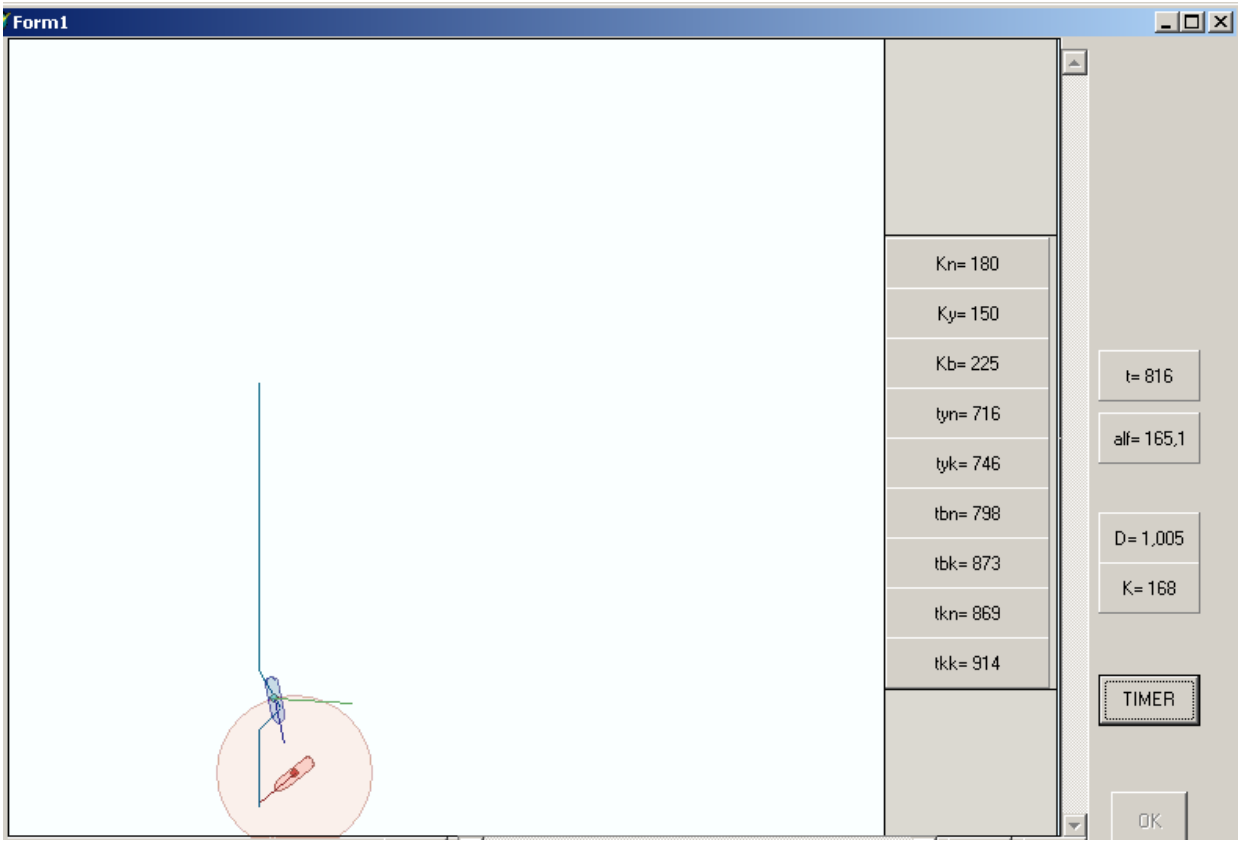


Рис. 5.54. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 8)

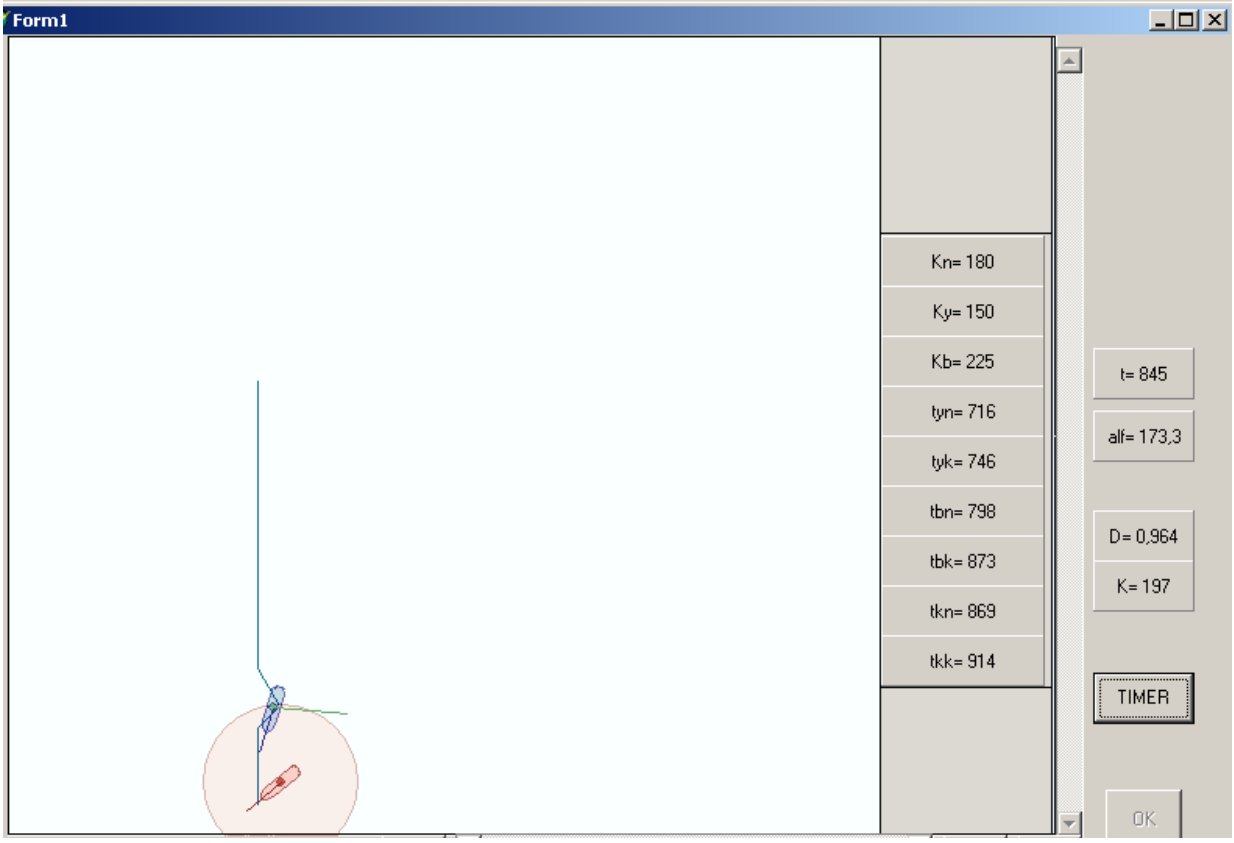
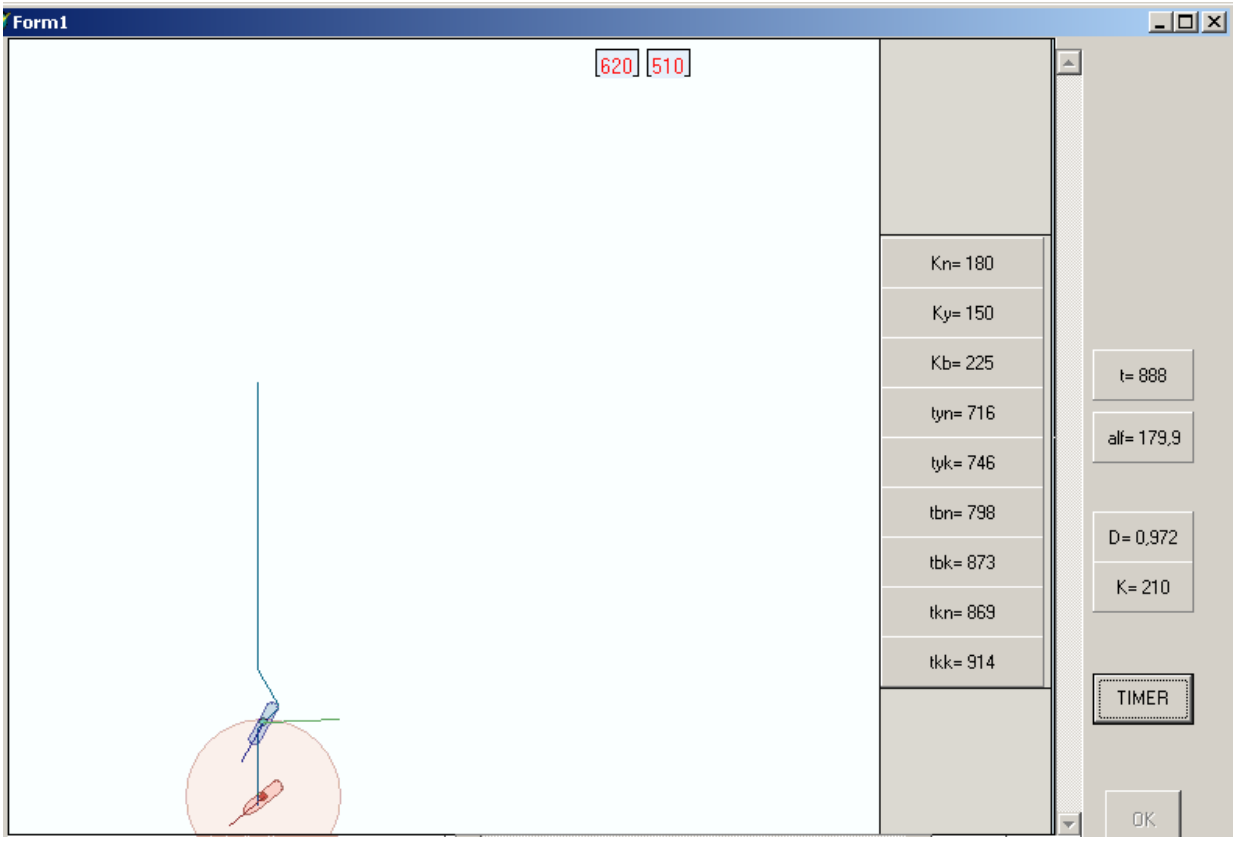


Рис. 5.55. Поворот судна на ділянку виходу (ситуація 8)



5.56. Початок повороту судна на програмну траєкторію (ситуація 8)

Заключна ситуація 9 небезпечного зближення судна з ціллю на пересічних курсах з параметрами: пеленгом α = 34 °, дистанцією D = 5 миль, $K_o = 140°$, $V_o = 17$ вузлів, $K_c = 190°$, $V_c = 26$ вузлів показана на рис. 5.57. Істинна траєкторія розходження обрана судном відворотом вліво. Форми відносної і істинної траєкторій показані на рис. 5.58, на якому також наведені параметри маневру розходження, розраховані програмою. Відносна траєкторія розходження має форму Δ_{tpr1}. Процес розходження відображений на рис. 5.59 ÷ 5.62. На рис. 5.59 показаний поворот судна на ділянку ухилення, а на рис. 5.60 – поворот судна на ділянку виходу. На 733 с процесу розходження досягається найкоротше зближення судна з ціллю на ділянці виходу, як представлено на рис. 5.61, а поворот на програмну траєкторію руху показаний на рис. 5.62.

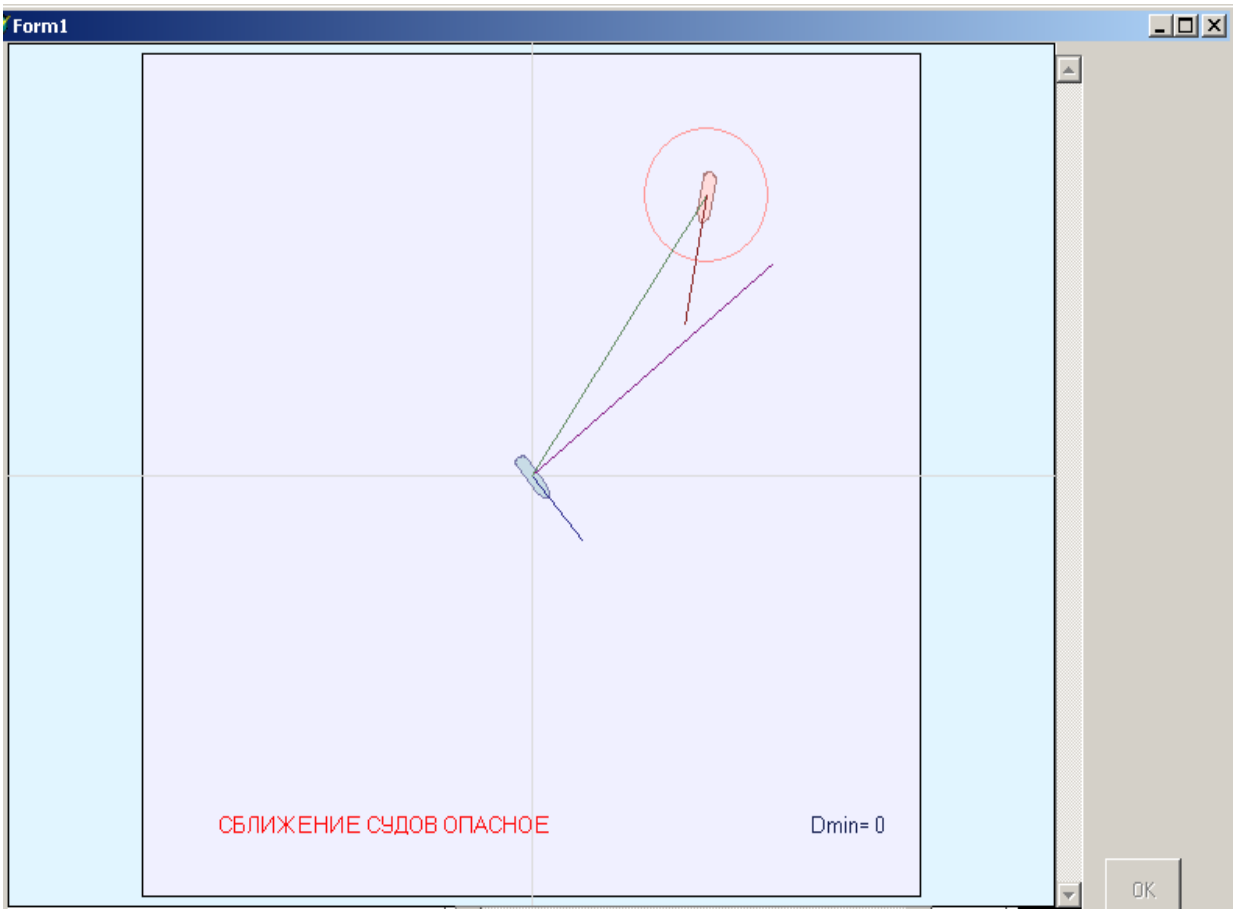


Рис. 5.57. Ситуація 9 небезпечного зближення судна з ціллю

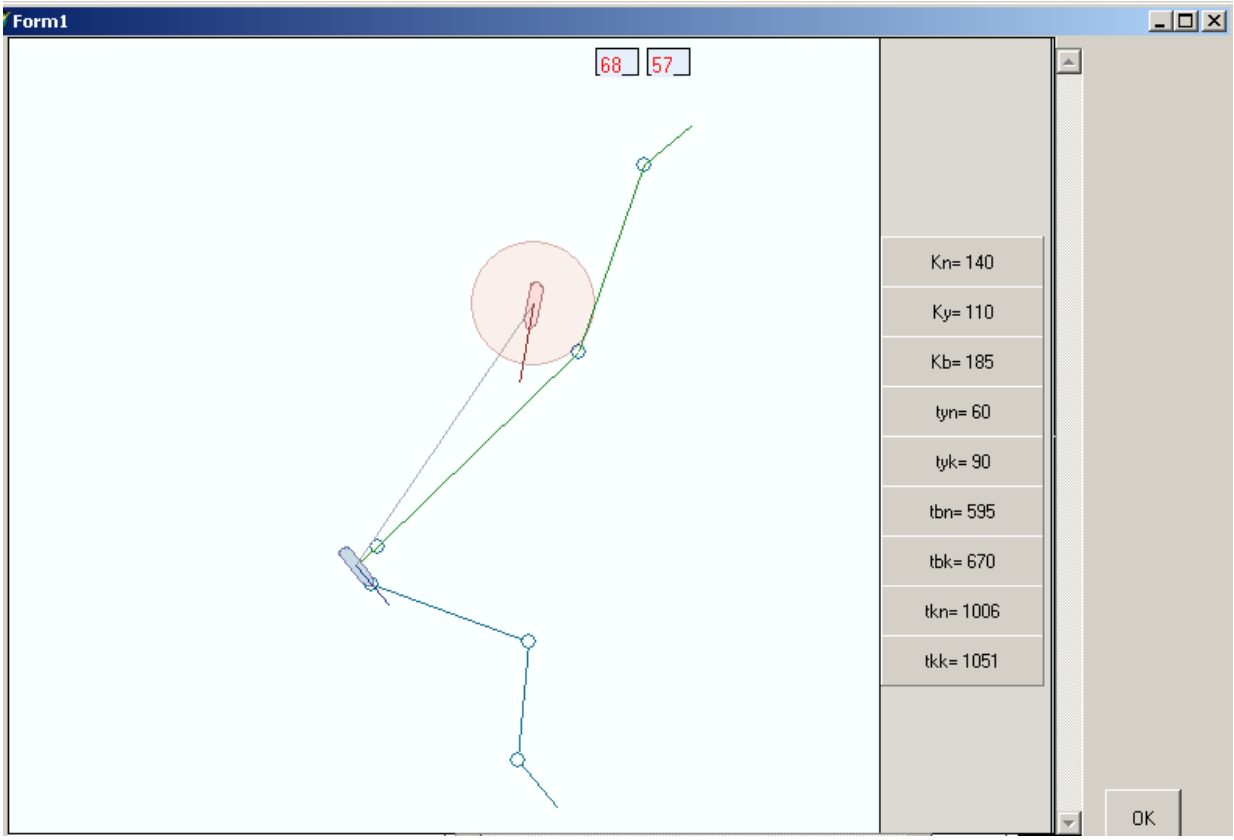


Рис. 5.58. Траєкторії істинного і відносного розходження (ситуація 9)

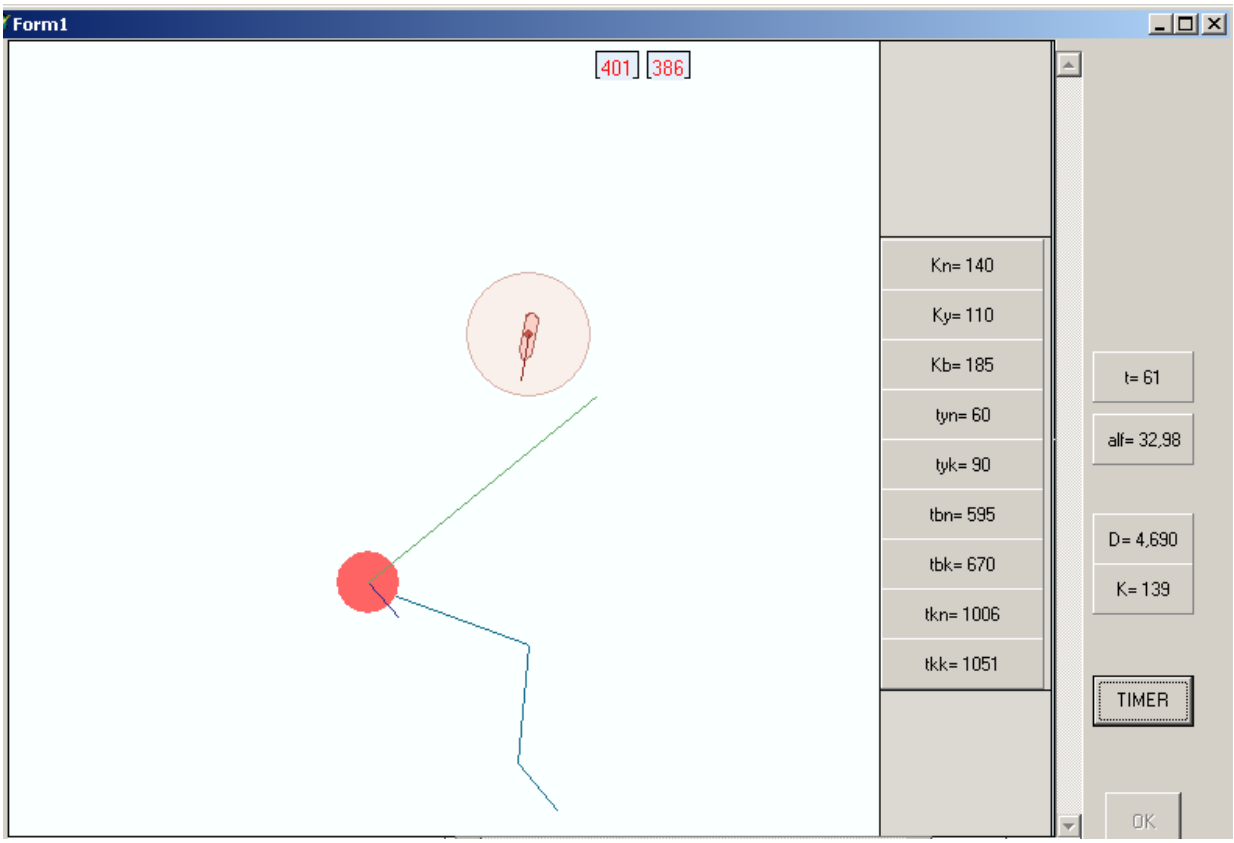


Рис. 5.59. Поворот судна на ділянку ухилення (ситуація 9)

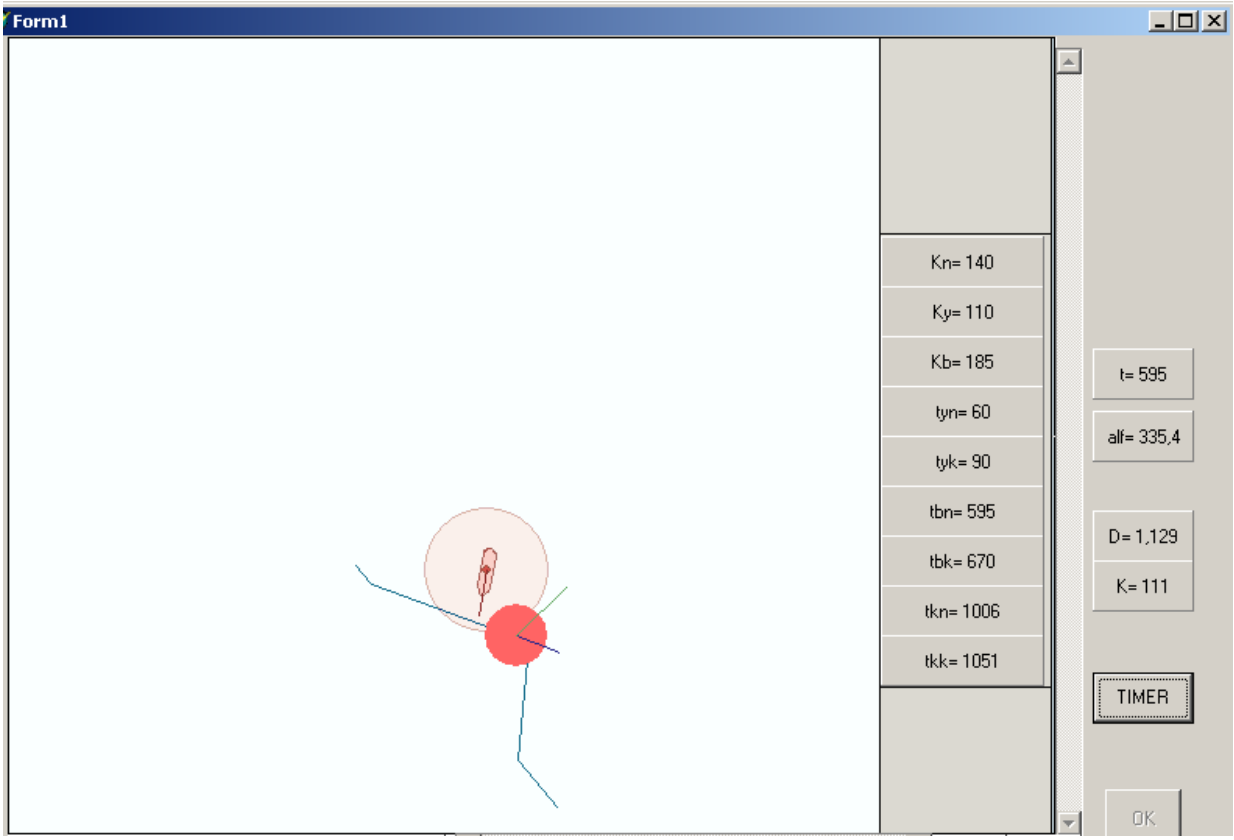


Рис. 5.60. Початок повороту судна на ділянку виходу (ситуація 9)

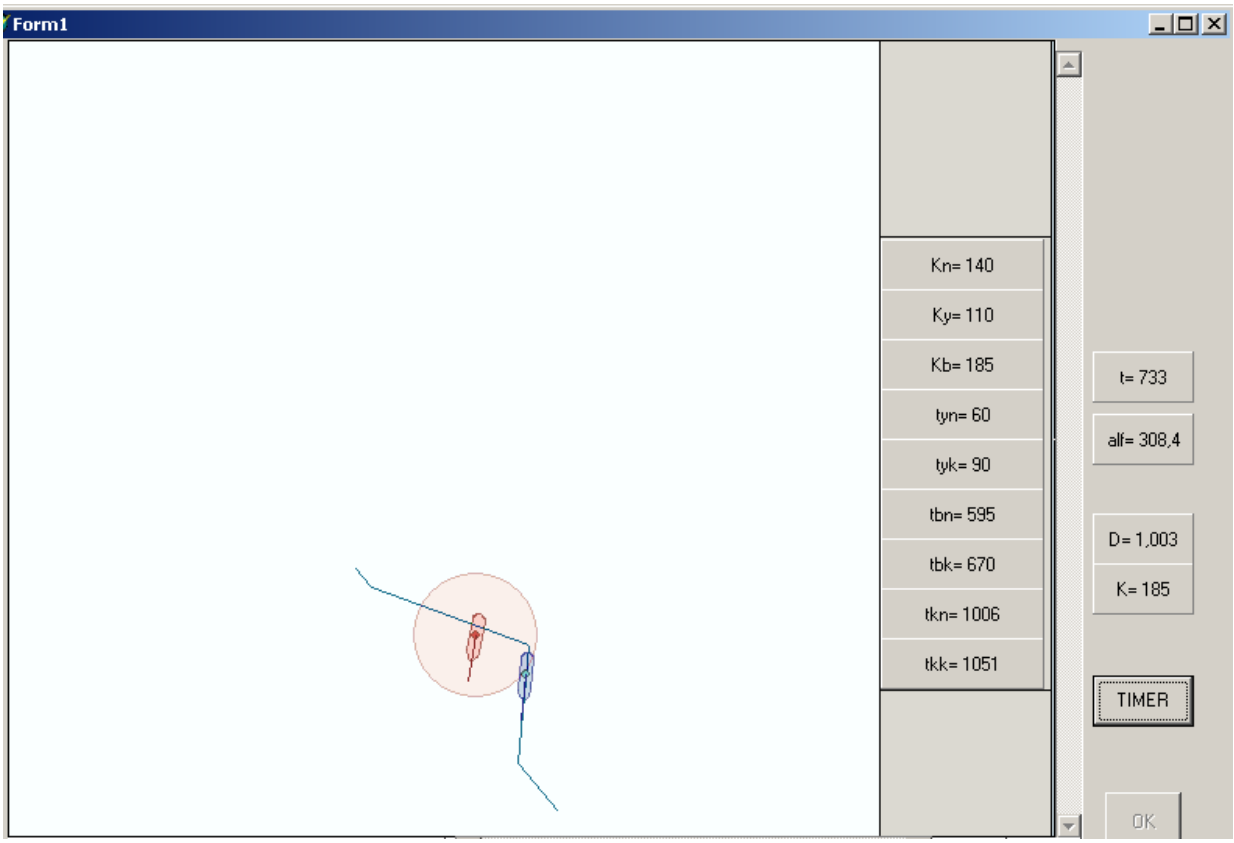
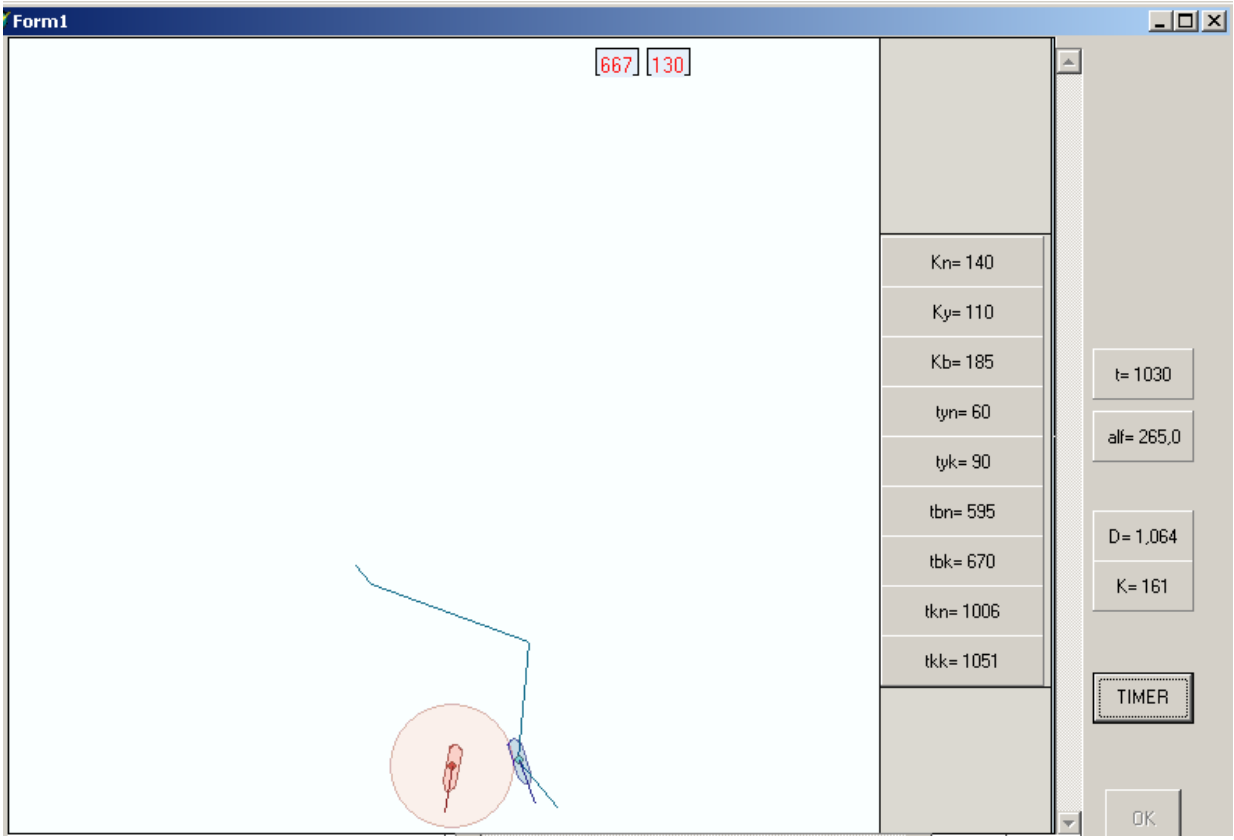


Рис. 5.61. Момент найкоротшого зближення судна з ціллю (ситуація 9)



5.62. Поворот судна на програмну траєкторію (ситуація 9)

Аналізом результатів імітаційного моделювання маневрів розходження в дев’яти розглянутих ситуаціях встановлено, що судно прямувало розрахованою траєкторією розходження, виконуючи повороти в обчислені моменти часу на задані курси розходження. Причому дистанції найкоротшого зближення судна з ціллю були дорівнювали значенню гранично-допустимої дистанції зближення. Цей висновок підтверджує коректність запропонованого в роботі методу оперативного визначення параметрів маневру розходження судна зміною курсу.

5.3. Висновки по п’ятому розділу.

В розділі розглянуто метод оперативного визначення параметрів маневру розходження судна зміною курсу для випадку, коли швидкість судна

більше швидкості цілі і випадку швидкості судна меншій швидкості цілі. Отримано аналітичні вирази розрахунку значень параметрів маневру розходження з урахуванням різних форм відносної траєкторії розходження.

Коректність запропонованого методу була підтверджена імітаційним моделюванням процесу розходження в дев’яти різних ситуаціях, в яких відносні траєкторії розходження мали різну форму. Причому за параметрами ситуації небезпечного зближення спочатку розраховувався маневр розходження, коректність якого підтверджувалася його програванням.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Найбільшою проблемою безпеки мореплавання в умовах стабільно-зростаючої кількості суден світового флоту є забезпечення безаварійного судноводіння, що базується на підвищенні надійності судноплавства та зменшенні вірогідності аварійних випадків урахуванням різних складових процесу управління судном і призводить до зниження шкоди навколишньому середовищу, поліпшення охорони людського життя на морі і зменшення збитків від морських аварій. Проблема безпеки судноплавства охоплює велике коло питань, які потребують постійного дослідження та їх приведення до сучасних реалій експлуатації торгового флоту. Проте інтенсивне судноплавство, поганий мореходний стан суден та навігаційні перешкоди значно ускладнюють забезпечення безпеки мореплавання (особливо в стислих умовах) і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. За даними страхової компанії «Allianz» в стислих водах відбувається понад 80% всіх навігаційних аварій, що свідчить про недосконалість методів судноводіння в умовах мореплавання.

При плаванні в стислих районах одним із найбільш актуальних аспектів забезпечення безаварійного судноводіння є попередження зіткнень суден (47%), що пов'язане з вдосконаленням методів оцінки небезпеки зближення та оперативного вибору безпечного маневру розходження. Тому розробка способів управління суднами, що небезпечно зближуються, чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики. В результаті вирішення головної наукової задачі отримано новий метод вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній

програмі, і відрізняється урахуванням форми відносної траєкторії при визначенні параметрів маневру попередження зіткнення.

У дисертаційній роботі було отримано такі наукові результати:

− вперше запропоновано процедуру відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, яка враховує відношення швидкостей судна і цілі, що дозволяє підвищити ефективність розрахунку параметрів маневру розходження суден;

− вперше розроблено спосіб формування повної стратегії розходження суден, який включає системи бінарної координації, що дає змогу обрати безпечний маневр розходження в залежності від поточної ситуації зближення судна та цілі;

− вперше отримано метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна, який враховує форми відносної траєкторії, що забезпечує коректний вибір траєкторії безпечного маневру.

Практична значимість роботи визначається тим, що його результати можуть бути упроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом розходження судна.

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

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість підвищення безпеки розходження суден урахуванням суттєвого чинника, яким є різноманітність форм відносної траєкторії розходження при незмінній

формі істинної траєкторії. Кількісним показником являється мінімізація втрат ходового часу на маневр попередження зіткнення.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Достовірність результатів роботи підтверджуються коректною розробкою і застосуванням математичних моделей, а також даними, які одержані при імітаційному моделюванні отриманих теоретичних результатів дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.

2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1989. – 230 с.

3. Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном / Першиц Р.Я. – Л.: Судостроение, 1983. – 272 с.

4. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И. – М.: Транспорт, 1975. – 81 с.

5. Демин С.И. Аналитический метод определения элементов торможения судов / Демин С.И. // Экспресс-информация ЦБНТИ ММФ, серия «Судовождение и связь».– 1980. – № 3 (128). – С. 21-33.

6. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна/ Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – Одесса: Латстар, 2002. – 310 с.

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

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

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

10. Сизов В.Г. Теория корабля / Сизов В.Г. – Одесса: Феникс, 2003. – 282 с.

11. Кондрашихин В.Т. Определение наиболее вероятного значения повторяющейся ошибки / В.Т. Кондрашихин, Е.В. Якшевич // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1972. – Вып. 157. – С. 42-49.

12. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений/ Кондрашихин В.Т. // Геодезия и картография. – 1977. – № 5. – С. 11-16.

13. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

14. Широков В. М. Распределение погрешностей обсервации при использовании методов корреляционной навигации / Широков В. М.// Судовождение. - 2003. - № 6. – С. 154-158.

15. Широков В. М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103-107.

16. Бузовский Д.А. Зависимость точностного критерия радиолокационной системы обращенного типа от ее структуры / Бузовский Д.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.11. – Одесса: «ИздатИнформ», 2006. – С. 14-19.

17. Бузовский Д.А. Имитационное моделирования влияния структуры радиолокационной системы обращенного типа на точность контроля позиции судна / Бузовский Д.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.12. – Одесса: «ИздатИнформ», 2006. – С. 19-25.

18. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений / Б.М. Алексейчук, С.С. Пасечнюк // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. – С. 5-10.

19. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. - М.: Советское радио, 1976. – 192 с.

20. Степаненко. В.В. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов/ В.В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГМА. – Вып. 2 – Одесса: Латстар, 2000. – С. 201-209.

21. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: – Т.2. / Феллер В. – М.: Мир, 1984. – 751 с.

22. Сикирин В.Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона / Сикирин В.Е. // Судовождение: Сб.

научн. трудов./ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 – С. 152-156.

23. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.

24. Астайкин Д.В. Смешанные законы распределения вероятностей случайных погрешностей навигационных измерений/ Астайкин Д.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 24. – Одесса: «ИздатИнформ», 2014 – С.

25. Астайкин Д.В. Эффективность координат судна при смеси нормально распределенных погрешностей выборки / Астайкин Д.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 – С.

26. Bober R. The DGPS system improve safety of navigation within the port of Szczecin / Bober R., Grodzicki P., Kozlowski Z., Wolski A. // 12 Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, 23-25 May, 2005. St. Petersburg: Elektropribor. 2005, P. 192-194.

27. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. – 2002. – № 5. – С. 65-73.

28. 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.

29. 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.

30. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Д.В. Астайкин, В.Е. Сикирин, И.И. Ворохобин, Б.М. Алексейчук – Saarbrucken, Deutschland/ Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.

31. Лукомский Ю.А. Общие закономерности и специфические особенности в математических моделях морских подвижных объектов/ Ю.А. Лукомский, А.Л. Стариченков // Гироскопия и навигация. – 1997. – № 2. – С. 44-52.

32. 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.

33. Чапчай Е.П. Учет времени перекладки пера руля при повороте судна/ Чапчай Е.П. // Судовождение. – 2005. – № 9. – С. 110-113.

34. Чапчай Е.П. Экспериментальное исследование моделей поворотливости судна / Чапчай Е.П. // Судовождение. – 2006. – № 11. – С. 139-142.

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

36. 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.

37. 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.

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

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

40. Юдин Ю.И. Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели / Ю.И. Юдин, С.И. Позняков // Вестн. МГТУ (Мурманск). 2006. 9, № 2, с. 234-240.

41. Шпекторов А.Г. Организация двухуровневой системы управления движением скоростного судна./ Шпекторов А.Г., Тхань ,Тунг Ле.: Навигация и управление движением: Материалы 8 Конференции молодых ученых: 1 этап, Санкт-Петербург, Ц-16 марта, 2006; 2 этап, Санкт-Петербург (в Интернете), 1 июня-31 окт., 2006; 3 этап, Санкт-Петербург, 25-29 сент., 2006 СПб: ЦНИИ «Электроприбор». 2007, с. 125-130.

42. M. Ljacki. Intelligent Prediction of Ship Maneuvering / M. Ljacki // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 3, 2016, p. 511-516.

43. 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, 2015, p. 591-596.

44. 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.

45. Artyszuk J. Inherent Properties of Ship Manoeuvring Linear Models in View of the Full-mission Model Adjustment/Artyszuk J.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 10, No. 4, 2016, p. 595-604.

46. C.J. Shi. Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended

Kalman Filters/ C.J. Shi, D. Zhao, J. Peng, C. Shen// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, 2009, p. 105-110.

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

48. Богданов В. П. Синергетика и нейросетевые системы управления курсом судна / В. П. Богданов, Я.Л. Виткалов, С.В. Глушков, А.С. Потапов и др. – Питер. – 2006, 205 с.

49. Zhu M. Parameter Identification of Ship Maneuvering Models Using Recursive Least Square Method Based on Support Vector Machines / Zhu M., Hahn A., Wen Y.Q., Bolles A. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2017, Vol. 11, No. 1, p. 23-29.

50. 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.

51. Ahmed Y.A. Consistently Trained Artificial Neural Network for Automatic Ship Berthing Control/ Y.A. Ahmed, K. Hasegawa // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 3, 2015, p. 417-426.

52. 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.

53. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы/ Вагущенко Л.Л. – Одесса: Феникс, 2004. – 302 с.

54. Дмитриев С.П. Обоснование возможности использования линейно-квадратичного подхода при стабилизации судна на траектории/ С.П. Дмитриев, А.Е. Пелевин // Гироскопия и навигация. – 1997. – № 4. – С. 65-82.

55. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.

56. Куликов А.М. Оптимальное управление расхождением судов / Куликов А. М., Поддубный В. В. // Судостроение. – 1984, № 12. – С. 22-24.

57. 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.

58. 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.

59. 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.

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

61. Кудряшов В.Е. Математическая модель процесса расхождения нескольких управляемых объектов / Кудряшов В.Е. // Известия ЛЭТИ. – 1976. – № 206. – С. 15-19.

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

63. 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.

64. Lisovski I.A Differential Game Model of Ship Control Process/ Lisovski I. // Link. Sei. and Appl. Automat. Contr. – Helsinky. – 1978, Vol.2. – P. 1557-1603.

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

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

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

68. Павлов В.В. Проблемы построения многоцелевой эргатической системы предупреждения столкновений морских судов/ В.В. Павлов, В.Л. Баранов, И.А. Положенцев // Автоматика. – 1980, № 2. – С. 73-76.

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

70. Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов / В.В. Павлов, Н.И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – № 68. – С. 43-45.

71. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2002. – №4. – С. 32-36.

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

73. Бурмака И.А. Учет инерционности судна при расчете момента времени завершения маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. – № 5. – 2002. – С. 13-21.

74. Бурмака И.А. Применение численных методов для расчета времени начала уклонения судна при расхождении / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 27-31.

75. 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.

76. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005, №10. – С. 21-25.

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

78. Сафин И.В. Условия существования безопасных маневров расхождения / Сафин И.В. // Судовождение. – 2001, № 3. – С. 158-163.

79. Сафин И.В. Расчет граничных значений параметров множества допустимых маневров расхождения / Сафин И.В. // Судовождение. – 2002, №4. – С. 95-100.

80. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / Сафин И.В. // Автоматизация судовых технических средств. – 2002, №7. С. 115-120.

81. Сафин И.В. Анализ результатов имитационного моделирования процесса расхождения судов / Сафин И.В. // Судовождение. – 2003, №6. – С. 122-129.

82. 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.

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

84. Петриченко Е.А. Описание навигационных опасностей в задаче расхождения судов / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2002, №5. – С. 89-95.

85. Петриченко Е.А. Учет линейной навигационной опасности при расхождении судов / Петриченко Е.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2003, №8. – С. 72-76.

86. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003, №.6. – С. 103-107.

87. Якушев А.О. Выбор формы безопасной области, обеспечивающей минимальное уклонение судна при расхождении / А.О. Якушев, Э.Н. Пятаков // Автоматизация судовых технических средств. – 2015, № 21. – С. 77-81.

88. Якушев А.О. Зависимость размеров судовой безопасной области от плотности распределения вероятностей позиционной погрешностей / А.О. Якушев // Водный транспорт. – 2014. – №2 (20). – С. 84-88.

89. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.

90. Бурмака А.И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения / Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 20. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012/ – С. 32-35.

91. Бурмака А.И. Учет угловой скорости судна при расчете параметров маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения/ Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 21. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012. – С. 38-41.

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

93. Волков А.Н. Отображение зоны безопасности судна на электронной карте // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013. – С 40-45.

94. Волков А.Н. Формирование безопасной области в судовых системах навигационной информации / Волков А.Н. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2013. № 4. – С. 52-56.

95. 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. – 2016, Vol. 10, No. 2. – P. 251-256.

96. 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.

97. 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.

98. 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.

99. 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.

100. 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, 2015, Vol. 9, No. 1. – P. 23-29.

101. J. Lisowski. Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory/ J. Lisowski// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, 2016, Vol. 10, № 2. – P. 376-381.

102. Lisowski J. Game Strategies of Ship in the Collision Situations/ J. Lisowski//TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2014, Vol. 8, № 1. – P. 69-77.

103. 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.

104. 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.

105. Hornauer S. Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision

Avoidance / Hornauer S., Hahn A., Blaich M., Reuter J. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2015, Vol. 9, No. 3. – P. 335-341.

106. 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.

107. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов/ Э.Н. Пятаков, С.В. Копанский, Е.Л. Волков // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С.О. Макарова. Санкт-Петербург. – 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23-28.

108. Пятаков Э.Н. Зависимость структуры стратегии расхождения судов от системы бинарной координации их взаимодействия / Пятаков Э.Н. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017 г. – Харьков – С. 39-44.

109. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С.О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9-13.

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

111. Бурмака И.А. Предупреждение столкновений судов методами внешнего управления процессом расхождения / И.А. Бурмака, Г.Е. Калиниченко, М.А. Кулаков // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 56-60.

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

113. 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.

114. Булгаков А.Ю. Выбор маневра расхождения судов изменением курсов в системах управления движением судов/ А.Ю. Булгаков, Э.Н. Пятаков // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. – 2014. №4 . – С 153-164.

115. 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.

116. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / А.Ю. Булгаков, Б.М. Алексейчук // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. – 2014. №1 . – С. 75-81.

117. Тетюев Б.А. Управление движением судна/ Тетюев Б.А. // Гироскопия и навигация. – 1996, № 4. – С. 66.

118. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств. – 2014, № 20. – С. 18-23.

119. Бурмака И.А. Выбор оптимального вектора управления судами изменением курсов для безопасного расхождения / И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств. – 2015, № 21. – С. 18-23.

120. 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.

121. 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.

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

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

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

125. 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.

126. Бурмака И.А. Оптимальный маневр расхождения судов изменением их скоростей // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 24-27.

127. Омельченко Т.Ю. Учет динамики судна при повороте / Омельченко Т.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 – С. 120-126.

128. Омельченко Т.Ю. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 137-143.

129. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Э.Н. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017, № 23. – С. 77-84.

130. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Э.Н.

Пятаков, С.С. Пасечнюк, Т.Ю. Омельченко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97-101.

131. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 82-85.

132. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество относительных траекторий / Т.Ю. Омельченко, Э.Н. Пятаков, Е.Е. Тюпиков // East European Science Journal, 2017, №11 (27). Part 1. – С. 58-69.

133. Пятаков Э.Н. Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями/ Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, Т.Ю. Омельченко//.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 72-76.

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

135. Омельченко Т.Ю. Определение момента времени поворота судна к программной траектории после расхождения/ Омельченко Т.Ю. // XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 декабря 2017г. – Харьков – С. 29-34.

136. Волков А.Н. Уравнение безопасной области судов/ Волков А.Н., Омельченко Т.Ю. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 113-115.

137. Омельченко Т.Ю. Процедура оценки предельной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С.Мартыненко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017):

Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 128-130.

138. Омельченко Т.Ю. Влияние инерционности судна при расчете параметров поворота. // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 134-136.

139. Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С. Минимальная допустимая дистанция сближения судов. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 135-137.

140. Омельченко Т.Ю., Тюпиков Е.Е. Зависимость форм относительной траектории расхождения от формы истинной траектории судна.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 137-140.

141. Y.L.Volkov. The Choice of the Maneuver of the Vessel’s Passing Considering the Coordination’s System of the Interactive Vessels and Their Dynamic Characteristics/Y.L.Volkov, E.N. Pyatakov & Y.V. Kalinichenko// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 11, № 1, March, 2017, P. 79-82.

ДОДАТОК А.

Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації

1. Омельченко Т.Ю. Учет динамики судна при повороте / Омельченко Т.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 – С. 120-126.

2. Омельченко Т.Ю. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 137-143.

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

4. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Э.Н. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – № 23. – С. 77-84.

5. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 82-85.

6. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество относительных траекторий / Т.Ю. Омельченко, Э.Н. Пятаков, Е.Е. Тюпиков // East European Science Journal, , №11 (27), 2017, part 1. – С. 58-69.

7. Пятаков Э.Н. Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями/ Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, Т.Ю. Омельченко //.// Science and Education a

New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018.- С. 72-76.

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

9. Омельченко Т.Ю. Определение момента времени поворота судна к программной траектории после расхождения/ Омельченко Т.Ю. // XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 декабря 2017г. – Харьков – С. 29-34.

10. Волков А.Н. Уравнение безопасной области судов/ А.Н. Волков, Т.Ю. Омельченко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 113–115.

11. Омельченко Т.Ю. Процедура оценки предельной допустимой дистанции сближения судов/ Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 128–130.

12. Омельченко Т.Ю. Влияние инерционности судна при расчете параметров поворота. // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 134-136.

13. Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С. Минимальная допустимая дистанция сближения судов. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 135–137.

14. Омельченко Т.Ю., Тюпиков Е.Е. Зависимость форм относительной траектории расхождения от формы истинной траектории судна.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека:

Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 137-140 .

Відомості про апробацію результатів дисертації.

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

науково-технічна конференція «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві»(Одеса, 19-20 листоп. 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2016 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листоп. 2017 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.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 грудня 2017 р.).

ДОДАТОК Б.

Акти упровадження результатів дисертації

А К Т
П Р О В П Р О В А Д Ж Е Н Н Я
РЕЗУЛЬТАТІВ ДТСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ОМЕЛЬЧЕНКО ТАРАСА ЮРІЙОВИЧА

Приватний вищий учбовий заклад «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» підтверджує впровадження в учбовий процес тренажерного центру результатів дисертаційної роботи ст. викладача Національного університету «Одеська морська академія» Омельченко Тараса Юрійовича на тему «Удосконалення алгоритмів управління процесом розходження суден», яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом, а саме:

- оперативний метод вибору маневру розходження судна при локально-незалежному управлінні в ситуації небезпечного зближення;

- залежність між формами істинної і відносної траєкторій розходження судна з небезпечною ціллю.

Директор

Інституту післядипломної освіти

«Одеський морський тренажерний центр»,

к.т.н., професор Пащенко Ю.В.

04.04.2018 р.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ЛБШ»
Україна, 65481, Одеська обл., місто Южне, проспект Григорівського Десанту, будинок 34/4, офіс 5, тел. (048)737-73-11, e-mail: office@lbship.net
ЄДРПОУ 41350671, Р./р. 26001010483390, Банк ПАТ "БАНК ВОСТОК", МФО 30712

«З А Т В Е Р Д Ж У Ю»
Директор ТОВ «ЛБШ»
_____ С.С. Чудін
29.03.18р.

АКТ

ВПРОВАДЖННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ОМЕЛЬЧЕНКО ТАРАСА ЮРІЙОВИЧА

«УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН»

Товариство з обмеженою відповідальністю «ЛБШ» підтверджує впровадження в діяльність портового флоту результатів дисертаційної роботи ст. викладача НУ «ОМА» Омельченко Т.Ю., яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом, а саме:

- сформульовано процедури оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії розходження.

Директор ТОВ «ЛБШ» С.С. Чудін

«З А Т В Е Р Д Ж У Ю»

Директор «CMA Ships Ukraine»

_____ Є.Є. Тюпіков

17.04.2018

АКТ

ВПРОВАДЖННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

ст. викладача Національного університету «Одеська морська академія» Омельченко Т.Ю. на тему: «Удосконалення алгоритмів управління процесом розходження суден» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом.

Цим актом засвідчуємо, що в виробничу діяльність судноплавної компанії «CMA Ships Ukraine» з метою підвищення безпеки судноплавства та при перепідготовці судноводіїв компанії впроваджено результати зазначеного дисертаційного дослідження, а саме:

- метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна, який враховує форми відносної траєкторії, що забезпечує коректний вибір безпечного маневру.

Директор «CMA Ships Ukraine» Є.Є. Тюпіков

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
" КОЛАМБІЯ ШИПМЕНЕДЖМЕНТ УКРАЇНА "
пров. Сабанський 3, оф. 11н , м. Одеса, 65014, Україна;
телефон 1: (+38) -048 -728 24 51;
телефон 2: (+38) 048 731 25 77; факс: (+38) -048- 721 53 77;
Email : allstaff@csm-ua.com, doehle@csm-ua.com
розрахунковий рахунок N 26003000057596
у ПАТ "Укрсоцбанк" м.Одеса МФО 300023
Ідентифікаційний код за ЄДРПОУ 35819567

COLUMBIA SHIPMANAGEMENT UKRAINE LIMITED
3 Sabanskiy Lane , office 11n, Odessa, 65014, Ukraine;
Telephone 1: (+38) -048 -728 24 51;
telephone 2: (+38) 048 731 25 77
fax: (+38) -048- 721 53 77;
Email : allstaff@csm-ua.com, doehle@csm-ua.com
current account N 26003000057596
в PJSC " Ukrsotsbank " Odessa Bank code 300023

«З А Т В Е Р Д Ж У Ю»

Директор «Columbia
Shipmanagement Ukraine»

С.В Мануйленко

АКТ

ВПРОВАДЖННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Цим актом засвідчуємо, що в компанії «Columbia Shipmanagement Ukraine» впроваджено результати дисертаційної роботи Т.Ю. Омельченко на тему: «Удосконалення алгоритмів управліня процесом розходження суден», яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – «Навігація та управління рухом»:

- метод відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, який враховує відношення швидкостей судна і цілі, що дозволяє підвищити ефективність розрахунку параметрів маневру розходження суден.

Метод використовується при перепідготовці судноводіїв компанії.

Директор
«Columbia Shipmanagement Ukraine» С.В Мануйленко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Національного університету
«Одеська морська академія»
д.ю.н, професор _____ О.М. Шемякін
«09» _____ 2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в державному закладі вищої освіти «Національний університет «Одеська морська академія»» одержали впровадження результати дисертаційної роботи здобувача Омельченка Тараса Юрійовича на тему «Удосконалення алгоритмів управління процесом розходження суден» у навчальний процес на кафедрі «Управління судном» в дисципліні «Маневрування та управління судном».

Начальник навчального відділу
Національного університету
«Одеська морська академія» М.М. Пархоменко

Декан судноводійного факультету,
д.т.н., професор М.М. Цимбал

Завідувач кафедрою «Управління судном»,
к.т.н., доцент І.О. Бурмака

ДОДАТОК В.

Фрагмент коду імітаційної програми

```
implementation

{$R *.DFM}

uses Unit_2D;

procedure MakeScale(Lh,Bh,Hh : word; var Lp,Bp,Hp : word; var Scale : real);

begin
if Hh/Bh<0.4674 then
begin
if Lh/Bh>1.2383 then
Scale:=387{310}/Lh
else
Scale:=313{251}/Bh;
end
else
begin
if Lh/Hh>2.5984 then
Scale:=387{310}/Lh
else
Scale:=147{118}/Hh;
end;
Lp:=Round(Lh*Scale); Bp:=Round(Bh*Scale); Hp:=Round(Hh*Scale);
end;


procedure Coord(Lp,Bp,Hp : word; var Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2 : word);
begin
Xn1:=202{162}-Round(Lp/2); Yn1:=162{130}-Round(Bp/2);
Xk1:=202{162}+Round(Lp/2); Yk1:=162{130}+Round(Bp/2);
Xn2:=565{452}-Round(Bp/2); Yn2:=400{320}-Round(Hp/2);
Xk2:=565{452}+Round(Bp/2); Yk2:=400{320}+Round(Hp/2);
end;


procedure BLn(Bmp : TBitMap; Img : TImage;
X,Y : Integer; BmpInd : byte);
Var
i : byte;


begin
for i:=1 to 17 do
begin
ColorLine(Bmp,Img,X-18,Y-17+i,X+19,Y-17+i,RGB(170+5*i,100+6*i,80+7*i),1,BmpInd);
```

```
ColorLine(Bmp,Img,X-18,Y+17-i,X+19,Y+17-i,RGB(170+5*i,100+6*i,80+7*i),1,BmpInd);
end;
end;


procedure Pct1(Bmp : TBitMap; Img : TImage; BmpInd : byte);
var
i,j : byte;

begin
for i:=0 to 2 do
begin
ColorRect(Bmp,Img,727,9+48*i,787,53+48*i,RGB(70,80,110),BmpInd);
for j:=1 to 13 do
ColorLine(Bmp,Img,728,9+48*i+j,786,9+48*i+j,RGB(30+8*j,40+8*j,70+8*j),1,BmpInd);
ColorRect(Bmp,Img,729,29+48*i,785,49+48*i,RGB(200,220,240),BmpInd);
end;
ColorRect(Bmp,Img,665,6,725,151,RGB(120,130,160),BmpInd);
for i:=0 to 2 do
begin
ColorRect(Bmp,Img,665,9+48*i,725,53+48*i,RGB(70,80,110),BmpInd);
for j:=1 to 13 do
ColorLine(Bmp,Img,666,9+48*i+j,724,9+48*i+j,RGB(30+8*j,40+8*j,70+8*j),1,BmpInd);
ColorRect(Bmp,Img,667,29+48*i,723,49+48*i,RGB(200,220,240),BmpInd);
end;
end;


procedure Treug(Img : TImage; Ind,IndCol : byte);
var
CPnt : array[1..3] of TPoint;

begin
with Img.Canvas do
begin
if IndCol=0 then
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(170,170,170));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
end;
if Ind=1 then
begin
CPnt[1].x:=769; CPnt[1].y:=502;
CPnt[2].x:=789; CPnt[2].y:=502;
CPnt[3].x:=779; CPnt[3].y:=487;
end
else
```

```
begin
CPnt[1].x:=769; CPnt[1].y:=527;
CPnt[2].x:=789; CPnt[2].y:=527;
CPnt[3].x:=779; CPnt[3].y:=542;
end;


Polygon(CPnt);
end;
end;


procedure DPaint(Bmp : TBitMap; Img : TImage);
var


i : byte;

begin
with Img.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(220,200,180));


ColorRect(Bmp,Img,423+64*3,273,469+64*3,288,RGB(220,200,180),0);
ColorRect(Bmp,Img,423+64*4,273,469+64*4,288,RGB(220,200,180),0);


ColorRect(Bmp,Img,725,7,789,198,RGB(70,60,75),0);
for i:=1 to 94 do
ColorLine(Bmp,Img,726,7+2*i,788,7+2*i,RGB(20+2*i,20+2*i,25+2*i),1,0);


ColorRect(Bmp,Img,419,206,716,266,RGB(70,60,75),0);
for i:=1 to 29 do
ColorLine(Bmp,Img,420,205+2*i,715,205+2*i,RGB(80+4*i,70+4*i,85+4*i),1,0);
end;
end;


procedure Buttn(Bmp : TBitMap; Image : TImage; X,Y,dX,dY : word;
R,G,B : byte);
var
i,dRu,dGu,dBu,dRd,dGd,dBd : byte;


begin
ColorRect(Bmp,Image,X-1,Y-1,X+dX+1,Y+dY+1,RGB(20,20,20),0);
ColorRect(Bmp,Image,X,Y,X+dX,Y+dY,RGB(R,G,B),0);
dRu:=Round((255-R)/4); dGu:=Round((255-G)/4); dBu:=Round((255-B)/4);
dRd:=Round((R-60)/4); dGd:=Round((G-60)/4); dBd:=Round((B-60)/4);
```

```
for i:=1 to 4 do
begin
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+i,X+dX-i,Y+i,RGB(255-dRu*i,255-dGu*i,255-dBu*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+i,X+i,Y+dY-i,RGB(255-dRu*i,255-dGu*i,255-dBu*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+dY-1-i,X+dX-i,Y+dY-1-
i,RGB(60+dRd*i,60+dGd*i,60+dBd*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+dX-1-i,Y+i,X+dX-1-i,Y+dY-1-
i,RGB(60+dRd*i,60+dGd*i,60+dBd*i),1,0);
end;
end;


function ArcSin (x:real) :real;
var
Ast :real;

begin
if Abs(x)>=0.9999999 then
begin
if x>0 then Ast:=90
else Ast :=-90;
end
else
Ast :=ArcTan(x/(Sqrt(1-Sqr(x))))*57.3;
ArcSin :=Ast;
end;


function ArcCos(x:real) :real;
var
Ac :real;

begin
if x<>0 then
begin
if x<=1 then
Ac :=ArcTan((Sqrt(1-Sqr(x)))/x)*57.3;
if x>0 then ArcCos :=Ac
else ArcCos :=180-Ac;
end
else ArcCos:=90;
end;


function  Pelg(x,y:real):real;
var C1,Aor,Aol:real;

begin
if y<>0 then C1 :=ArcTan(x/y)*57.3
else
begin
```

```
if x>0 then C1:=90
else C1:=270;
end;
if y>=0 then Aor :=360 + C1
else Aor :=180 + C1;
if Aor >=360 then Aol :=Aor - 360
else Aol :=Aor;
Pelg :=Aol;
end;


function Cour(x : Integer) : {real}Integer;
begin

if x<0 then Cour:=360+x
else
begin
if x>=360 then Cour:=x-360
else Cour:=x;
end;
end;


function Distn(x,y:real):real;
var Ds :real;


begin
Ds :=Sqrt(Sqr(x)+Sqr(y));
Distn :=Ds;
end;


procedure KotVot(Kv,Kb: Integer; Vv,Vb : real; var Kot,Vot : real);
label 1;
var
dVx,dVy,psi : real;


begin
dVx:=Vv*sin(Kv/57.3)-Vb*sin(Kb/57.3);
dVy:=Vv*cos(Kv/57.3)-Vb*cos(Kb/57.3);


Vot:=Sqrt(Sqr(dVx)+Sqr(dVy));
if Vot=0 then
begin
Kot:=0;
goto 1;
end;
psi:=ArcSin(dVx/Vot);
if dVy>0 then
```

```
begin
if dVx>0 then Kot:=psi
else Kot:=360+psi;
end
else
begin
Kot:=180-{+}psi;
end;
1 :end;


procedure ColorRectBor(Bmp : TBitMap; Img : TImage; Xn,Yn,Xk,Yk : word;
Color,Color1 : LongInt; BmpInd : Byte);
{label 1,2;}


begin
if BmpInd=1 then
begin
with Bmp.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(Color1{5,5,5});
Brush.Color:=TColor(Color);
Rectangle(Xn,Yn,Xk,Yk);
end;
end
else
begin
with Img.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(Color1{5,5,5});
Brush.Color:=TColor(Color);
Rectangle(Xn,Yn,Xk,Yk);
end;
end;
end;


procedure Region(Bmp : TBitMap; Image1 : TImage; V1,V2 : word;
alf: real; Gr,Gr1 : Pt; Grs : Pt1);


label 1,2;
var Nb,Ne,Ncn,gam1,gam2,K2o,i,dN,K11o,K11,Ncno,No : word;
begin
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
```

```
if V2>V1 then
begin
Ncn:=0;
gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

Nb:=Round(gam1+180-Arcsin(V1/V2));  Ne:=Round(gam1+Arcsin(V1/V2));

if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
else dN:=360-(Nb-Ne);

for i:=0 to dN do
begin
K2o:=Round(gam1+180-Arcsin(V1/V2))+i;
K2:=Cour(K2o);
if (K2-gam1>180+Arcsin(V1/V2)) and (K2-gam1<360-Arcsin(V1/V2)) then goto 1;
K11o:=Round(gam1+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam1)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
Ncn:=Ncn+1;
Gr[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
{Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);}
Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
end;


1:   end;

for i:=Ncn to 360 do
begin
Gr[i].x:=Gr[Ncn].x;
Gr[i].y:=Gr[Ncn].y;
end;

Grs[Ncn+1]:=Grs[Ncn];

Nb:=Round(gam2+180-Arcsin(V1/V2));  Ne:=Round(gam2+Arcsin(V1/V2));

if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
else dN:=360-(Nb-Ne);

Ncno:=0;

for i:=0 to dN do
begin
K2o:=Round(gam2+180-Arcsin(V1/V2))+i;
K2:=Cour(K2o);
if (K2-gam2>180+Arcsin(V1/V2)) and (K2-gam2<360-Arcsin(V1/V2)) then goto 2;
```

```
K11o:=Round(gam2+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam2)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
{Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);}
Grs[2*Ncn{+1}-Ncno].x:=Gr1[i].x;
Grs[2*Ncn{+1}-Ncno].y:=Gr1[i].y;
No:=2*Ncn{+1}-Ncno;
end;

2:   end;

for i:=Ncn to 360 do Gr1[i]:=Gr1[Ncn];

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn];

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,195,195));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

for i:=1 to Ncn do
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

for i:=1 to Ncno do
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
end;

if V2<{=}V1 then
begin
Ncn:=0;
gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam1+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(gam1+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam1)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
```

```
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
Ncn:=Ncn+1;
Gr[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);
Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
end;

end;
Grs[Ncn+1]:=Grs[Ncn];

Ncno:=0;

for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam2+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(gam2+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam2)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
Grs[2*Ncn+1-Ncno].x:=Gr1[i].x;
Grs[2*Ncn+1-Ncno].y:=Gr1[i].y;
No:=2*Ncn+1-Ncno;
end;
end;

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn+1];

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,195,195));
Polygon(Grs);


Pen.Mode:=pmCopy;

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

for i:=1 to Ncn do
```

```
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

for i:=1 to Ncno do
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
{Pen.Color:=TColor(RGB(155,195,155));


Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}
end;


if V2=V1 then
begin
Ncn:=0;
gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));


for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam1+i);
K2:=Cour(K2o);


K11o:=Round(180+2*gam1-K2o);
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
Ncn:=Ncn+1;
Gr[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);
Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
end;
end;
Ncno:=0;

for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam2+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(180+2*gam2-K2o);
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
```

```
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
Grs[2*Ncn+1-Ncno].x:=Gr1[i].x;
Grs[2*Ncn+1-Ncno].y:=Gr1[i].y;
No:=2*Ncn+1-Ncno;
end;
end;


for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn];

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,195,195));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;
{Pen.Color:=TColor(RGB(155,195,155));

Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}
end;
end;
end;

procedure Vsl(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndV,IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
Xo,Yo,K : Integer; V : real; IndBmp : byte; var Xn,Yn,Xk,Yk,Xs,Ys: Integer);

var
i,s,sv : byte;
R,a : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;
begin
Xn:=Xo; Yn:=Yo-Round((Lv-L1-L2)/2);
Xk:=Xo; Yk:=Yo+Round((Lv-L1-L2)/2);

a:=Round(Bv/2);

for i:=0 to 30 do
begin
R:=a;
Re1[i].x:=Round(Xk+R*cos((6*i)/57.3));
Re1[i].y:=Round(Yk+R*sin((6*i)/57.3));
end;

for i:=0 to 2*a do
```

```
begin
X:=i-a;
Y:=(L1*Sqrt(Sqr(a)-Sqr(X)))/a;
Re[i].x:=Round(Xn+X);
Re[i].y:=Round(Yn-Y);
s:=i;
end;


for i:=0 to s do ReV[i]:=Re[i];
for i:=s+1 to s+31 do ReV[i]:=Re1[i-s-1];
for i:=s+32 to 120 do ReV[i]:=ReV[s+31];
sv:=s+31;


for i:=0 to sv do
begin
L[i]:=Distn(Xo-ReV[i].x,Yo-ReV[i].y);
Alf[i]:=Pelg(ReV[i].x-Xo,Yo-ReV[i].y);
end;


for i:=0 to sv do
begin
ReV[i].x:=Round(Xo+L[i]*sin((Alf[i]+K)/57.3));
ReV[i].y:=Round(Yo-L[i]*cos((Alf[i]+K)/57.3));
end;


for i:=sv+1 to 120 do ReV[i]:=ReV[sv];


L[1]:=Distn(Xo-Xn,Yo-Yn);
Alf[1]:=Pelg(Xn-Xo,Yo-Yn);
Xn:=Round(Xo+L[1]*sin((Alf[1]+K)/57.3));
Yn:=Round(Yo-L[1]*cos((Alf[1]+K)/57.3));


L[2]:=Distn(Xo-Xk,Yo-Yk);
Alf[2]:=Pelg(Xk-Xo,Yo-Yk);
Xk:=Round(Xo+L[2]*sin((Alf[2]+K)/57.3));
Yk:=Round(Yo-L[2]*cos((Alf[2]+K)/57.3));


Xs:=ReV[36].x; Ys:=ReV[36].y;


if IndBmp=0 then
begin
with Image.Canvas do
begin
if IndV=0 then
```

```
begin
if IndCol=0 then
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(170,120,120));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,220,220));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(110,80,80));
Brush.Color:=TColor(RGB(200,170,170));
end;
end
else
begin
if IndCol=0 then
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(120,120,170));
Brush.Color:=TColor(RGB(200,220,230));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(170,190,200));
end;
end;


Polygon(ReV);
end;
end;


if IndBmp=1 then
begin
with Bmp.Canvas do
begin
if IndV=0 then
begin
if IndCol=0 then
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(170,120,120));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,220,220));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(150,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(200,70,70));
end;
end
else
begin
if IndCol=0 then
```

```
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(120,120,170));
Brush.Color:=TColor(RGB(200,220,230));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(70,90,200));
end;
end;


Polygon(ReV);
end;
end;
end;

procedure ShipA(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndOk,IndLine,IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
Xv,Yv,K1,Xc,Yc,K2 : Integer; V1,V2 : real; IndBmp : byte);

var
i,s,sv : byte;
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then
begin}
with Image.Canvas do
begin

Vsl(Bmp,Image,1,IndCol{0},Lv,Bv,L1,L2,Xv,Yv,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);
Vsl(Bmp,Image,0,IndCol{0},Lv,Bv,L1,L2,Xc,Yc,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
end;
{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;


Image.Canvas.Pen.Width:=1;

end;

procedure Ship3(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
X1,Y1,K1,X2,Y2,K2,X3,Y3,K3 : Integer; V1,V2,V3 : real; IndBmp : byte);
```

```
var
i,s,sv : byte;
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then
begin}
with Image.Canvas do
begin
Vsl(Bmp,Image,1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X2,Y2,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X3,Y3,K3,V3,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
end;
{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;


Image.Canvas.Pen.Width:=1;

end;

procedure Ship4(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
X1,Y1,K1,X2,Y2,K2,X3,Y3,K3,X4,Y4,K4 : Integer; V1,V2,V3,V4 : real; IndBmp : byte);

var
i,s,sv : byte;
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;
X,Y : real;
L,Alf : array[0..120] of real;

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then
begin}
with Image.Canvas do
begin
Vsl(Bmp,Image,1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X2,Y2,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X3,Y3,K3,V3,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X4,Y4,K4,V4,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
end;
```

```
{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;


Image.Canvas.Pen.Width:=1;

end;


procedure Ship5(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
X1,Y1,K1,X2,Y2,K2,X3,Y3,K3,X4,Y4,K4,X5,Y5,K5 : Integer;
V1,V2,V3,V4,V5 : real; IndBmp : byte);

var
i,s,sv : byte;
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then
begin}
with Image.Canvas do
begin
Vsl(Bmp,Image,1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X2,Y2,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X3,Y3,K3,V3,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X4,Y4,K4,V4,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X5,Y5,K5,V5,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
end;
{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;


Image.Canvas.Pen.Width:=1;
end;


procedure DelKSig(Kn,Kk :word{real}; var DK,sgn: Integer);
var
qvotn,qvotk : byte;
Dlk : real;
```

```
begin
if sin(Kn/57.3)>0 then
begin
if cos(Kn/57.3)>0 then qvotn:=1
else qvotn:=2;
end
else
begin
if cos(Kn/57.3)>0 then qvotn:=4
else qvotn:=3;
end;

if sin(Kk/57.3)>0 then
begin
if cos(Kk/57.3)>0 then qvotk:=1
else qvotk:=2;
end
else
begin
if cos(Kk/57.3)>0 then qvotk:=4
else qvotk:=3;
end;

case qvotn of
1:   begin
case qvotk of
1:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
if Dlk>0 then sgn:=1
else sgn:=-1;
end;
2:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end;
3:   begin
if Kk<Kn+180 then
begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end
else
begin
Dlk:=(360-Kk)+Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
end;
4:   begin
```

```
Dlk:=(360-Kk)+Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
end;
end;

2:    begin
case qvotk of
1:   begin
Dlk:=Kn-Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
2:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
if Dlk>0 then sgn:=1
else sgn:=-1;
end;
3:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end;
4:   begin
if Kk<Kn+180 then
begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end
else
begin
Dlk:=(360-Kk)+Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
end;
end;
end;
3:    begin
case qvotk of
1:   begin
if Kk<Kn-180 then
begin
Dlk:=(360-Kn)+Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end
else
begin
```

```
Dlk:=Kn-Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
end;
2:   begin
Dlk:=Kn-Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
3:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
if Dlk>0 then sgn:=1
else sgn:=-1;
end;
4:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end;
end;
end;
4:    begin
case qvotk of
1:   begin
Dlk:=(360-Kn)+Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end;
2:   begin
if Kk<Kn-180 then
begin
Dlk:=(360-Kn)+Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=1;
end
else
begin
Dlk:=Kn-Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
end;
3:   begin
Dlk:=Kn-Kk;
DK:=Round(Abs(Dlk));
sgn:=-1;
end;
4:   begin
Dlk:=Kk-Kn;
DK:=Round(Abs(Dlk));
```

```
if Dlk>0 then sgn:=1
else sgn:=-1;
end;
end;
end;
end;
end;


procedure Traget(ShowBmp : TBitMap; Image1 : TImage; X : word;
                    Tr : byte; cig: Integer);
var
Rd,Grn,Bl: byte;

begin
if cig=1 then
begin
Rd:=10; Grn:=100; Bl:=10;
end
else
begin
Rd:=120; Grn:=10; Bl:=10;
end;

ColorLine(ShowBmp,Image1,X,295,X,280,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);

case Tr of
1 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X-15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X-15,265,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,235,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
end;
2 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X+15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X+15,265,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,235,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
end;
3 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X-15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X-15,265,X-30,260,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X-30,260,X-30,235,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
end;
4 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X+15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X+15,265,X+30,260,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X+30,260,X+30,235,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
end;
end;
end;


procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);  {     CREATE      }
```

```
label 1,2,3;
var
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,K11,K12,gam1,gam2,Nb,Ne: word;
Scale,p,po : real;
StC : string[3];

HoldTyp, Tr,Rd,Grn,Bl : byte;

i,j,k,Ncn,Ncno,No : word;
Xtr,Ytr,Ztr,Xs,Ys,Xcr,Ycr,K2o,K11o,K12o,K21o : Integer;
Gr,Gr1 : Pt;
Grs : Pt1;
Kygr2,Xgr,Ygr,X : word;
{Grn1,Grn2,Grn3,Grn4,Grn5,Grn6,Grn7,Grn8: CPt;}

begin
ShowBmp := TBitMap.Create;
ShowBmp.Width:=800;
ShowBmp.Height:=600;

CargoBmp := TBitMap.Create;
CargoBmp.Width:=800;
CargoBmp.Height:=600;

CopyBmp := TBitMap.Create;
CopyBmp.Width:=540;
CopyBmp.Height:=100;

VBmp := TBitMap.Create;
VBmp.Width:=800;
VBmp.Height:=600;

SBmp := TBitMap.Create;
SBmp.Width:=800;
SBmp.Height:=600;


Nves:=2; IndOK:=0;  IndVes:=1; IndK:=1; IndV:=1; IndA:=1; IndD:=1; IndS:=1;
IndAv:=1; DKm:=360; IndDm:=1; IndKm1:=1; IndKm2:=1; IndKm3:=1; IndSit:=1;
IndShow:=0; t:=0; StopTimer:=0;  ty:=0; IndChen:=-1; IndTr:=1; IndMana:=1;
IndManp:=1; IndCtr:=0; Regim:=1; IndFin:=1; IndGrn:=1;
M:=22100000; myu:=8215; Pm:=517328;
{Bv:=15; L1:=20; L2:=5; Lv:=60;}
{alf:=90; V1:=15; V2:=20; D:=3; Dd:=1.0;} IndBeg:=0; IndManev:=0;
 V1:=25; V2:=15; D:=3; Dd:=1.0;
K1:=95{225}; K2:=120; alf:=130{235};


K1n:=K1; K2n:=K2;
Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;

ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,670,512,RGB(219,217,209),0);
```

```
ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,560,512,RGB(250,255,255),0);

Xt:=280{335}+Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yt:=255-Round(45*D*cos(alf/57.3));
Xvs:=280{335}-Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yvs:=255+Round(45*D*cos(alf/57.3));


ShipA(ShowBmp,Image1,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xvs,Yvs,Round(K1),Xt,Yt,Round(K2),V1,V2,0);


ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xt,Yt,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(5*V1*sin(K1/57.3)),
Yvs-Round(5*V1*cos(K1/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(5*V2*sin(K2/57.3)),
Yt-Round(5*V2*cos(K2/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);


KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);


ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Yvs-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);


{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}

V1:=20; V2:=15; D:={2}5; Dd:=1.0;
K1:={145}160; K2:={115}65; alf:={245}200; cig:=-1; IndTimer:=-1; Nsit:=0;
IndSit:=0; cm:=1; cmk:=1; cmv:=1;

V1:=15; V2:=25; D:=2.5;
K1:=95; K2:=120; alf:=310;

Ky:=K1; Kb:=Cour(K1-cig*30);
DelK:=Cour(K1-K2); p:=V1/V2;

Bv:=7; L1:=6; L2:=3; Lv:=30;

ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,672,512,RGB(230,230,230),0);

ColorRect(ShowBmp,Image1,370,0,670,300,RGB(240,250,255),0);
{ColorRect(ShowBmp,Image1,4,300,156,512,RGB(255,255,250),0);}

{ColorRect(ShowBmp,Image1,160,300,328,512,RGB(250,250,255),0);
ColorRect(ShowBmp,Image1,330,300,498,512,RGB(250,250,255),0);
ColorRect(ShowBmp,Image1,500,300,668,512,RGB(250,250,255),0);}

Xt:=520{335}+Round(20{45}*D*sin(alf/57.3));
Yt:=150-Round(20*D*cos(alf/57.3));
Xvs:=520{335}-Round(20*D*sin(alf/57.3));
Yvs:=150+Round(20*D*cos(alf/57.3));
```

```
{ShipA(ShowBmp,Image1,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xvs,Yvs,
Round(K1),Xt,Yt,Round(K2),V1,V2,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xt,Yt,RGB(100,140,100),1,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(45*sin(K1/57.3)),
Yvs-Round(45*cos(K1/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(45*sin(K2/57.3)),
Yt-Round(45*cos(K2/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);

ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(50*sin(Kot/57.3)),
Yvs-Round(50*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);}


ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,368,255,RGB(240,250,240),0);

Panel3.Visible:=True;
Panel4.Visible:=True;
Panel11.Visible:=True;
Panel12.Visible:=True;

for i:=0 to 36 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,34+9*i,5,34+9*i,235,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 10 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,34,235-23*i,358,235-23*i,RGB(210,210,210),1,0);

po:=0;
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(120,130,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(240,250,240));
for i:=0 to 9 do
begin
Str(i,StC);
TextOut(10,230-23*i,'0. '+StC);
end;

TextOut(10,232-23*10,'1. 0');
TextOut(30,238,'0');
TextOut(348,238,'360');
for i:=1 to 11 do
begin
Str(30*i,StC);
TextOut(27+27*i,238,StC);
end;

for i:=1 to 51 do
```

```
begin
po:=0.02*(i-1);

Ygr:=235-Round(230*po);

DelK1:=45-Arcsin(po*0.7071);
Xgr:=34+Round(1.7*DelK1);
Grn1[i].x:=Xgr; Grn1[i].y:=Ygr;

DelK2:=60-Arcsin(po*0.5);
Xgr:=40+Round(0.9*DelK2);
Grn2[i].x:=Xgr; Grn2[i].y:=Ygr;

DelK3:=Arccos(po);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK3);
Grn3[i].x:=Xgr; Grn3[i].y:=Ygr;

DelK4:=135-Arcsin(po*0.71);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK4);
Grn4[i].x:=Xgr; Grn4[i].y:=Ygr;

DelK5:=225+Arcsin(po*0.71);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK5);
Grn5[i].x:=Xgr; Grn5[i].y:=Ygr;

DelK6:=240+Arcsin(po*0.5);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK6);
Grn6[i].x:=Xgr; Grn6[i].y:=Ygr;

DelK7:=360-Arccos(po);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK7);
Grn7[i].x:=Xgr; Grn7[i].y:=Ygr;

DelK8:=315+Arcsin(po*0.71);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK8);
Grn8[i].x:=Xgr; Grn8[i].y:=Ygr;

end;

PolyLine(Grn1);
PolyLine(Grn2);
PolyLine(Grn3);
PolyLine(Grn4);
PolyLine(Grn5);
PolyLine(Grn6);
PolyLine(Grn7);
PolyLine(Grn8);

Font.Color:=TColor(RGB(170,10,10));
Font.Size:=8;
TextOut(52,217,'Q1');
TextOut(88,217,'Q2');
```

```
TextOut(105,217,'Q3');
TextOut(125,217,'Q4');
TextOut(198,217,'Q5');
TextOut(239,217,'Q6');
TextOut(260,217,'Q7');
TextOut(295,217,'Q8');
TextOut(335,217,'Q1');
end;

ColorRect(ShowBmp,Image1,0,257,368,512,RGB(255,250,250),0);

for i:=0 to 36 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,34+9*i,5+257,34+9*i,235+257,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 10 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,34,235+257-23*i,358,235+257-23*i,RGB(210,210,210),1,0);

po:=0;
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(150,130,120));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,250));
for i:=0 to 9 do
begin
Str(i,StC);
TextOut(10,230+257-23*i,'0. '+StC);
end;

TextOut(10,232+257-23*10,'1. 0');
TextOut(30,238+257,'0');
TextOut(348,238+257,'360');
for i:=1 to 11 do
begin
Str(30*i,StC);
TextOut(27+27*i,238+257,StC);
end;

for i:=1 to 51 do
begin
po:=0.02*(i-1);

Ygr:=235+257-Round(230*po);

DelK1:=45-Arcsin(po*0.7071);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK1);
Grn1[i].x:=Xgr; Grn1[i].y:=Ygr;

DelK2:=90;
Xgr:=34+Round(0.9*DelK2);
Grn2[i].x:=Xgr; Grn2[i].y:=Ygr;
```

```
DelK3:=120-Arcsin(po*0.5);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK3);
Grn3[i].x:=Xgr; Grn3[i].y:=Ygr;

DelK4:=135-Arcsin(po*0.7071);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK4);
Grn4[i].x:=Xgr; Grn4[i].y:=Ygr;

DelK5:=225+Arcsin(po*0.7071);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK5);
Grn5[i].x:=Xgr; Grn5[i].y:=Ygr;

DelK6:=360-Arccos(po);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK6);
Grn6[i].x:=Xgr; Grn6[i].y:=Ygr;

DelK7:=320+Arcsin(po*0.5);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK7);
Grn7[i].x:=Xgr; Grn7[i].y:=Ygr;

DelK8:=315+Arcsin(po*0.7071);
Xgr:=34+Round(0.9*DelK8);
Grn8[i].x:=Xgr; Grn8[i].y:=Ygr;
end;

PolyLine(Grn1);
PolyLine(Grn2);
PolyLine(Grn3);
PolyLine(Grn4);
PolyLine(Grn5);
PolyLine(Grn6);
PolyLine(Grn7);
PolyLine(Grn8);

Font.Color:=TColor(RGB(170,10,10));
Font.Size:=8;

TextOut(49,474,'Q5');
TextOut(92,474,'Q4');
TextOut(121,474,'Q3');
TextOut(143,474,'Q2');
TextOut(188,474,'Q1');
TextOut(255,474,'Q8');
TextOut(294,474,'Q7');
TextOut(315,474,'Q6');
TextOut(340,474,'Q5');
end;


ColorRect(ShowBmp,Image1,368,300,152+368,512,RGB(240,250,240),0);
{ColorRect(ShowBmp,Image1,520,300,672,512,RGB(255,250,250),0);
```

```
ColorRect(ShowBmp,Image1,4,196,156,410,RGB(245,255,250),0);}

for i:=0 to 18 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+364,207+104+10*i,132+364,207+104+10*i,RGB(210,210,21
0),1,0);
for i:=0 to 12 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+364+10*i,207+104,12+364+10*i,387+104,RGB(210,210,210)
,1,0);
for i:=0 to 6 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+364,207+104+30*i,132+364+2,207+104+30*i,RGB(110,110,
110),1,0);
for i:=0 to 4 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+364+30*i,207+104,12+364+30*i,387+104+2,RGB(110,110,1
10),1,0);

ColorRect(ShowBmp,Image1,520,300,672,512,RGB(255,250,250),0);

for i:=0 to 18 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+516,207+104+10*i,132+516,207+104+10*i,RGB(210,210,21
0),1,0);
for i:=0 to 12 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+516+10*i,207+104,12+516+10*i,387+104,RGB(210,210,210)
,1,0);
for i:=0 to 6 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+516,207+104+30*i,132+516+2,207+104+30*i,RGB(110,110,
110),1,0);
for i:=0 to 4 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+516+30*i,207+104,12+516+30*i,387+104+2,RGB(110,110,1
10),1,0);

{X:=565; Tr:=4;

Traget(ShowBmp,Image1,X,Tr,-1);

if cig=1 then
begin
Rd:=10; Grn:=100; Bl:=10;
end
else
begin
Rd:=120; Grn:=10; Bl:=10;
end;

ColorLine(ShowBmp,Image1,X,295,X,280,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);

case Tr of
1 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X-15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X-15,265,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,235,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
   end;
2 : begin
```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X+15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X+15,265,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,235,X,250,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
   end;
3 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X-15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X-15,265,X-30,260,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X-30,260,X-30,235,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
   end;
4 : begin
ColorLine(ShowBmp,Image1,X,280,X+15,265,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X+15,265,X+30,260,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X+30,260,X+30,235,RGB(Rd,Grn,Bl),1,0);
   end;
end;}

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(30,30,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(245,255,250));
for i:=0 to 6 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(120,30,30));
Str(Cour(K1+15*i),StC);
TextOut(134+364,381+104-30*i,StC);
end;
for i:=0 to 4 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,120,150));
Str(Cour(K1+15*i-90),StC);
TextOut(7+364+30*i,393+104,StC);
end;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,250));
for i:=0 to 6 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(120,30,30));
Str(Cour(K1-15*i),StC);
TextOut(134+516,381+104-30*i,StC);
end;
for i:=0 to 4 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,120,150));
Str(Cour(K1+15*i+30),StC);
TextOut(125+516-30*i,393+104,StC);
end;


ShowBmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,670,512),
```

```
Image1.Canvas,Rect(0,0,670,512));


{Kyg:=Cour(K1+cig*90);}
Kb:=Cour(K1-30);
Kyg:=Cour(K1+90);
DelK1:=45-Arcsin(p*0.7071);
DelK2:=60-Arcsin(p*0.5);
DelK3:=Arccos(p);
DelK4:=135-Arcsin(p*0.71);
DelK5:=225+Arcsin(p*0.71);
DelK6:=240+Arcsin(p*0.5);
DelK7:=360-Arccos(p);
DelK8:=315+Arcsin(p*0.71);


if (DelK>=0) and (DelK<DelK1)then Q:=1;
if (DelK>DelK1) and (DelK<DelK2)then Q:=2;
if (DelK>DelK2) and (DelK<DelK3)then Q:=3;
if (DelK>DelK3) and (DelK<DelK4)then Q:=4;
if (DelK>DelK4) and (DelK<DelK5)then Q:=5;
if (DelK>DelK5) and (DelK<DelK6)then Q:=6;
if (DelK>DelK6) and (DelK<DelK7)then Q:=7;
if (DelK>DelK7) and (DelK<DelK8)then Q:=8;
if (DelK>DelK8) and (DelK<=360)then Q:=1;
Qst:=Q;


case Qst of
1: begin
   Panel3.Caption:='Qst = Q1';
   Panel11.Caption:='T1';
   Traget(ShowBmp,Image1,400,1,1);
   end;
2: begin
   Panel3.Caption:='Qst = Q2';
   Panel11.Caption:='T1 T4';
   Traget(ShowBmp,Image1,390,1,1);
   Traget(ShowBmp,Image1,400,4,1);
   end;
3: begin
   Panel3.Caption:='Qst = Q3';
   Panel11.Caption:='T1 T4 T2';
   Traget(ShowBmp,Image1,390,1,1);
   Traget(ShowBmp,Image1,400,4,1);
   Traget(ShowBmp,Image1,440,2,1);
   end;
4: begin
   Panel3.Caption:='Qst = Q4';
   Panel11.Caption:='T4 T2';
   Traget(ShowBmp,Image1,390,4,1);
   Traget(ShowBmp,Image1,430,2,1);
```

```
  end;
5: begin
  Panel3.Caption:='Qst = Q5';
  Panel11.Caption:='T2';
  Traget(ShowBmp,Image1,400,2,1);
  end;
6: begin
  Panel3.Caption:='Qst = Q6';
  Panel11.Caption:='T2 T3';
  Traget(ShowBmp,Image1,390,2,1);
  Traget(ShowBmp,Image1,440,3,1);
  end;
7: begin
  Panel3.Caption:='Qst = Q7';
  Panel11.Caption:='T2 T3 T1';
  Traget(ShowBmp,Image1,390,2,1);
  Traget(ShowBmp,Image1,440,3,1);
  Traget(ShowBmp,Image1,455,1,1);
  end;
8: begin
  Panel3.Caption:='Qst = Q8';
  Panel11.Caption:='T3 T1';
  Traget(ShowBmp,Image1,410,3,1);
  Traget(ShowBmp,Image1,425,1,1);
  end;
end;


if (DelK>DelK1) and (DelK<DelK2)then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr:=Kot-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p);
Xy:=370+364+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190+104-Round((Kot-(K2+180)));
{if (388+104-Round(2*(Kygr-K1)))<492 then}
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+364,388+104-Round(2*(Kygr-K1)),132+364,
388+104-Round(2*(Kygr-K1)),RGB(190,50,50),1,0);
end;
if  (DelK>DelK2)and (DelK<DelK4) then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb-{cig*}i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((Kyg-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132+364-2*i;
Ygr:=388+104-2*(Kygr2-K1);
Pen.Color:=TColor(RGB(10,30,30));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
```

```
end;
end;
end;
if  (DelK>DelK5) and (DelK<DelK7)then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr:=Kot-180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p);
Xy:=370+364+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190+104-Round((Kot-(K2+180)));
{if (388+104-Round(2*(Kygr-K1)))<492 then}
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+364,388+104-Round(2*(Cour(Round(Kygr-K1)))),
132+364,388+104-Round(2*(Cour(Round(Kygr-K1)))),RGB(190,50,50),1,0);
end;
if  (DelK>DelK6) and (DelK<DelK8)then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb-{cig*}i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot+180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((Kyg-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132+364-2*i;
Ygr:=388+104-2*(Cour(Kygr2-K1));
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
end;


DelK1:=45-Arcsin(p*0.7071);
DelK2:=90;
DelK3:=120-Arcsin(p*0.5);
DelK4:=135-Arcsin(p*0.7071);
DelK5:=225+Arcsin(p*0.7071);
DelK6:=360-Arccos(p);
DelK7:=320+Arcsin(p*0.5);
DelK8:=315+Arcsin(p*0.7071);


if (DelK>=0) and (DelK<DelK1)then Q:=5;
if (DelK>DelK1) and (DelK<DelK2)then Q:=4;
if (DelK>DelK2) and (DelK<DelK3)then Q:=3;
if (DelK>DelK3) and (DelK<DelK4)then Q:=2{9};
if (DelK>DelK4) and (DelK<DelK5)then Q:=1;
if (DelK>DelK5) and (DelK<DelK6)then Q:=8{9}{2};
if (DelK>DelK6) and (DelK<DelK7)then Q:=7;
if (DelK>DelK7) and (DelK<DelK8)then Q:=6;
if (DelK>DelK8) and (DelK<=360)then Q:=5;
Qpr:=Q;
```

```
  case Qpr of
5: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q5';
   Panel12.Caption:='T2';
   Traget(ShowBmp,Image1,605,2,-1);
   end;
4: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q4';
   Panel12.Caption:='T4 T2';
   Traget(ShowBmp,Image1,585,4,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,625,2,-1);
   end;
3: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q3';
   Panel12.Caption:='T1 T4 T2';
   Traget(ShowBmp,Image1,585,1,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,595,4,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,635,2,-1);
   end;
2: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q2';
   Panel12.Caption:='T1 T4';
   Traget(ShowBmp,Image1,605,1,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,615,4,-1);
   end;
1: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q1';
   Panel12.Caption:='T1';
   Traget(ShowBmp,Image1,585,1,-1);
   end;
8{9}: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q9';
   Panel12.Caption:='T1 T3';
   Traget(ShowBmp,Image1,595,1,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,635,3,-1);
   end;
7: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q7';
   Panel12.Caption:='T2 T3 T1';
   Traget(ShowBmp,Image1,595,1,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,635,3,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,645,2,-1);
   end;
6: begin
   Panel4.Caption:='Qpr = Q6';
   Panel12.Caption:='T2 T3';
   Traget(ShowBmp,Image1,615,3,-1);
   Traget(ShowBmp,Image1,625,2,-1);
   end;
end;
```

```
Kyg:=Cour(K1-90);
Kb:=Cour(K1+30);


if  (DelK>DelK1) and (DelK<DelK3) then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb+{-cig*}i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot+180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((K1-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132+516-2*i;
Ygr:=388+104-2*Cour(K1-Kygr2);
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
if Ygr>208+104 then
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
end;
if  (DelK>=90) and (DelK<DelK4) then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr:=Round(Cour(Round(Kot+180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
Xy:=370+516+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190+104-Round((Kot-(K2+180)));
{if (388+104-Round(2*(Kygr-K1)))<492 then}
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+516,388+104-Round(2*(K1-Kygr)),132+516,
388+104-Round(2*(K1-Kygr)),RGB(190,50,50),1,0);
end;
if  (DelK>=DelK5) and (DelK<DelK7) then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb+{-cig*}i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot{+180}-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((K1-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132+516-2*i;
Ygr:=388+104-2*Cour(K1-Kygr2);
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
if Ygr>208+104 then
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
end;
if  (DelK>DelK6) and (DelK<DelK8) then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
```

```
Kygr:=Cour(Round(Kot-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p)));
Xy:=370+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190+104-Round((Kot-(K2+180)));
{if (388+104-Round(2*(Kygr-K1)))<492 then}
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+516,388+104-Round(2*(Cour(Round(K1-Kygr)))),
132+516,388+104-Round(2*(Cour(Round(K1-Kygr)))),RGB(190,50,50),1,0);
end;


Kb:=Cour(K1-cig*30);


Xy:=34+Round(0.9*DelK);
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,235));


Yy:=235-Round(230*p);
Pen.Color:=TColor(RGB(210,10,110));
Ellipse(Xy-7,Yy-7,Xy+7,Yy+7);


Yy:=235+257-Round(230*p);
Pen.Color:=TColor(RGB(210,10,110));
Ellipse(Xy-7,Yy-7,Xy+7,Yy+7);
end;


ShipA(ShowBmp,Image1,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xvs,Yvs,
Round(K1),Xt,Yt,Round(K2),V1,V2,0);


ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xt,Yt,RGB(100,140,100),1,0);


ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(45*sin(K1/57.3)),
Yvs-Round(45*cos(K1/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(45*sin(K2/57.3)),
Yt-Round(45*cos(K2/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);


KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);


ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(50*sin(Kot/57.3)),
Yvs-Round(50*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);


ColorLine(ShowBmp,Image1,34+Round(0.9*DelK),0,34+Round(0.9*DelK),512,
RGB(30,80,240),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,34,235-Round(230*p), 360,235-Round(230*p),
RGB(30,130,40),1,0);
```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,34,235+257-Round(230*p), 360,235+257-Round(230*p),
RGB(130,40,40),1,0);
(*ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,560,512,RGB(250,255,255),0);
ColorRect(ShowBmp,Image1,180-20,0,560,380+27,RGB(255,255,255),0);


for i:=0 to 36 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,190+10*i,10,190+10*i,370,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 36 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,190,10+10*i,550,10+10*i,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 12 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,190+30*i,10,190+30*i,375,RGB(150,150,150),1,0);
for i:=0 to 12 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,185,10+30*i,550,10+30*i,RGB(150,150,150),1,0);


ColorLine(ShowBmp,Image1,190,190,550,190,RGB(50,50,50),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,370,10,370,370,RGB(50,50,50),1,0);


V1:=15; V2:=20; p:=V1/V2;
K1:={89}45; K2:=70; cig:=-1;  DelK:=Cour(K1-K2);
Ky:=K1; Kb:=Cour(K1-cig*30);


with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(30,30,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
for i:=0 to 12 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Str(Cour(K2+270-15*i),StC);
TextOut(165,5+30*i,StC);
Font.Color:=TColor(RGB(20,120,150));
Str(Cour(K2+30*i-180),StC);
TextOut(180+30*i,376,StC);
Font.Color:=TColor(RGB(120,30,30));
Str(Cour(30*i-180),StC);
TextOut(180+30*i,390,StC);


end;
for i:=1 to 360 do
begin
K1n:=Cour(K2-180+i);
KRot[i].x:=190+i;
KotVot(Round(K1n),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
KRot[i].y:=190-Round((Kot-(K2+180)));
```

```
{Ellipse(KRot[i].x-1,KRot[i].y-1,KRot[i].x+1,KRot[i].y+1);}
end;
Pen.Width:=2;
PolyLine(KRot);
Pen.Width:=1;
Xo:=370+(K1-K2);
if Xo>550 then Xo:=190+(Xo-550);
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Koto,Vot);
Yo:=190-Round((Koto-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(10,20,250));
Ellipse(Xo-5,Yo-5,Xo+5,Yo+5);
Kyg:=Cour(K1+cig*90);
Xy:=370+(Kyg-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
KotVot(Round(Kyg),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Koty,Vot);
Yy:=190-Round((Koty-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(210,10,10));
Ellipse(Xy-5,Yy-5,Xy+5,Yy+5);
Kbg:=Cour(K1-cig*90);
Xb:=370+(Kbg-K2);
if Xb>550 then Xb:=190+(Xb-550);
KotVot(Round(Kbg),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kotb,Vot);
Yb:=190-Round((Kotb-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(20,120,10));
Ellipse(Xb-5,Yb-5,Xb+5,Yb+5);
Kbog:=Cour(K1-cig*30);
Xbo:=370+(Kbog-K2);
if Xbo>550 then Xbo:=190+(Xbo-550);
KotVot(Round(Kbog),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kotbo,Vot);
Ybo:=190-Round((Kotbo-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(20,120,110));
Ellipse(Xbo-5,Ybo-5,Xbo+5,Ybo+5);


end;
ColorRect(ShowBmp,Image1,170,409,358,510,RGB(255,255,245),0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,174,460,219,460,RGB(50,50,50),1,0);
if cig>0 then ColorLine(ShowBmp,Image1,219,460,264,490,RGB(50,50,50),1,0)
else ColorLine(ShowBmp,Image1,219,460,264,430,RGB(50,50,50),1,0);
if cig>0 then ColorLine(ShowBmp,Image1,264,490,309,460,RGB(50,50,50),1,0)
else ColorLine(ShowBmp,Image1,264,430,309,460,RGB(50,50,50),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,354,460,309,460,RGB(50,50,50),1,0);


ColorRect(ShowBmp,Image1,362,409,550,510,RGB(245,255,250),0);
if sin((Koty-Koto)/57.3)>0 then dely:=1
else dely:=-1;
if sin((Kotb-Koty)/57.3)>0 then delb:=1
else delb:=-1;
if sin((Kotbo-Koty)/57.3)>0 then delbo:=1
else delbo:=-1;
```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,366,460,411,460,RGB(50,50,150),1,0);
if dely>0 then
begin
Ytr1:=475;
if delb>0 then Ytr2:=505
else Ytr2:=460;
end
else
begin
Ytr1:=445;
if delb>0 then Ytr2:=460
else Ytr2:=415;
end;


ColorLine(ShowBmp,Image1,411,460,456,Ytr1,RGB(50,50,150),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,456,Ytr1,501,Ytr2,RGB(50,50,150),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,501,Ytr2,546,Ytr2,RGB(50,50,150),1,0);


ColorRect(ShowBmp,Image1,4,196,156,410,RGB(245,255,250),0);
for i:=0 to 18 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12,207+10*i,132,207+10*i,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 12 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+10*i,207,12+10*i,387,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 6 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12,207+30*i,132+2,207+30*i,RGB(110,110,110),1,0);
for i:=0 to 4 do
ColorLine(ShowBmp,Image1,12+30*i,207,12+30*i,387+2,RGB(110,110,110),1,0);


with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(30,30,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(245,255,250));
for i:=0 to 6 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(120,30,30));
Str(Cour(K1+cig*15*i),StC);
TextOut(134,381-30*i,StC);
end;
for i:=0 to 4 do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,120,150));
if cig>0 then
begin
Str(Cour(K1+15*i-90),StC);
TextOut(7+30*i,393,StC);
```

```
end
else
begin
Str(Cour(K1+15*i+30),StC);
TextOut(125-30*i,393,StC);
end;
end;


if cig>0 then
begin
DelK1:=45-Arcsin(p*0.7071);

DelK2:=60-Arcsin(p*0.5);

DelK4:=135-Arcsin(p*0.71);

DelK5:=225+Arcsin(p*0.71);

DelK6:=240+Arcsin(p*0.5);

DelK7:=360-Arccos(p);

DelK8:=315+Arcsin(p*0.71);

if  (DelK>DelK1) and (DelK<DelK2)then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr:=Kot-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p);
Xy:=370+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190-Round((Kot-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(210,10,110));
Ellipse(Xy-5,Yy-5,Xy+5,Yy+5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,12,388-Round(2*(Kygr-K1)),132,
388-Round(2*(Kygr-K1)),RGB(190,50,50),1,0);
end;
if  (DelK>DelK2)and (DelK<DelK4) then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb-cig*i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((Kyg-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132-2*i;
Ygr:=388-2*(Kygr2-K1);
Pen.Color:=TColor(RGB(10,30,30));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
```

```
end;
if  (DelK>DelK5) and (DelK<DelK7)then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr:=Kot-180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p);
Xy:=370+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190-Round((Kot-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(210,10,110));
Ellipse(Xy-5,Yy-5,Xy+5,Yy+5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,12,388-Round(2*(Cour(Round(Kygr-K1)))),132,
388-Round(2*(Cour(Round(Kygr-K1)))),RGB(190,50,50),1,0);
end;
if  (DelK>DelK6) and (DelK<DelK8)then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb-cig*i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot+180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((Kyg-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132-2*i;
Ygr:=388-2*(Cour(Kygr2-K1));
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
end;
end
else
begin
DelK1:=45-Arcsin(p*0.7071);
DelK2:=90;
DelK3:=120-Arcsin(p*0.5);
DelK4:=135-Arcsin(p*0.7071);
DelK5:=225+Arcsin(p*0.7071);
DelK6:=360-Arccos(p);
DelK7:=320+Arcsin(p*0.5);
DelK8:=315+Arcsin(p*0.7071);


if  (DelK>DelK1) and (DelK<DelK3) then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb-cig*i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot+180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((K1-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132-2*i;
Ygr:=388-2*Cour(K1-Kygr2);
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
if Ygr>208 then
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
end;
if  (DelK>=90) and (DelK<DelK4) then
begin
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr:=Round(Cour(Round(Kot+180+Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
{Kygr:=Kot-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p);}
Xy:=370+Round(Kygr-K2);
if Xy>550 then Xy:=190+(Xy-550);
Yy:=190-Round((Kot-(K2+180)));
Pen.Color:=TColor(RGB(210,10,110));
Ellipse(Xy-5,Yy-5,Xy+5,Yy+5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,12,388-Round(2*(K1-Kygr)),132,
388-Round(2*(K1-Kygr)),RGB(190,50,50),1,0);
end;
if  (DelK>=DelK5) and (DelK<DelK7) then
begin
for i:=0 to 60 do
begin
KotVot(Round(Cour(Kb-cig*i)),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Kygr2:=Round(Cour(Round(Kot{+180}-Arcsin(sin((Kot-K2)/57.3)/p))));
if sin((K1-Kygr2)/57.3)>=0 then
begin
Xgr:=132-2*i;
Ygr:=388-2*Cour(K1-Kygr2);
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(215,250,255));
if Ygr>208 then
Ellipse(Xgr-2,Ygr-2,Xgr+2,Ygr+2);
end;
end;
end;
```