

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Северін Віталій Віталійович

УДК 656.61.052.484

ДИСЕРТАЦІЯ

РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНКИ ЗАЛЕЖНОСТІ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ ВІД ТОЧНОСТІ ПРОВОДКИ СУДНА СТИСЛИМ МАРШРУТОМ

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

_____ Северін В. В.

Науковий керівник к. т. н., доцент Ворохобін І. І.

Одеса – 2019

АНОТАЦІЯ

Северін В. В. Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом. – 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.

Аналіз основних аспектів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння потребував проведення огляду відповідних літературних джерел. В результаті аналізу було встановлено, що до основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння належать моделювання руху суден при плаванні в стислих районах, що сприяє їх більш ефективному і безпечному судноводінню, розробка сучасних методів попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання та оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах і забезпечення точності контролю місця судна.

В результаті аналізу було встановлено, що актуальним напрямом рішення вказаної проблеми є розробка методів оперативної оцінки безпеки судноводіння в стислих умовах плавання з урахуванням поточних параметрів навігаційної ситуації. Проведено обґрунтування основного напрямку дисертаційного дослідження, яке передбачає розробку способу апіорної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна стислим маршрутом.

Об'єктом дослідження є процес руху судна, а предметом дослідження є проводки судна в стислих водах.

Технологічна карта дослідження являє собою методологічну структуру

дисертації та її методологічне забезпечення. Сформульовано основні напрями дослідження та його тема.

В приведеній технологічній карті викладені мета і головна задача дисертаційного дослідження, яка розділена на декілька незалежних складових задач. Визначена робоча гіпотеза наукового дисертаційного дослідження та відзначено, що в процесі рішення задач роботи отримані наукові результати дисертаційної роботи які одержані вперше та мають наукову новизну.

Можливість впровадження практичних рекомендацій дисертаційної роботи обумовлюють практичну цінність і значущість дисертаційного дослідження, в технологічній карті також приведено формулювання основного наукового положення дисертаційної роботи.

В стислій методиці викладено етапи рішення складових допоміжних задач дисертаційної роботи, в ній описані основні кроки виконання наукового дослідження по темі дисертації. В ній передбачено поряд з сучасними методами аналітичного аналізу проведення імітаційного комп'ютерного моделювання, що підтверджує коректність одержаних теоретичних результатів.

В роботі представлено математичну модель оцінки вірогідності безпечного плавання судна в обмежених умовах з урахуванням характеристик району плавання і застосуванням двовимірної щільності позиційної похибки. Показано, що середнє значення вірогідності безпечного плавання з урахуванням частоти перебування суден в обмежених районах визначає інтенсивність потоку аварійних випадків внаслідок посадок на мілину.

Розглянуто альтернативний спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання за допомогою одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху судна в обмеженому районі. Одержаний в роботі вираз для вірогідності безпечного плавання враховує характеристику обмеженості району плавання, яка визначається безпечною об-

ластю плавання. Введено поняття зміщеності програмної траєкторії плавання і показано її вплив на оцінку безпеки судноводіння.

Показана залежність вірогідності безпечного плавання від закону розподілу похибок бічного відхилення, причому розглянуті нормальний закон, два типи змішаних законів розподілу і узагальнений закон Пуасону.

У завершення третього розділу показано перетворення векторіальної позиційної похибки в похибку бічного відхилення і отримано залежність одновимірної щільності похибки бічного відхилення від двовимірної щільності векторіальної позиційної похибки.

З метою оцінки вірогідності безаварійної проводки судна в заданому стислому районі розроблені процедури формалізації основних його параметрів. Одержано аналітичні вирази для оцінки обмеженості і зміщеності маршруту, заданого масивами точок безпечних меж і програмної траєкторії руху судна. Отримані процедури реалізовані в комп'ютерній програмі і приведені два приклади маршрутів, для яких за допомогою програми визначені необхідні характеристики.

Розглянуто вплив законів розподілу похибки бічного відхилення на вірогідність безпечної проводки судна стислим маршрутом. Показано, що вірогідність безпечної проводки зменшується із збільшенням дисперсії похибки бічного відхилення і збільшується із зростанням істотного параметра змішаних законів розподілу.

Для реалізації запропонованого способу оцінки вірогідності безаварійної проводки судна заданим маршрутом в стислих водах, яка використовує модель одновимірної щільності похибки бічного відхилення і одновимірні характеристики маршруту проводки, була розроблена комп'ютерна програма.

Програма передбачає три варіанти завдання маршруту проводки судна, перший з яких дозволяє використовувати один з п'яти стандартних маршрутів, що знаходяться в базі даних програми. Два інших варіанти передбачають інтерактивне формування маршруту проводки введенням масиву точок зламу

меж безпечної області і програмної траєкторії руху судна. Причому один з варіантів формування маршруту проводки передбачає використання електронної карти. По завершенню формування маршруту проводки судна проводиться розрахунок його характеристик, вибирається закон розподілу похибки бічного відхилення і задається точність контролю місця судна по бічному відхиленню. З урахуванням вказаних чинників розраховується оцінка вірогідності безпечної проводки судна завданням маршрутом.

За допомогою імітаційного моделювання проведено порівняння двовимірної і одновимірної моделей оцінки вірогідності проводки судна заданим маршрутом, в результаті якого одержаний висновок про ідентичність моделей, оскільки відмінність вірогідності, одержана з їх допомогою, складає не більш 0,3%. Тому в роботі приведена комп'ютерна програма оцінки вірогідності безпечної проводки, яка розроблена на моделі одновимірної щільності розподілу вірогідності бічного відхилення.

На завершення роботи приведено опис формування завданого маршруту за допомогою електронної карти. У базі даних комп'ютерної програми є чотири растрові електронні карти, за допомогою яких показана можливість формування маршруту проводки судна в конкретних районах його плавання з урахуванням реальної картографічної інформації, приведеної на електронній карті. Показана процедура оцінки вірогідності безпечної проводки судна сформованим маршрутом з урахуванням точності визначення бічного відхилення судна і закону розподілу його похибки.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в створенні нового методу апріорної оцінки безпечного судноводіння в залежності від точності проводки судна стислим маршрутом, який реалізований в комп'ютерній програмі, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано процедуру формалізації задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим районом;
- вперше запропоновано спосіб урахування впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного плавання судна;
- вперше розроблено спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

Практичне значення отриманих в дисертації результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками навігаційних інформаційних систем.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 05.09.2018 р.), компанією «СМА SHIPS» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт впровадження від 09.09. 2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі управління судном при викладанні дисципліни «Маневрування і управління судном» (акт від 17.09.2018 р.).

Ключові слова: безпека судноводіння, навігаційна аварійність, векторіальна позиційна похибка, двомірна щільність розподілу позиційної похибки, вірогідність безпечної провідки судна, імітаційне моделювання.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

Основні наукові результати дисертації.

1. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак, В.В. Северин – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. - 239 с.

2. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе/ И.И.Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 40-47.

3. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 34 – 39.

4. Северин В.В. Стохастическая характеристика бокового отклонения судна при проводке по заданному маршруту / В.В. Северин , Ю.В. Казак // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ"ОМА". – С. 92 – 96.

5. Казак Ю.В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / Ю.В. Казак, В.В. Северин // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ"ОМА". – С. 37 – 43.

6. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 56 - 59.

7. Ворохобин И.И. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 71 – 76.

8. Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом/ В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28.– Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 196 – 201.

9. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной погрешности поворота судна / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 3 (84). – С. 65 - 69.

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

11. Астайкин Д.В. Сравнение способов оценки безопасности плавания в стесненных районах / Д.В.Астайкин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 31-39.

12. Казак Ю.В. Опеделение величины векториальной погрешности поворота судна / Ю.В. Казак, В.В. Северин // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-37.

13. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / В.В. Северин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. - С. 94 -98.

14. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014.- № 4 . - С. 119 - 126.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

15. Ворохобин И.И. Определение вероятности обеспечения безаварийного плавания судов в стесненных районах / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 18-19 листопада 2014, Одеса. – С. 160-162.

16. Ворохобин И.И. Определение закона распределения бокового отклонения судна / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 19-20 листопада 2015, Одеса. – С. 117-119.

17. Ворохобин И.И. Связь плотности погрешности бокового отклонения с плотностью векториальной позиционной погрешности/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 58–59.

18. Северин В.В. Оценка вероятности проводки судна стесненным маршрутом альтернативными моделями / В.В. Северин // Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 119 - 121.

19. Ворохобин И.И. Формирование процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных районах/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы VII Международной научно-методологической конференции „Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)”, - 26-28 травня 2015, Херсон. – С. 99-102.

20. Северин В.В. Определение закона распределения бокового отклонения судна / В.В. Северин, Ю.В. Казак// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 139–142.

21. Северин В.В. Характеристики допустимой области плавания судна в стесненном районе/ В.В. Северин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 133–136.

22. Ворохобин И.И. Векториальная погрешность и ее плотность распределения / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции с международным участием. 17-18 мая 2017 г., Николаев, НУК, 2017,- С. 25 – 27.

ANNOTATION

Severin V. V. Development method of evaluation of dependence of safe navigation from exactness of navigating the ship by the constrained route. It is Qualifying scientific work on rights of manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences by specialty 05.22.13 - navigation and traffic control. It is the National University "Odessa marine academy", Odessa, 2019.

The analysis of basic aspects of decision of problem of decline accidents rate in navigation by providing of safe navigation needed to conducting of review of the proper literary sources. It was set because of analysis, that the models of motion of ships at sailing in the constrained waters belong to basic directions of decision of problem providing the safety of navigation. That is instrumental in their more effective and safe navigation, development of modern methods of prevention of collisions of ships in the off-shore waters of sailing and estimation of safety in navigation in the compressed terms and providing exactness of control of positioning ship.

It was set as a result of analysis, that development of methods of operative estimation of safe navigation in the compressed terms of sailing taking into account the current parameters of navigation situation is actual direction of decision of the indicated problem. It is conducted straight basic dissertation research, which foresees development of method of a priori estimation of safety of navigation taking into account exactness of wiring of ship by the compressed route.

The process of navigation is a research object, and the methods of ship's safe navigation in constrained waters is the article of research.

The technological card of research is the methodological structure and methodological providing of dissertation. It is formulated basic directions of research and his theme.

A purpose and main task of dissertation research, which is parted on a three independent component tasks, is laid out in the resulted technological card. Certain working hypothesis of scientific dissertation research and it is marked that in the process of decision of tasks of work the got scientific dissertation work performances which are got first and is had a scientific novelty.

Stipulate possibility of introduction of practical recommendations of dissertation work practical value and meaningfulness of dissertation research, formulation of substantive scientific provision of dissertation work is also resulted in a technological card.

The stages of decision of component tasks of dissertation work are laid out in the compressed method, in her the described basic steps of implementation of scientific research on the theme of dissertation. In her it is foreseen next to the modern methods of analytical analysis of conducting of imitation computer design, which confirms correctness of the got theoretical results.

In work the mathematical model of estimation of authenticity of the safe navigating of the ship is represented in the limited terms taking into account descriptions of area of sailing and application of closeness of positioning error. It is shown that the mean value of authenticity of the safe sailing taking into account frequency of stay of vessels in the limited districts determines intensity of stream of emergency cases as a result of landings on shoal.

The alternative method of estimation of authenticity of the safe sailing is considered by the closeness of distributing of error of lateral declination of ship in relation to the programmatic trajectory of motion of ship in the limited district. The expression got in work for authenticity of the safe sailing takes into account description of narrow-mindedness of district of sailing, which is determined by the

safe region of sailing. The concept of movement programmatic trajectory of sailing is entered and shown its influence on estimation of safety of navigation.

It was shown dependence of authenticity of the safe sailing on the law of distributing of errors of lateral declination, thus considered normal law, two types of the mixed laws of distributing and generalized law Puasson.

In completion of the third section transformation of vector's position error was shown in the error of lateral declination and collected dependence of closeness of error of lateral deviation from the closeness of vector's position error.

With the purpose of estimation of authenticity of the accident-free navigation of ship in the set compressed district the developed procedures of formalization of basic his parameters. Analytical expressions are got for estimation of narrow-mindedness and route set by the arrays of points of safe scopes and programmatic trajectory of motion of ship. The got procedures are realized in the computer program and resulted two examples of routes, for which by the program certain necessary descriptions.

Influencing of laws of distributing of error of lateral declination on authenticity of the safe navigation of ship is considered the constrained route. It is shown that authenticity of the safe wiring diminishes with the increase of dispersion of error of lateral declination and is increased with growth of substantial parameter of the mixed laws of distributing.

For realization of the offered method of estimation of authenticity of the accident-free wiring of ship by the set route in the constrained waters, which uses the model of closeness of error of lateral declination and descriptions of route navigating, the computer program was developed.

The program foresees three variants of task of route of ship's navigation, first from which allows to use one of five standard routes which are in the database program. Two other variants foresee the interactive forming of route ship's navigated by introduction of array of points of fracture of scopes of safe region and programmatic trajectory of motion of ship. Thus one of variants of forming of

route of navigation foresees the use of electronic chart. After completion of forming of route ship's navigation the calculation of his descriptions is conducted, the law of distributing of error of lateral declination gets out and exactness of control of place of ship on lateral declination is set. Taking into account the indicated factors estimation of authenticity of the safe ship's navigation settles accounts by the inflicted route.

By the imitation modeling comparison of two-dimension and one-dimension models of estimation of authenticity of ship's navigation is conducted by the set route, as a result of which the got conclusion about the identity of models, as the difference of authenticity, got with their help, makes no more 0,3%. Therefore in work the resulted computer program of estimation of authenticity of the safe ship's navigation which is developed on the model of one-dimension closeness of distributing of authenticity of lateral declination.

Upon completion of work description of forming of the inflicted route is resulted by an electronic chart. There are four raster electronic charts in the database of the computer program, by which the shown possibility of forming of route of ship's navigation in the concrete districts of his sailing taking into account the real cartographic information resulted on an electronic chart. Shown procedure of estimation of authenticity of the safe ship's navigation by the formed route taking into account exactness of determination of lateral declination of ship and law of distributing of his error.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in creation of a new method of a priori estimation of safe navigation depending on exactness of ship's navigation by the constrained route, which is realized in the computer program and is differed by determination of authenticity of the accident-free sailing by the imitation modeling with the help of electronic chart.

In dissertation work:

- procedure of formalization of parameters of task of estimation of authenticity of the accident-free sailing of ship is first got the constrained waters;

- the method of account of influencing of law of distributing of error of lateral or sideway declination is first offered on authenticity of the safe sailing of ship;
- the method of estimation of authenticity of the safe navigation by the imitation modeling is first developed with the help of electronic chart.

The practical value of the results got in dissertation consists in that they can be used on ships for determination of unconcern of route and also developers of the navigation informations systems.

The practical results of dissertation research are inculcated by private higher educational establishment «Institute of after graduation education» the «Odessa marine trainer center» for preparation of navigators (act of introduction from 05.09.2018), by the «CMA SHIPS company» for retraining of navigators of company (act of introduction from 09.09.2018). Materials of dissertation research are used in an educational process on the department of ship handling at teaching of discipline of «Maneuvering and ship handling» (act from 17.09.2018).

Keywords: safety of navigation, navigation accident rate, vector`s position error, closeness of distributing of positioning error, authenticity of the safe navigation of ship, imitation modeling.

The basic researcher`s results of dissertation are published in the following scientific works:

Basic scientific results of dissertation.

1. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак, В.В. Северин – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. – 239 с.
2. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе/ И.И.Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 40-47.
3. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 34 – 39.
4. Северин В.В. Стохастическая характеристика бокового отклонения судна при проводке по заданному маршруту / В.В. Северин , Ю.В. Казак // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ"ОМА". – С. 92 – 96.
5. Казак Ю.В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / Ю.В. Казак, В.В. Северин // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ"ОМА". – С. 37 – 43.
6. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 56 - 59.
7. Ворохобин И.И. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 71 – 76.

8. Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом/ В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 196 – 201.

9. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной погрешности поворота судна / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 3 (84). – С. 65 - 69.

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

11. Астайкин Д.В. Сравнение способов оценки безопасности плавания в стесненных районах / Д.В.Астайкин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 31-39.

12. Казак Ю.В. Опеделение величины векториальной погрешности поворота судна / Ю.В. Казак, В.В. Северин // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-37.

13. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / В.В. Северин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. - С. 94 -98.

14. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014.- № 4 . - С. 119 - 126.

Publications wich certify approbation of materials of dissertation.

15. Ворохобин И.И. Определение вероятности обеспечения безаварийного плавания судов в стесненных районах / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 18-19 листопада 2014, Одеса. – С. 160-162.

16. Ворохобин И.И. Определение закона распределения бокового отклонения судна / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 19-20 листопада 2015, Одеса. – С. 117-119.

17. Ворохобин И.И. Связь плотности погрешности бокового отклонения с плотностью векториальной позиционной погрешности/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 58–59.

18. Северин В.В. Оценка вероятности проводки судна стесненным маршрутом альтернативными моделями / В.В. Северин // Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 119 - 121.

19. Ворохобин И.И. Формирование процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных районах/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы VII Международной научно-методологической конференции „Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)”, - 26-28 травня 2015, Херсон. – С. 99-102.

20. Северин В.В. Определение закона распределения бокового отклонения судна / В.В. Северин, Ю.В. Казак// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 139–142.

21. Северин В.В. Характеристики допустимой области плавания судна в стесненном районе/ В.В. Северин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 133–136.

22. Ворохобин И.И. Векториальная погрешность и ее плотность распределения / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции с международным участием. 17-18 мая 2017 г., Николаев, НУК, 2017,- С. 25 – 27.

ЗМІСТ

Стр.

ВСТУП.....	23
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ.....	28
1.1. Аналіз літературних джерел по проблемі забезпечення без аварійного плавання суден.....	28
1.2. Обґрунтування напрямку дисертаційного дослідження.....	40
1.3. Висновки за першим розділом.....	41
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	42
2.1. Вибір тематики дисертаційного дослідження.....	42
2.2. Аналіз методів дослідження дисертації.....	44
2.3. Стислий опис методики проведення дослідження.....	48
2.4. Висновки за другим розділом.....	50
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ БЕЗАВАРІЙНОГО ПЛАВАННЯ СУДНА В СТИСЛИХ УМОВАХ	52
3.1. Математична модель визначення вірогідності безпечного плавання з урахуванням характеристик району плавання і двовимірної щільності позиційної похибки.....	52
3.2. Альтернативний спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання за допомогою одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна.....	72
3.3. Перетворення двовимірної щільності позиційної похибки судна в	

одновимірну щільність похибки його бічного відхилення.....	87
3.4. Висновки за третім розділом.....	92
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОЦЕДУР ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПРОХОДЖЕННЯ СТИСЛОГО МАРШРУТУ.....	93
4.1. Процедура формалізації основних параметрів для оцінки вірогід- ності безаварійного плавання судна в заданому обмеженому райо- ні.....	93
4.2 Вплив закону розподілу похибки бічного відхилення на вірогід- ність безпечного проходження судном обмеженого маршруту.....	113
4.3. Висновки за четвертим розділом.....	133
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ БЕЗПЕЧНОГО ПЛАВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	134
5.1. Опис імітаційної комп'ютерної програми.....	134
5.2. Використання імітаційного моделювання для порівняння двови- мірної і одновимірної моделей оцінки вірогідності провідки судна завданим маршрутом.....	153
5.3. Формування заданого маршруту за допомогою електронної карти.....	164
5.4. Висновки за п'ятим розділом.....	174
ВИСНОВКИ.....	176
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	178
ДОДАТОК А. Частина коду програми для оцінки безпеки судноводін- ня.....	190

ДОДАТОК В. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію
результатів дисертації.....253

ДОДАТОК С. Акти упровадження результатів дисертації.....258

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення безаварійного судноводіння веде до зниження шкоди людському життю та навколишньому середовищу.

Навігаційні перешкоди разом з інтенсивним судноплаством сприяють виникненню аварійних ситуацій, що значно ускладнює плавання суден в стислих водах. Найбільший вплив на навігаційну небезпеку суднопластва в стислих водах мають векторіальні позиційні похибки та траєкторні похибки управління судном.

Векторіальна позиційна похибка залежить від точності визначення позиції судна, яка характеризується її коваріаційною матрицею і має домінуючий вплив на вірогідність безпечної проводки судна стислим маршрутом. Для мінімізації ризику виникнення аварійної ситуації потрібна розробка способу апріорної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна в стислому районі, яким доцільно користуватися на етапі планування переходу судна.

Тому розробка способу мінімізації ризику аварії при плаванні судна в стислих районах, є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання роботи проводилось згідно з положеннями рішення Ради національної безпеки і оборони України «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (№0008525-р від 28.04.2014), Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (№ 430-р від 30 травня 2018 р.), Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (Кабінету Міністрів України №2174-р від 20.10.2010 р.), «Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020»», а також робота виконувалась в рамках наукових досліджень національного університету «Одеська морська академія» за темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання»

№ ДР 0115U003580(2017), в якій здобувачем виконано окремий підрозділ

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження являється зниження впливу суттєвих параметрів, які сприяють виникненню аварійності, через розробку методики кількісної оцінки безпеки судноводіння.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийняте допущення про існування можливості підвищення безпеки судноводіння шляхом вибору безпечної траєкторії в межах стислого маршруту.

Головною задачею дослідження є розробка програми кількісної оцінки безпеки судноводіння адаптованою до ECDIS з урахуванням точності проводки судна на стислому маршруті. Для рішення головної задачі дисертації вирішувались наступні допоміжні задачі:

- ідентифікація та формалізація моделі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна у стислому районі;
- дослідження впливу законів розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту;
- розробка розрахункової схеми імітаційного моделювання та засобу оцінки вірогідності безпечного плавання у координатному середовищі ECDIS.

Об'єктом дослідження дисертації є процес руху судна.

Предметом дослідження є процес проводки судна в стислих водах.

Методи дослідження. Для рішення поставлених задач у дисертаційному дослідженні були застосовані наступні методи:

- дедукції для аналізу літературних джерел з метою визначення основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння;
- системного аналізу для формування методологічного забезпечення наукового дослідження та вибору тематики дисертації;
- математичного аналізу для пошуку рішення необхідних аналітичних залежностей;
- теорії вірогідностей та математичної статистики для опису характеристик випадкових векторіальних похибок і визначення вірогідності безаварійного плавання судна в заданому стислому районі.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні комп'ютерної програми кількісної оцінки безпечного судноводіння шляхом моделювання руху у координатному середовищі НІС з ECDIS, яка залежить від точності проводки судна стислим маршрутом, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання з необхідними умовами присутності функціонального обладнання ECDIS та достатніми умовами володіння статистики кількісної векторіальної похибки аварійності у заданому районі.

У дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати:

- знайшла подальший розвиток формалізована модель руху судна першого порядку для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим районом;
- визначено способи урахування впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного плавання судна, в залежності від обмежень маршруту;
- створено імітаційний спосіб кількісної оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою комп'ютерною програмою, реалізованої у координатному середовищі на електронній карті.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що алгоритми, програми, методики можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками навігаційних інформаційних систем.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 05.09.2018р.), компанією «СМА SHIPS» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт впровадження від 09.09.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі управління судном при викладанні дисципліни «Маневрування і управління судном» (акт від 17.09.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Здобувач виконав дисертаційну роботу самостійно: аналізуючи літературні джерела, він провів інформаційний пошук, результатом якого стало визначення основних аспектів проблеми забезпечення безаварійності судноводіння, ним обґрунтовано методологічне забезпечення наукового дослідження, він запропонував процедуру формалізації параметрів задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим районом, а також розробив необхідні алгоритми для формування комп'ютерної системи оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти, ним впроваджені результати дисертаційної роботи в виробничий процес. В дисертації використані лише ті положення наукових праць, опублікованих ним у співавторстві, які належать автору особисто: порівняння способів оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в стислих водах [64, 65, 74], питання щодо формування кількісної характеристики безпеки судноводіння [66, 77], стохастичний опис бокового відхилення судна при плаванні завданим маршрутом [67, 73, 79], оцінка векторіальної похибки [68, 72, 75], вираз щільності розподілу похибки бокового відхилення [69], залежність між одномірною і двомірною векторіальною похибками [70], визначення вірогідності безаварійного плавання судна в стислих водах [78, 82], залежність між одномірною щільністю похибки розподілу і двомірною щільністю векторіальної позиційної похибки [80], визначення похибки бокового відхилення [83], характеристика векторіальної позиційної похибки та її формалізація [85].

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

VI Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)» (Херсон, 26-28 травня 2015 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-

26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), науково-методологічна конференція „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні” (Одеса, 18-19 листопада 2014 р.), науково-методологічна конференція „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні” (Одеса, 19-20 листопада 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека » (Одеса, 16-17 листопада 2016 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 22 наукові праці (з них 5 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 8 наукових статей [65 - 71, 77]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [72 – 74, 76] та монографія [64]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 9 доповідей [75, 78 - 85].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (102 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 261 сторінку і містить 97 рисунків та 7 таблиць, зокрема: 177 сторінки основного тексту, 12 сторінок списку використаних джерел, 72 сторінки додатків.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ.

1.1. Аналіз літературних джерел по проблемі забезпечення безаварійного плавання суден.

Як показав аналіз літературних джерел, актуальними напрямками вирішення проблеми забезпечення безаварійного плавання суден є:

1. Розробка заходів підвищення точності визначення координат судна за рахунок їх максимальної ефективності та формування способу кількісної оцінки безпеки судноводіння в стислому районі.

2. Застосування сучасних інформаційно-керуючих технологій і методів забезпечення безпеки судноводіння.

Ряд робіт [1 - 8] присвячено визначенню розмірів безпечної області судна різної форми з урахуванням істотних стохастичних і детермінованих чинників і розробці процедури вибору оптимальної форми безпечної області.

Показано, що до детермінованих чинників відносяться розміри суден, що зближаються, явище присмоктування та запас відстані на форс-мажорні обставини. Основним стохастичним чинником, який впливає на розміри безпечної області судна, являє собою двовимірну щільність векторіальної позиційної похибки, тобто тип її закону розподілу та значення його параметрів.

В роботах, що характеризуються, розглянуто до десяти форм безпечної області судна в першу чергу розглянуті кругова форма, область в вигляді еліпсу, прямокутника та напівкругу - напівеліпсу.

В роботах [9-13] розглянуто питання забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання і можливі напрями її підвищення.

В статті [9] повідомляється, що протягом декількох років розроблялася модель оцінки ризику аварії з метою визначення рівня безпеки судноплавства в заданому районі. При цьому враховується існуюча система управління судноплавством і вплив на безпеку мореплавання планованих заходів (нових засобів навігації, схем розділення руху суден і ін.). При розробці такої моделі оцінки були використані систематичні, методологічні і кількісні підходи для певного району плавання, які характеризуються запропонованими індексами.

Такий індекс може використовуватися і в реальному масштабі часу Управлінням Судноплавства для моніторингу процесу судноплавства в певному районі, а також сприяти виявленню "підозрілих суден". У роботі описуються загальні принципи, закладені в моделі оцінки ризику, формування бази початкових даних і методи їх збору. Приведені опис розробленої в Нідерландах останніми роками моделі SAMSON і рекомендації за призначенням динамічного індексу ризику для певних типів суден, виходячи з розглянутої моделі.

Німецьке навігаційне об'єднання (DNV) сумісно з аналогічними організаціями з країн Північної Європи, як вказується в роботі [10], розробляють концепцію безпечного судноплавства, що враховує зростання інтенсивності руху суден на водних магістралях, в основу якої встановлені вимоги по забезпеченню безпеки, як на борту судна, так і в процесі плавання. Наголошується значний вплив людського чинника на безпеку мореплавання. Виконані спостереження за фактичним судноплавством. З урахуванням перспективного розвитку порту в майбутньому планується розробка ряду нових систем судноплавства і оптимізації руху, які базуються на нових методах математичної апроксимації максимуму в умовах невизначеності.

У публікації [11] проведено аналіз проблеми безпеки судноплавства в околицях порту Xiamen (Китай) за допомогою вивчення морських аварій в цьому районі плавання за останні 10 років. Виконаний аналіз небезпек виявив

основні потенційні ризики, які можуть трапитися в цьому районі, на підставі чого запропоновані заходи, що стосуються управління безпекою.

Робота [12] присвячена розгляду сучасних методів забезпечення безпечного судноплавства на морських і внутрішніх водних шляхах. У ній висвітлюються проблеми оцінки навігаційної безпеки, керованості суден, підготовки членів екіпажів, запобігання аваріям та ін.

Як наголошується в статті [13], в прибережних зонах Японії, важливо встановити вплив на навколишнє оточення споруд, які знаходяться в районі морського судноплавства. Розглядається система "людина - машина", що враховує зовнішні чинники і характеризується ментальним навантаженням на судноводія, який приймає рішення для забезпечення безпеки судноплавства. Тому виникає необхідність розробки моделі поведінки судноводія, для чого в роботі пропонується використати концепцію маневрування в заданому просторі і розробки плану дій при виникненні вірогідності аварії. План включає вибір курсу ухилення судна, оцінку вірогідності зіткнення і розрахунок параметрів маневру для попередження зіткнення. При цьому вимагається виключити посадку судна на мілину при обмежених глибинах і врахувати зміну ситуації при раптовій появі або зникненні інших суден.

У роботі пропонується використовувати індекс небезпеки для оцінки небезпеки різних об'єктів в районі плавання судна, який корисний для усунення суб'єктивної думки судноводія. Така система є ефективним засобом запобігання зіткненням суден.

У публікаціях [14, 15] розглянуто питання забезпечення безпеки судноводіння в обмежених районах шляхом оптимального навігаційного устаткування таких районів.

Аспекту точності контролю місця судна в стислих умовах присвячені роботи [16-52].

Статті [16 - 18] присвячені питанням забезпечення високої точності плавання суден в стислих районах методами кореляційної навігації, в яких використовується радіолокаційне зображення навколишньої ситуації і відповідне зображення на електронній карті, причому досягається максимальне співпадіння згаданих зображень.

Методика підготовки бібліотеки маршрутів пропонується в роботі [19]. Вона дозволяє створити маршрут плавання і дає можливість судноводію контролювати поточне положення судна щодо заданого з високою точністю, забезпечуваною диференціальною підсистемою без використання електронних карт.

Аналітичні вирази для оцінки вірогідності навігаційної безпеки плавання за наявності різноточних корельованих похибок положення меж фарватеру одержані в роботі [20]. Достовірність отриманих залежностей доведена методом статистичного моделювання.

У роботі [21] розглянуто задачу позицінування судна в заданому положенні при нагоді управління тільки за даними сигналів про момент рискання і силу подовжнього зносу. Для вирішення вказаної задачі в роботі запропоновано метод управління, що змінюється в часі, із зворотним зв'язком, причому враховується складова управляючої дії, залежна від інтегралу.

Результати дослідження можливості стохастичної характеристики систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого розподілу Пуассона з базовим нормальним розподілом приведені в роботі [22]. Показано, що систему залежних випадкових величин, які розподілені по узагальненому закону Пуассону, можливо перетворити в систему незалежних випадкових величин за допомогою ортогональної матриці перетворення.

Стратегія формування радіонавігаційного поля на території РФ викладена в публікації [23]. Враховується комплекс обмежень, визначуваних міжнародними вимогами, перш за все ІМО, значною протяжністю і вельми істот-

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

Дослідження похибок вимірювань навігаційних параметрів розглянуті в роботах [24, 25], які зробили значний внесок в рішення проблеми підвищення точності контролю місця судна, в першу чергу, розробкою теоретичних методів зниження впливу систематичних і випадкових похибок вимірювань на точність обсервацій, а в роботі [26] показана залежність між точністю і надійністю навігації.

На базі теоретичних розробок і їх постановок за вимогами ІМО по точності судноводіння в роботі [27] пропонуються розрахункові методи визначення значень допустимих величин середніх квадратичних похибок навігаційних параметрів для забезпечення безпеки плавання в різних зонах руху.

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

Як указується в роботі [29], для входу судна в гавань, розташовану на відкритому морському узбережжі, в штормових умовах існують обмеження. При сильному хвилюванні судно, що входить в гавань, може мати небезпечні зсуви щодо планованої траєкторії, що може привести до зіткнення судна з хвилеломом. На базі виконаних натурних досліджень траєкторій руху судна розроблені індекси, що оцінюють безпеку входу.

У роботі [30] показано, що диференціальні методи коректують похибки у визначенні місцеположення за системою GPS, проте поправки можуть виявитися недостатніми з часом і із збільшенням відстані користувача системи від станції нульового відліку. Показано, що похибки зростають при збільшенні відстані навігаційного приймача системи DGPS від базової станції, причому похибка складає 1 м на кожні 150 км відстані від базової станції. Щоб оціни-

ти реальну похибку приймача шість таких приймачів були розміщені уздовж португальського узбережжя через 50 миль на північ і південь від станції відліку Sagres Broadcast Station. Одержані дані показали, що реальна похибка позицінування складає 0,22 м на кожні 100 км відстані від станції відліку, що менше теоретичного значення. Помилки в позицінуванні можуть бути вищими в портах за відсутності прямої видимості супутника.

При проектуванні відбійних пристроїв для установки на биках великих мостів, розташованих над фарватерами з інтенсивним судноплавством, як указується в статті [31], необхідно враховувати вірогідність зіткнення суден з биками.

У роботі [32] представлені результати дослідження можливості застосування початкових поправок станції Dziwnow в районі порту Щецин при використанні радіонавігаційної системи DGPS, яке показало доцільність використання таких поправок. У роботі також вказано, що вимірювання, які були проведені під час досліджень, і одержані результати сприятимуть ширшому застосуванню системи DGPS для навігаційних цілей в порту Щецин.

Аналіз різних підходів оцінки точності визначення місця судна за допомогою приймача супутникової радіонавігаційної системи запропонований в роботі [33]. Аналіз статистичних матеріалів показав, що припущення про розподіл випадкових похибок визначення широти і довготи за законом Гауса не є коректним і вимагає альтернативного підходу.

В роботі [34] запропоновано нову модель формування випадкових величин навігаційних вимірювань, що відрізнявся від моделі запропонованої К. Гаусом для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин. В результаті цього в судноводінні стали розглядати випадкові похибки, які підкорялися змішаним розподілам вірогідності, відмінним від закону Гауса (хоча граничним змішаним розподілом є якраз нормальний закон) [35, 36]. Прийнята гіпотеза про змішаний розподіл похибок добре пояснює експериментальні дані по похибкам навігаційних вимірювань, гістограми

яких мають в крайніх розрядах надмірне число членів, що протирічить в якості гіпотези використовувати розподіл Гауса. Змішані закони розподілу похибок якраз мають „важкі хвости”. Недоліком моделей змішаного розподілу є те, що вони не відносяться ні до стійких, ні до безмежно - ділимих розподілів. Тому не можуть застосовуватися до опису систем залежних випадкових величин. Дослідження останніх років показали, що проблема опису систем залежних випадкових величин може бути розв'язана за допомогою узагальненого закону розподілу Пуассона [37], що використовує як базовий нормальний розподіл. Річ у тому, що узагальнений розподіл Пуассона є стійким.

У роботі [38] проведено аналіз вибірок випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів і показано, що найбільша згода статистичного матеріалу з теоретичним розподілом досягається для законів, відмінних від нормального.

В цьому випадку, як наголошується в роботах [39, 40], застосування методу найменших квадратів для розрахунку координат судна при надмірних вимірюваннях не забезпечує можливості отримання їх ефективних оцінок, які мають мінімальні дисперсії. Для отримання ефективних оцінок координат судна необхідно використовувати метод максимальної правдоподібності, що враховує дійсний закон розподілу похибок. Дана обставина нині не враховується, і відповідні аналітичні вирази отримання ефективних оцінок відсутні.

У роботах [41-45] обговорюються питання законів розподілу вірогідності похибок навігаційної вимірювань початкової вибірки, яка є сумішшю маргінальних вибірок нормально розподілених похибок з різною дисперсією. Одержана процедура оцінки ефективності координат судна з урахуванням змішаних розподілів похибок початкової вибірки. Одержані аналітичні вирази функції розподілу випадкових величин змішаних законів.

Аналізу законів розподілу вірогідностей, яким можуть бути підлеглі похибки вимірювань навігаційних параметрів присвячена робота [46], в якій досліджується залежність точності обсервованих координат судна від числа

ліній положення і точності кожної із них. В роботі також показано вплив закону розподілу похибок ліній положення та методу розрахунку обсервованих координат на їх точність.

У разі наявності надмірних ліній положення одержані аналітичні вирази оцінки ефективності координат для законів розподілу похибок, які відрізняються від закону Гаусу, при визначенні координат методом найменших квадратів. Було проведене комп'ютерне імітаційне моделювання, яке підтвердило коректність одержаних аналітичних виразів.

В реальних умовах експлуатації натурними спостереженнями було одержано 12 вибірок випадкових похибок навігаційних вимірювань, для яких були визначені закони розподілу вірогідності, що в своїй більшості відносяться до змішаних законів обох типів.

В роботі [47] імітаційним моделюванням була одержана оцінка ефективності координат судна при надмірних вимірюваннях, розрахованих методом найменших квадратів, для випадку, коли похибки ліній положення підлягають змішаним законам розподілу. Проведено розрахунки значень ефективності координат за допомогою аналітичних виразів в залежності від суттєвого параметру закону розподілу. Оцінки ефективності координат судна одержаних імітаційним моделюванням і розрахованих за допомогою аналітичних виразів мають гарну збіжність.

Аналіз можливостей застосування ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірювань за допомогою поліномів Ерміту здійснено в роботі [48]. Приведені властивості поліномів Ерміту для щільності закону розподілу Гаусу. Одержані в явному виді розкладання щільності на базі нормованого і ненормованого нормального закону ортогональними поліномами Ерміту в ряд Грама - Шарльє типу А.

Приведені результати оцінки ефективності ортогонального розкладання щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань шляхом порівняння нормованої щільності з їх ортогональними розкладаннями. В ре-

зультаті аналізу виявилось, що найкраща ефективність ортогонального розкладання досягається у разі, коли воно містить тільки один член.

Як приклад розглянута щільність узагальненого розподілу Пуассону і її ортогональне розкладання поліномами Ерміту. Показана їх хороша збіжність і підтверджена можливість застосування ортогонального розкладання замість щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань.

Для опису випадкових похибок навігаційних вимірювань в роботі [49] пропонуються змішані закони розподілу двох типів та узагальнений пуасонівський закон розподілу. Шляхом порівняння кривих нормованих щільностей змішаних законів розподілу з узагальненим пуасонівським законом, які мають однаковий ексцес, показано, що при значеннях істотного параметру змішаних законів більше шести нормовані щільності змішаного закону співпадають із нормованими щільностями узагальненого пуасонівського закону.

Для опису випадкових похибок навігаційних вимірювань з «хвостами, що обважнюють», в роботі [50] пропонуються змішані закони розподілу двох типів і узагальнений пуасонівський закон розподілу. Ступінь відмінності вказаних законів розподілу від закону Гауса характеризується ексцесом розподілу.

Шляхом порівняння кривих нормованої щільності змішаних законів розподілу з узагальненим пуасонівським законом розподілу, що мають однаковий ексцес, показано, що при значеннях істотного параметра змішаних законів більше шести нормована щільність змішаного закону співпадає з нормованою щільністю узагальненого пуасонівського закону.

В роботі [51] для опису випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів запропоновано узагальнений законом розподілу Пуасону із базовою щільністю Гауса. Показано, що такому розподілу притаманні «тяжкі хвости» і воно може бути використано для опису системи залежних випадкових похибок. Приведені результати перевірки статистичних гіпотез двох вибірок, які пока-

зують перевагу узагальненого закону розподілу Пуассону перед нормальним розподілом.

На підставі аналізу гістограм натурних спостережень в роботі [52] сформульовані вимоги до щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань. Розглянуто моделі формування нормального, двох типів змішаних і узагальненого закону Пуассону їх розподілу.

Приведені результати натурних спостережень, які показали, що вибірки похибок, одержані за час спостереження менше 8 годин, підкоряються нормальному закону розподілу. Якщо вибірка сформована за добу або дві, то її похибки розподілені по змішаним законам. При формуванні вибірки на тривалому інтервалі часу похибки вимірювань мають узагальнений розподіл Пуассону.

Одним з найважливіших напрямів підвищення безпеки судноводіння в стислих водах є розробка і використання систем управління рухом суден (СУРС), задачею яких є організація безпечного судноплавства, цьому напрямку присвячені роботи [53-].

У статті [53] описується проектування системи інформації і управління судноплавством VTMISS (Vessel Traffic Management & Information System) в турецьких протоках. Як наголошується в статті, моделювання руху суден може підвищити безпеку судноводіння за наявності змінних течій в обмежених водах.

У роботі [54] повідомляється, що з 1 січня 1998 р., почала функціонування система управління рухом судів в протоці Курусима, яка призначена для контролю і проводки в порт суден дедвейтом до 100 тис. т. Вона складається із ступінчастої радарної системи фірми Atlas і двох CCTV - установок (Close Circuit TV), сполучених за допомогою мікрохвильового з'єднання з центральним блоком системи, який в свою чергу має зв'язок із спеціальною лоцманською станцією. Станція оснащена AIS для видачі даних на борт судна.

У роботі [55] приводиться опис запатентованого способу радіонавігації для системи управління множиною рухомих об'єктів, зокрема флотилією суден. Реалізація способу проведена таким чином. Спочатку проводиться випромінювання хвильового пакету, що містить першу послідовність сигналів, модульованих фазоінверсією, потім здійснюється прийом хвильового пакету і його демодуляція, виявляється кореляція першої і другої послідовностей. Це досягається вимірюванням амплітуд у ряді крапок на кореляційній кривій для визначення форми фронту перед піками кореляції.

У публікації [56] повідомляється, що на центри по управлінню рухом судів СУДС покладено обов'язок по забезпеченню безпеки судноплавства і захисту навколишнього середовища. Зі вступом у силу ISPS Коду роль центрів СУДС зміниться, зміщуючись у бік контролю безпеки судна. Розроблене нове устаткування фірмами Simrad Mesotech Ltd (Канада) і Norcontrol IT (Норвегія) для задоволення вимогам Коду, з використанням системи AIC, а в роботі [57] повідомляється про підвищення вимоги, що пред'являються до німецьких лоцманів з погляду їх професіоналізму.

У статті [58] приводиться опис системи управління рухом суден, яка за допомогою радіолокаційного спостереження забезпечує на акваторіях портів і в обмежених водах вільний рух суден і захист навколишнього середовища від наслідків їх аварій.

Організація судноплавства в протоці Ла-Манш описана в роботі [59]. З метою забезпечення максимальної безпеки судноплавство в цьому районі здійснюється відповідно до правил ІМО і знаходиться під спостереженням СУДС прибережних країн. В результаті аналізу зроблено висновок про те, що при сучасному розвитку судноплавства відсутня можливість управляти ним, як це зроблено в авіації і залізничному транспорті.

У роботі [60] повідомляється, що Німецька фірма Atlas Electronic уклала договір про поставку в порт Китаю системи проводки судів (VTS), яка призна-

чена для контролю і проводки в порт суден, дедейт яких менше 100 тис. т. Ступінчаста радарна система фірми Atlas, дві установки Close Circuit TV, що мають зв'язок із спеціальною лоцманською станцією, і AIS для передачі інформації на судно складають систему VTS.

Відомості про спостереження поворотності суден на фарватері Бугсько - Дніпровського - лиманського каналу приведені в статті [61]. Результати спостережень передбачається використовувати в автоматизованих керуючою - інформаційних системах постів Управлінням руху суден.

У роботі [62] розглянута оптимізація руху суден по внутрішніх водних шляхах за рахунок раціонального вибору режиму руху залежно від характеристик водного шляху, отриманих з електронної карти, і від експлуатаційної ситуації. У роботі вказується що, використання методів оптимізації руху у ряді випадків дозволяє одержати істотну економію витрати палива без яких-небудь змін в основній частині автоматизованої системи проводки.

В статті [63] приведено формальний опис системи прийняття рішень по управлінню рухом судна в термінах теорії ієрархічних багато рівневих систем. Показано, що по признаку функціонування система містить три страти, а по признаку декомпозиції задачі, що вирішується, – три шари.

Питання розробки методу визначення кількісної оцінки безпеки судноводіння в стислих водах дослідженні у роботах здобувача [64 -85], як одноосібних, так і в співавторстві. До таких питань відносяться пошук аналітичних виразів двомірної щільності векторіальної позиційної похибки при різних законах її розподілу, формалізації параметрів стислого маршруту проводки судна та залежність одномірної щільності розподілу бокового відхилення від двомірної щільності векторіальної позиційної похибки.

1.2. Обґрунтування напрямку дисертаційного дослідження.

Як показав аналіз літератури, викладений в попередньому розділі, одним із найбільш актуальних напрямків забезпечення безаварійного судноводіння є розробка заходів, направлених на підвищення точності та надійності процесу судноводіння, що є особливо актуальним при плаванні в стислих районах підвищеної інтенсивності судноплавства при наявності навігаційних перешкод. (рис 1.1)

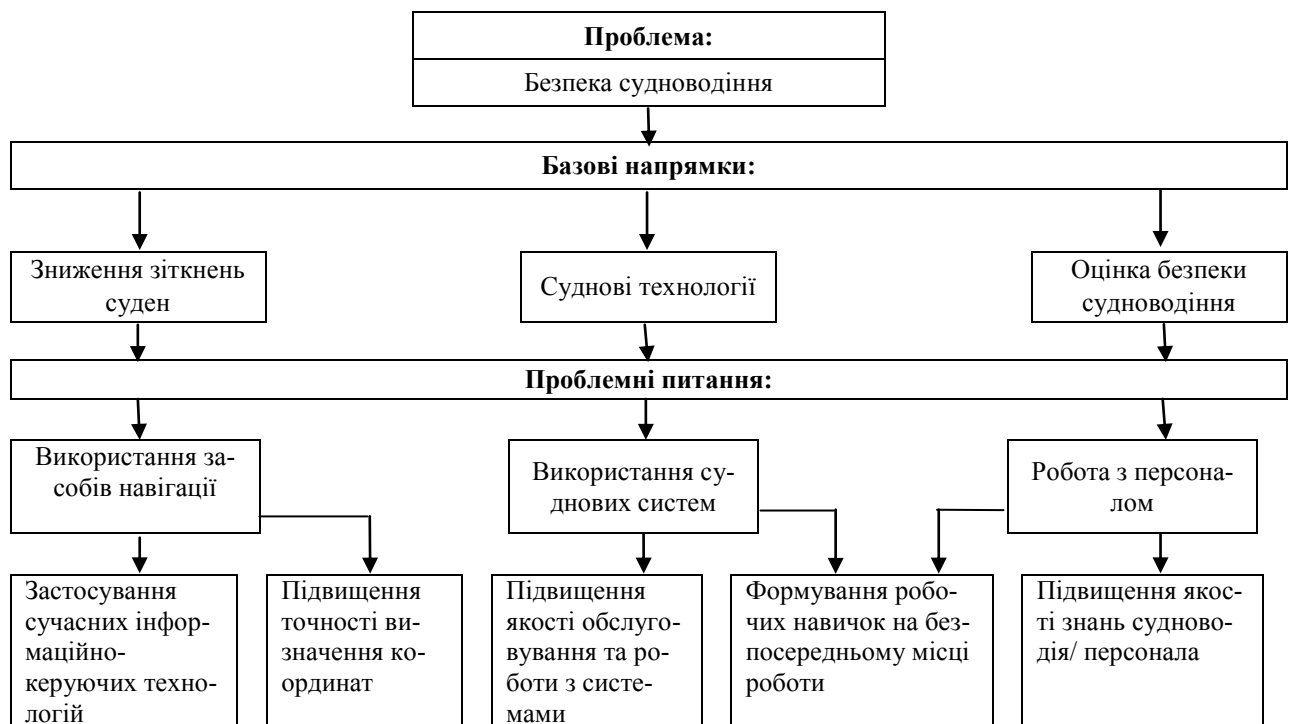


Рисунок 1.1 - Схема інформаційного пошуку по проблемі безпеки судноводіння

При плаванні по фарватеру, протоками, навігаційна безпека визначається точністю утримання судна на програмній безпечній траєкторії руху. На точність реалізації програмної траєкторії судна також впливає точність контролю координат судна, яка залежить від стохастичної векторіальної похибки керування судном. Узагальненим показником безпеки судноводіння в обмежених

районах являється апріорна вірогідність безаварійної проводки судна стислим маршрутом, яка залежить від векторіальної позиційної похибки.

З урахуванням вищезазначеного вибрана тема дисертаційного дослідження, яка передбачає розробку способу кількісної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна і стислості маршруту.

Для цього слід провести формалізацію параметрів задачі визначення вірогідності безаварійного плавання судна в стислому районі, дослідити вплив закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту, а також розробити спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

1.3. Висновки за першим розділом.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений аналізу літературних джерел для визначення основних аспектів та методів вирішення проблеми забезпечення безаварійного судноводіння.

Внаслідок проведеного аналізу виявилось, що основними аспектами рішення проблеми підвищення безпеки судноводіння є розробка заходів підвищення точності визначення координат судна за рахунок їх максимальної ефективності та формування способу кількісної оцінки безпеки судноводіння в стислому районі, а також застосування сучасних інформаційно-керуючих технологій і методів забезпечення безпеки судноводіння.

В завершення розділу було одержано висновок про те, що актуальним напрямом рішення проблеми підвищення безпеки судноводіння є вдосконалення методів оцінки безпеки судноводіння в стислих водах і розробка заходів по забезпеченню його визначеного рівня, що обумовило вибір основного напрямку дисертаційного дослідження.

Об'єктом дослідження визначено процес судноводіння, а предметом дослідження являються методи оцінки безпеки судноводіння.

РОЗДІЛ 2.

ОБГРОНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1. Вибір тематики дисертаційного дослідження.

В попередньому розділі було встановлено, що вдосконалення методів управління рухом судна є одним із актуальних напрямків забезпечення безпеки судноводіння. Вдосконалення методів управління рухом судна в першу чергу потребує розробки заходів підвищення ефективності та надійності маневрування суден, що зумовило вибір теми дисертаційного дослідження, присвяченого розробці методу апріорної кількісної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки стислим маршрутом і значень його параметрів.

Рішення цієї задачі, по-перше, передбачає формалізацію задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в заданому стислому районі, для чого потрібно визначити залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки, що характеризується законом розподілу похибки та його параметрами, та виявити параметри стислого району плавання, в якому завдано маршрут проводки судна, з подальшою розробкою процедури їх формалізації.

По-друге, слід дослідити вплив закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту, для чого визначити залежність щільності похибки бокового відхилення від двомірної щільності векторіальної позиційної похибки та знайти аналітичні вирази щільності похибки бокового відхилення для різних законів розподілу випадкових похибок.

Для практичного використання пропонованого способу з урахуванням особливостей дійсних стислих маршрутів необхідна розробка способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти району проводки судна, що планується.

Так як розробка заходів підвищення точності та надійності маневрування суден за допомогою сучасних способів є актуальною, то вибрана тема дисертації формулюється наступним чином «Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом».

Основні етапи вирішення поставленої задачі полягають в наступному:

1. Методами теорії дослідження операцій провести декомпозицію загальної задачі дисертаційного дослідження на допоміжні незалежні задачі.

2. Дати теоретичне обґрунтування залежності кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки судна та характеристик стислого маршруту.

3. Здійснити формалізацію задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в заданому стислому районі.

4. Провести дослідження впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту.

5. Забезпечити розробку способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти району проводки судна.

Актуальність тематики дисертаційного дослідження обумовлена необхідністю підвищення рівня безпеки судноводіння і розробки способів її кількісної оцінки.

Наукова новизна дисертаційного дослідження може полягати в визначенні залежності кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки судна та характеристик стислого маршруту.

Економічна ефективність дисертаційного дослідження мотивується можливим скороченням збитків від зниження рівня аварійності по причині навігаційних загроз.

Перевірка коректності одержаних теоретичних результатів дисертації за допомогою імітаційного моделювання забезпечує реалізацію наукового дослідження.

Об'єктом дослідження дисертації є процес судноводіння.

Предметом дослідження є методи оцінки безпеки судноводіння.

2.2. Аналіз методів дослідження дисертації.

Технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження представлена на рис. 2.1, вона характеризує структуру методологічного забезпечення рішення головної задачі дисертаційної роботи.

Сучасними запитами практики є необхідність забезпечення належного рівня безпеки судноводіння і розробки способів її кількісної оцінки.

Підвищення безпеки судноводіння розробкою методу її кількісної оцінки та зниження впливу суттєвих чинників, які сприяють виникненню аварійності і є керованими, є метою дисертаційного дослідження.

В якості наукової гіпотези дослідження прийнято допущення про існування можливості підвищення безпеки судноводіння урахуванням керованих чинників, які негативно впливають на безпеку, та зменшуючи їх вплив.

Головною задачею дослідження являється розробка програми кількісної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна і стислості маршруту.

Вирішення головної задачі дисертаційної роботи потребувало використання методів теорії дослідження операцій для її декомпозиції на допоміжні складові задачі. Попередній аналіз показав, що головну задачу дисертаційного дослідження потрібно розділити на три незалежні допоміжні

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА

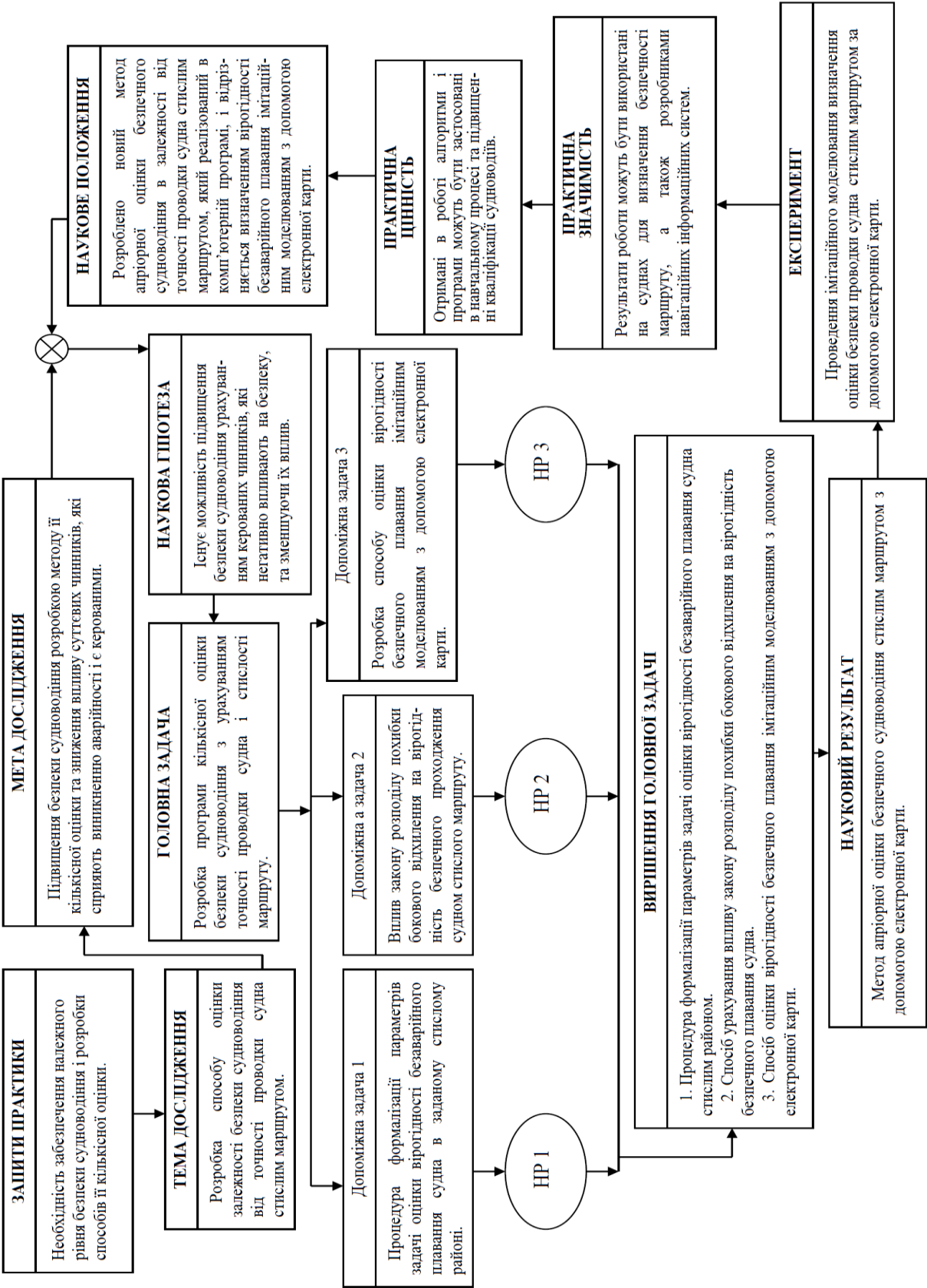


Рисунок 2.1 - Технологічна карта дисертації

задачі:

- формалізація задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в заданому стислому районі;
- дослідження впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту;
- розробка способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

Для рішення першої незалежної допоміжної задачі слід визначити, по-перше, залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності провідки судна, яка характеризується типом закону розподілу похибки бокового відхилення судна від програмної траєкторії та параметрами закону, та, по-друге, сформулювати параметри стислого району плавання, в якому планується провідка судна, з подальшою розробкою процедури їх формалізації.

Дослідження впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту є другою незалежною допоміжною задачею дисертаційного дослідження. Її вирішення потребує визначення залежності одновірної щільності розподілу похибки бокового відхилення судна від двовірної щільності розподілу векторіальної позиційної похибки. Для цього потрібно визначити залежність величини похибки бокового відхилення від складових векторіальної позиційної похибки та знайти аналітичні вирази щільності похибки бокового відхилення для різних законів розподілу випадкових похибок.

Третьою допоміжною задачею дослідження є розробка способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

Для цього слід використати електронну карту району плавання, на яку програмним чином мають інтерактивно наноситись межі безпечної області плавання судна та програмна траєкторія руху судна завданням маршрутом. В

результаті цієї операції мають формуватись двомірні масиви для аналітичного обліку вірогідності безпечної проводки судна завданням стислим маршрутом.

Для третьої задачі необхідна розробка комп'ютерної програми, яка має забезпечити формування масивів, що формалізують стислий маршрут проводки судна, та необхідні розрахунки для визначення вірогідності безпечного плавання. Цим визначається необхідність розробки наступних основних модулів комп'ютерної програми:

- модуль відображення на екрані монітору необхідної електронної карти;
- модуль інтерактивного введення меж безпечної області плавання та програмної траєкторії руху судна, використовуючи відповідну електронну карту;
- модуль розрахунку двомірних масивів значень меж безпечної області та програмної траєкторії руху судна.
- модуль розрахунку вірогідності безпечної проводки судна завданням стислим маршрутом.

В результаті проведення дисертаційного дослідження по кожній з складових незалежних задач були одержані відповідні наукові результати НР1, НР2 і НР3:

- науковим результатом першої допоміжної задачі НР1 є процедура формалізації задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим районом;
- спосіб урахування впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного плавання судна є науковим результатом НР2 другої допоміжної задачі;
- спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти є науковим результатом НР3 третьої допоміжної задачі.

Прийнята наукова гіпотеза про існування можливості підвищення безпеки судноводіння урахуванням керованих чинників, які негативно впливають на безпеку, та зменшуючи їх вплив підтверджена одержаними в дисертаційній роботі теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Практична значущість проведеного дисертаційного дослідження полягає у тому, що його результати роботи можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками навігаційних інформаційних систем.

Дисертаційній роботі притаманна практична цінність, яка визначається тим, що одержані в роботі теоретичні результати і програми можуть бути застосовані в навчальному процесі курсантів і підвищення кваліфікації судноводіїв.

Одержані в дисертаційному дослідженні наукові результати визначають наукове положення роботи, що формулюється наступним чином:

Розроблено новий метод апріорної оцінки безпечного судноводіння в залежності від точності проводки судна стислим маршрутом, який реалізований в комп'ютерній програмі, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

2.3. Стислий опис методики проведення дослідження.

Зміст даного підрозділу полягає в стислому викладі методики проведення дисертаційного дослідження по темі дисертаційної роботи з характеристикою використаних для цього методів.

Згідно існуючим рекомендаціям по організації і проведенню наукових досліджень методами дедукції проаналізовано основні підходи по вирішенню проблеми забезпечення безпеки судноводіння, чим обумовлено вибір основного напрямку і теми дисертаційного дослідження.

Другим етапом дисертаційної роботи являється декомпозиція методами дослідження операцій головної задачі дисертації на три незалежні складові задачі. Також за допомогою теорії дослідження операцій забезпечується методологічне обґрунтування дисертаційної роботи.

При виконанні основної аналітичної частини дисертаційного дослідження слід визначити залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння, в якості якої доцільно вибрати стохастичну характеристику, від точності проводки судна, що характеризується типом закону розподілу похибки бокового відхилення судна від програмної траєкторії та параметрами закону. Також необхідно сформулювати параметри стислого району плавання, в якому відбувається проводка судна, з подальшою розробкою процедури їх формалізації.

Для дослідження впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислого маршруту, що являється другою незалежною допоміжною задачею дисертаційного дослідження, потрібно визначити залежності одомірної щільності розподілу похибки бокового відхилення судна від двомірної щільності розподілу векторіальної позиційної похибки, що потребує знайти залежність величини похибки бокового відхилення від проекцій векторіальної позиційної похибки.

Після чого необхідно знайти аналітичні вирази щільності похибки бокового відхилення для законів розподілу випадкових похибок, які використовуються в теорії похибок навігаційних вимірювань.

Для розробки способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти необхідно використати електронну карту району плавання, на яку програмним чином потрібно інтерактивно наноситись межі безпечної області плавання судна та програмна траєкторія руху судна завданням маршрутом. В результаті чого формуються двомірні масиви для розрахунку вірогідності безпечної проводки судна завданням стислим маршрутом.

Вирішення дисертаційного дослідження потребує розробки комп'ютерної програми для формування масивів, що формалізують стислий маршрут проводки судна, та необхідних розрахунків визначення вірогідності безпечного плавання. Цим визначається необхідність розробки наступних основних модулів комп'ютерної програми: модуль відображення на екрані монітору необхідної електронної карти; модуль інтерактивного введення меж безпечної області плавання та програмної траєкторії руху судна, використовуючи відповідну електронну карту; модуль розрахунку двомірних масивів значень меж безпечної області та програмної траєкторії руху судна та модуль розрахунку вірогідності безпечної проводки судна завданням стислим маршрутом.

2.4. Висновки за другим розділом.

В другому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання обґрунтування теми наукового дослідження та його методологічного забезпечення. Проведена розробка технологічної карти дисертаційного дослідження, яка показує методологічну структуру дисертаційної роботи та її методологічне забезпечення.

Технологічна карта містить формулювання мети дисертаційного дослідження та його головної задачі, в ній показано розділення головної задачі на три складові задачі. Викладено гіпотезу наукового дослідження дисертації та визначено наукову новизну роботи, яка була одержана при рішенні складових задач дослідження.

У другому розділі показано, що дисертаційному дослідженню притаманні значущість і практична цінність. Визначено основне наукове положення роботи та приведена стисла методика рішення задач дисертаційного дослідження.

дження, із зазначенням основних етапів дисертаційного дослідження з урахуванням теоретичних розробок та комп'ютерного моделювання.

РОЗДІЛ 3.

ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ БЕЗАВАРІЙНОГО ПЛАВАННЯ СУДНА В СТИСЛИХ УМОВАХ.

3.1. Математична модель визначення вірогідності безпечного плавання з урахуванням характеристик району плавання і двовимірної щільності позиційної похибки.

Аварії суден в процесі судноводіння виникають внаслідок посадок на мілину і навалювань через позиційні похибки, зіткнення суден, а також через посадки на мілину і навалювання внаслідок похибок управління.

У загальному випадку аварійність суден доцільно характеризувати потоком аварійних подій по кожній з вказаних причин. Слід зазначити, що згадані три потоки аварійних подій є незалежними і в першому наближенні їх можна розглядати, як прості (стаціонарні пуасонівські) потоки. Тому і їх сумарний потік також можна вважати простим.

Оскільки простому потоку притаманні властивості стаціонарності, ординарності і він є потоком без післядії, то число аварійних подій сумарного потоку, виникаючих протягом інтервалу часу τ , розподілене за законом Пуассону з математичним очікуванням [86]:

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

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

В якості характеристики безпеки судноводіння доцільно вибрати вірогідність безаварійного плавання, як вірогідність відсутності навігаційної аварії протягом інтервалу часу τ . Вірогідність того, що за час τ відбудеться рівно n аварійних подій при їх розподілі за законом Пуассону, згідно роботі [86] визначається виразом :

$$P_n(\tau) = \frac{(\lambda_{\Sigma} \tau)^n}{n!} e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}.$$

Приймаючи в попередньому виразі значення $n = 0$, одержимо формулу вірогідності безаварійного плавання $P_b(\tau)$. Отже:

$$P_b(\tau) = P_0(\tau) = \frac{(\lambda_\Sigma \tau)^0}{0!} e^{-\lambda_\Sigma \tau}, \text{ або } P_b(\tau) = e^{-\lambda_\Sigma \tau}.$$

Відрізок часу T між послідовними навігаційними аваріями в разі простого сумарного потоку, який є часом безаварійного плавання, має розподіл по експоненціальному закону з щільністю:

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

Математичне очікування часу безаварійного плавання $M(T)$ та його дисперсія $D(T)$ визначаються згідно роботи [86]:

$$M(T) = \frac{1}{\lambda_\Sigma}, \quad D(T) = \frac{1}{\lambda_\Sigma^2}.$$

Інтенсивність сумарного потоку λ_Σ виражається формулою:

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

де λ_1 - інтенсивність аварій внаслідок посадок на мілину через позиційні похибки;

λ_2 - інтенсивність аварій через зіткнення суден;

λ_3 - інтенсивність аварій внаслідок посадок на мілину через похибки управління.

Зазначимо, що інтенсивності λ_2 і λ_3 можуть бути визначені за статистичними даними або, що краще, оцінені за допомогою математичних моделей. Тому слід виявити чинники, які впливають на вірогідність безаварійного плавання, і розробити математичні моделі для оцінки інтенсивностей λ_2 і λ_3 .

У даній роботі розглянемо математичну модель для оцінки інтенсивності λ_1 . У роботі [77] розглянута процедура оцінки вірогідності безаварійного плавання судна P_b в стислих умовах по вибраному маршруту, яка залежить від основних суттєвих чинників: характеристики обмеженості допустимої області плавання; характеристик точності, забезпечуваної системою навігаційного устаткування, що виражаються в параметрах функції двовимірного розподілу векторіальної похибки; вибору програмної траєкторії в допустимій області плавання, що впливає на співвідношення нормальних відстаней до межі безпечної області і довжини програмної траєкторії.

Таким чином, кожна провідка судна по маршруту в стислих умовах зв'язана з вірогідністю виникнення аварії $1 - P_b$. Тому число a_1 можливих посадок суден на міліну унаслідок впливу позиційних похибок за інтервал часу τ залежить від частоти попадання судна в обмежені води q :

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

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

З останнього виразу виходить:

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

причому частоту q в першому наближенні можна оцінити відношенням середнього часу перебування суден в стислих водах T_m до середнього експлу-

атаційного періоду T_e протягом року. В середньому морські судна в стислих водах знаходяться близько 20% експлуатаційного часу.

Отже, остаточно:

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

Зрозуміло, зниження інтенсивності λ_1 можливе зменшенням усередненої вірогідності P_{bm} шляхом вибору необхідних значень суттєвих параметрів, від яких залежить P_{bm} .

Розглянемо математичну модель оцінки вірогідності безаварійного плавання судна P_b по вибраному маршруту з його заданими характеристиками S_n і двовимірною щільністю розподілу вірогідності позиційної траєкторної похибки $f_t(\Delta\varphi, \Delta w)$, причому як таку вірогідність P_b доцільно використовувати апіорну вірогідність безаварійної провідки судна в заданому районі по вибраному маршруту.

У пропонованій моделі судно можна розглядати як точку і вважати його рух безінерційним. В умовах зовнішніх збурень застосовується спосіб корегуючого водіння по обсерваціях [87], тобто в дискретні моменти часу t (причому t приймає цілочисельні $0, 1 \dots$) визначаються обсервовані координати судна. Інтервал між обсерваціями Δt можна вважати постійним і протягом цього інтервалу судно слідує з незмінними параметрами руху K і V .

У кожен момент часу t дійсне положення судна характеризується вектором $x(t)$ в системі координат $O\Delta\varphi_t \Delta w_t$, початок якої знаходиться в програмній точці, відповідній моменту часу t , а осі паралелі осям географічної системи координат.

Обсервація дозволяє одержати оцінку $\hat{x}(t)$ вектору $x(t)$, яка є оцінкою зносу судна, відповідного моменту часу t . Вказаний знос компенсується до моменту часу $t+1$, тобто за інтервал часу Δt управляючою дією судна $u(t)$. Ви-

бір вектора $u(t)$ проводиться так, щоб запобігти появі зносу судна до моменту часу $t+1$.

Вектор $x(t+1)$ (істинне положення судна) у момент часу $t+1$ заданий в системі координат $O\Delta\varphi_{t+1}\Delta w_{t+1}$, з початком в точці відповідної моменту часу $t+1$, визначається лінійним різницеvim стохастичним рівнянням [88]:

$$x(t+1) = x(t) + \Gamma\{u(t), \Delta t\} + \Gamma\{z(t), \Delta t\}, \quad (3.1)$$

де $\Gamma\{u(t), \Delta t\}$ - зміщення судна щодо програмної траєкторії за інтервал часу Δt в

результаті прикладених керуючих сигналів $u(t)$;

$\Gamma\{z(t), \Delta t\}$ - переносне зміщення судна щодо програмної траєкторії під впливом зовнішнього збурення $z(t)$ за інтервал часу Δt .

Очевидно, рівняння (3.1) можна записати також у вигляді:

$$x(t+1) = \chi(t, \Delta t) + v(t, \Delta t) + \varepsilon(t, \Delta t),$$

де $\chi(t, \Delta t)$ - похибка обсервації;

$v(t, \Delta t)$ - похибка в урахуванні дії зовнішнього збурення $z(t)$;

$\varepsilon(t, \Delta t)$, - похибка, що виникає через похибки приладів счислення.

З останнього рівняння виходить, що вектор $x(t)$ є випадковою двовимірною величиною, яка є похибкою траєкторного управління, або просто траєкторною похибкою, а послідовність значень $x(t)$ в часі представляє собою випадковий процес з дискретним часом [89, 90], який описує рух судна щодо програмної траєкторії. Причому $x(t)$ є випадковим процесом, утвореним сумою трьох двовимірних процесів $\chi(t)$, $v(t, \Delta t)$ і $\varepsilon(t, \Delta t)$.

При цьому коваріаційна матриця траєкторної похибки, яка позначена $R(t+1)$, має наступний вигляд, з урахуванням того, що всі три складові процеси незалежні:

$$R(t+1) = E\{x(t+1)x(t+1)^T\} = K(t) + R_v(t, \Delta t) + R_e(t, \Delta t),$$

де $D_o(t)$, $R(t, \Delta t)$, $R(t, \Delta t)$ - коваріаційні матриці відповідно похибок обсервації $\chi(t)$, урахування впливу зовнішніх збурень $v(t, \Delta t)$ і приладів обчислення $\varepsilon(t, \Delta t)$. Отже, можна вважати, що якість реалізації судном програмної траєкторії тим вище, чим менше елементи коваріаційної матриці $R(t)$ траєкторної похибки. Тому і навігаційна безпека судноводіння зростатиме при зменшенні елементів матриці $R(t)$.

Оскільки коваріаційна матриця $R(t)$ є сумою коваріаційних матриць похибки обсервації $K(t)$, похибки урахування зовнішніх збурень $R_v(t, \Delta t)$ і похибки приладів счислення $R_e(t, \Delta t)$, то забезпечення належного рівня безпеки судноводіння вимагає ретельного вивчення факторів, що впливають на величину елементів кожної з розглянутих матриць і пошуку можливих шляхів формування необхідних значень факторів, що впливають на навігаційну безпеку судноводіння.

Розглянемо коваріаційну матрицю похибок обсервації $K(t)$. Як відомо [91], обсервація полягає в отриманні оцінки істинних координат судна шляхом вимірювання навігаційних параметрів опорних навігаційних точок [92] штучного або природного походження, координати яких відомі.

Застосовуючи метод ліній положення, обсервоване місце судна визначається за допомогою апарату аналітичної геометрії як точка перетину двох і більш ліній положення. Наявність неминучих випадкових похибок в значеннях вимірюваних параметрів ставить задачу визначення ефективних обсерво-

ваних координат, точність яких характеризується коваріаційною матрицею $K(t)$.

Початковим для обсервації є вектор вимірювань навігаційних параметрів $y(t)$ і закон розподілу вірогідності вектора його похибок $e(t)$. Щільність розподілу є багатовимірною і визначається розмірністю вектору $y(t)$. Якщо $y(t)$ є n – мірним вектором вимірювань, то вектор $e(t)$ описується n – мірною сумісною щільністю розподілу, яка позначена $g^*(t)$. Якщо складові, – похибки вимірювань навігаційних параметрів, – вектора $e(t)$ позначити ζ_i ($i=1,2,\dots,n$), то сумісна щільність має вигляд $g^*(t, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_i)$.

Метод ліній положення перетворить вектор вимірювань навігаційних параметрів $y(t)$ у вектор перенесень $c(t)$ по наступній формулі [34]:

$$c(t) = \| [y_i(t) - y_{ci}(t)] / g_i \|,$$

де $y_{ci}(t)$ – счислиме значення зміряного i – го навігаційного параметру $y(t)$;

g – його градієнт.

В цьому випадку вектор похибок $e(t)$ перетвориться у вектор позиційних похибок $b(t)$:

$$b(t) = \| \xi_i / g_i \| = \| \xi_i \|,$$

де ξ_i – похибка i – й лінії положення.

Сумісна n – мірна щільність розподілу $g^*(t, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_i)$ перетвориться до вигляду $\tilde{g}(t, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i)$. Вектор перенесень $c(t)$ пов'язаний з істинними координатами судна $x(t)$ заданими в тій же системі координат, що і $c(t)$, характеризується наступним співвідношенням, приведеним в [93]:

$$c(t) = \theta_1 x(t) + b(t),$$

$$\text{де } c(t) = \begin{pmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ \dots \\ r_n(t) \end{pmatrix}; \quad \theta_1 = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ \cos \alpha_2 & \sin \alpha_2 \\ \dots & \dots \\ \cos \alpha_n & \sin \alpha_n \end{pmatrix}; \quad b(t) = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \dots \\ \xi_n \end{pmatrix}.$$

Тут $r(t)$ - перенесення i -ї лінії положення;

α_i - напрям градієнта g i -го навігаційного параметра відносно меридіану в счисленій позиції.

Ефективність обсервованих координат $\hat{x}(t)$ визначається методом максимальної правдоподібності [94], який при розподілі похибок за законом Гауса трансформується в метод найменших квадратів або в метод найменшої квадратичної форми [34].

Ефективність обсервованих координат можна оцінити за умови незалежності похибок вимірювань ξ_i , коли сумісна щільність розподілу

$\tilde{g}(t, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i)$ може бути представлена у вигляді добутку маргінальних щільностей розподілу кожної похибки. Щільність розподілу $f_i(\xi_i, \mu_i)$ похибки лінії положення ξ_i визначається щільністю розподілу $\psi_i(\zeta_i, h_i)$ похибки вимірювання навігаційного параметра ζ_i . Якщо врахувати, що значення градієнта g в счислимій позиції постійне, то згідно [95]:

$$f_i(\xi_i, \mu_i) = |g_i| \psi_i(g_i, \zeta_i, h_i).$$

Похибка лінії положення ξ_i має вигляд:

$$\xi_i = r_i - \Delta \varphi \cos \alpha_i - \Delta w \sin \alpha_i.$$

Припускаємо, що щільність f_i достатньо гладка і має першу і другу похідні по змінних $\Delta \varphi$ і Δw . В цьому випадку коваріаційна матриця визначається з виразу [39]:

$$K(\Delta\varphi, \Delta w) = \frac{1}{n} D^{-1},$$

де

$$D = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \int_{R_1} A_i A_i^T f(r_i - \Delta\varphi \cos\alpha_i - \Delta w \sin\alpha_i) dr_i.$$

Вектор A_i знаходиться по формулі:

$$A_i = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \Delta\varphi} \ln f_i(r_i - \Delta\varphi \cos\alpha_i - \Delta w \sin\alpha_i) \\ \frac{\partial}{\partial \Delta w} \ln f_i(r_i - \Delta\varphi \cos\alpha_i - \Delta w \sin\alpha_i) \end{pmatrix}.$$

За правилами диференціювання складної функції одержимо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \Delta\varphi} \ln f_i[\xi_i(\Delta\varphi, \Delta w)] &= \frac{\partial}{\partial \xi_i} \ln f_i(\xi_i) \frac{\partial}{\partial \Delta\varphi} \xi_i = \\ \frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)} (-\cos\alpha_i) &= -\cos\alpha_i \frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)}, \end{aligned}$$

пам'ятаючи, що $r_i - \Delta\varphi \cos\alpha_i - \Delta w \sin\alpha_i = \xi_i$.

Аналогічно:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \Delta w} \ln f_i[\xi_i(\Delta\varphi, \Delta w)] &= \frac{\partial}{\partial \xi_i} \ln f_i(\xi_i) \frac{\partial}{\partial \Delta w} \xi_i = \\ \frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)} (-\sin\alpha_i) &= -\sin\alpha_i \frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)}. \end{aligned}$$

Отже, можна записати:

$$A_i = - \begin{pmatrix} \cos\alpha_i \\ \sin\alpha_i \end{pmatrix} \frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)},$$

а відповідна транспонована матриця A_i^T має вигляд:

$$A_i^T = -\|\cos\alpha_1 \quad \sin\alpha_1\| \frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)}.$$

Тому добуток матриць $A_i A_i^T$ з урахуванням одержаних виразів приймає наступний вигляд:

$$A_i A_i^T = \left\| \begin{array}{cc} \cos^2 \alpha_i & \sin \alpha_i \cos \alpha_i \\ \sin \alpha_i \cos \alpha_i & \sin^2 \alpha_i \end{array} \right\| \left[\frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)} \right]^2$$

З урахуванням вищевикладеного, матриця D:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\| \begin{array}{cc} \cos^2 \alpha_i & \sin \alpha_i \cos \alpha_i \\ \sin \alpha_i \cos \alpha_i & \sin^2 \alpha_i \end{array} \right\| \rho(\mu_i) =$$

$$\frac{1}{n} \left\| \begin{array}{cc} \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \rho(\mu_i) & \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\mu_i) \\ \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\mu_i) & \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \rho(\mu_i) \end{array} \right\|,$$

$$\text{де } \rho(\mu_i) = \int_{R1} \left[\frac{\frac{\partial}{\partial \xi_i} f_i(\xi_i)}{f_i(\xi_i)} \right]^2 f_i(\xi_i) d\xi_i.$$

Тепер можна знайти коваріаційну матрицю $K(\Delta\varphi, \Delta w)$, використовуючи раніше одержані вирази:

$$K(\Delta\varphi, \Delta w) = \frac{1}{n^2 \Delta} \left\| \begin{array}{cc} \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \rho(\mu_i) & - \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\mu_i) \\ - \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\mu_i) & \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \rho(\mu_i) \end{array} \right\|,$$

$$\text{де } \Delta = \frac{1}{n^2} \left[\left[\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \rho(\mu_i) \right] \left[\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \rho(\mu_i) \right] - \left[\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\mu_i) \right]^2 \right].$$

Остаточний вираз для коваріаційної матриці $K(\Delta\varphi, \Delta w)$:

$$K(\Delta\varphi, \Delta w) = \left\| \begin{array}{cc} \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) & - \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) \\ - \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) & \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) \end{array} \right\| \times \rightarrow$$

$$\rightarrow \left[\left[\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) \right] \left[\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) \right] - \left[\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \rho(\hat{\mu}_i) \right]^2 \right]^{-1},$$

$$\text{де } \hat{\mu}_i = g_i \mu_i.$$

Аналіз одержаного виразу показує, що коваріаційна матриця обсервації $K(\Delta\varphi, \Delta w)$ визначається числом ліній положення n , типом щільності розподілу f_i похибок навігаційних вимірювань і її параметрами, а також залежить від модулів g і напрямів α_i градієнтів навігаційних параметрів в счислимій позиції.

Вірогідність безпечного плавання залежить від точності визначення місця судна, яка характеризується коваріаційною матрицею обсервації $K(\Delta\varphi, \Delta w)$, причому із зростанням точності вірогідність безпечного плавання збільшується. Проте другим суттєвим чинником разом з коваріаційною матрицею обсервації є обмеженість району плавання, яку доцільно формалізувати за допомогою безпечної області D плавання судна.

Безпечну область D плавання судна можна задати в довільній системі координат. Слідуючи роботі [96], в даній задачі безпечну область D задаватимемо в системі координат $O \Delta \varphi_t \Delta w_t$, пов'язаної з програмною траєкторією, для кожного моменту часу t , при цьому аналітичний вираз безпечної області позначатимемо для кожного моменту часу через, D_{t_0} , D_{t_0+1} , ..., D_t (рис.3.1). Допустимо область безпечного плавання D не є опуклою і задана щодо послідовності систем координат $O \Delta \varphi_t \Delta w_t$, початок яких належить програмній траєкторії і співпадає з прогнозуючими точками місця судна для моментів часу $t_0, t_0 + 1, \dots t$.

Похибка траєкторного управління судном у будь-який момент часу t характеризує дійсне положення судна в системі координат $O \Delta \varphi_t \Delta w_t$, причому послідовність вказаних похибок в часі є сімейством незалежних випадкових векторів з відомою щільністю розподілу і коваріаційними матрицями $R(t)$.

Як відомо [97], опис похибок вимірювань доцільно здійснювати стійкими законами розподілу вірогідності. В цьому випадку багатовимірну щільність розподілу при залежних похибках можна одержати в явному вигляді. Тому допускаємо, що двовимірні щільності векторів $\chi(t)$, $\upsilon(t)$, і $\varepsilon(t)$ мають однаковий аналітичний вигляд і відрізняються тільки параметрами розподілу, тобто відносяться до одного і того ж типу стійкого розподілу. В цьому випадку і щільність розподілу випадкового вектора (t) також відноситься до того ж типу стійкого розподілу. У разі стійкого розподілу численні операції з випадковими величинами, розподіленими по цьому закону, дають результат, розподіл якого співпадає з початковим законом.

При операції згортки декількох випадкових величин потрібне тільки перетворення елементів коваріаційних матриць, результат буде розподілений по початковому стійкому розподілу. Для стійких розподілів характерний однозначний зв'язок параметрів розподілу з коваріаційною

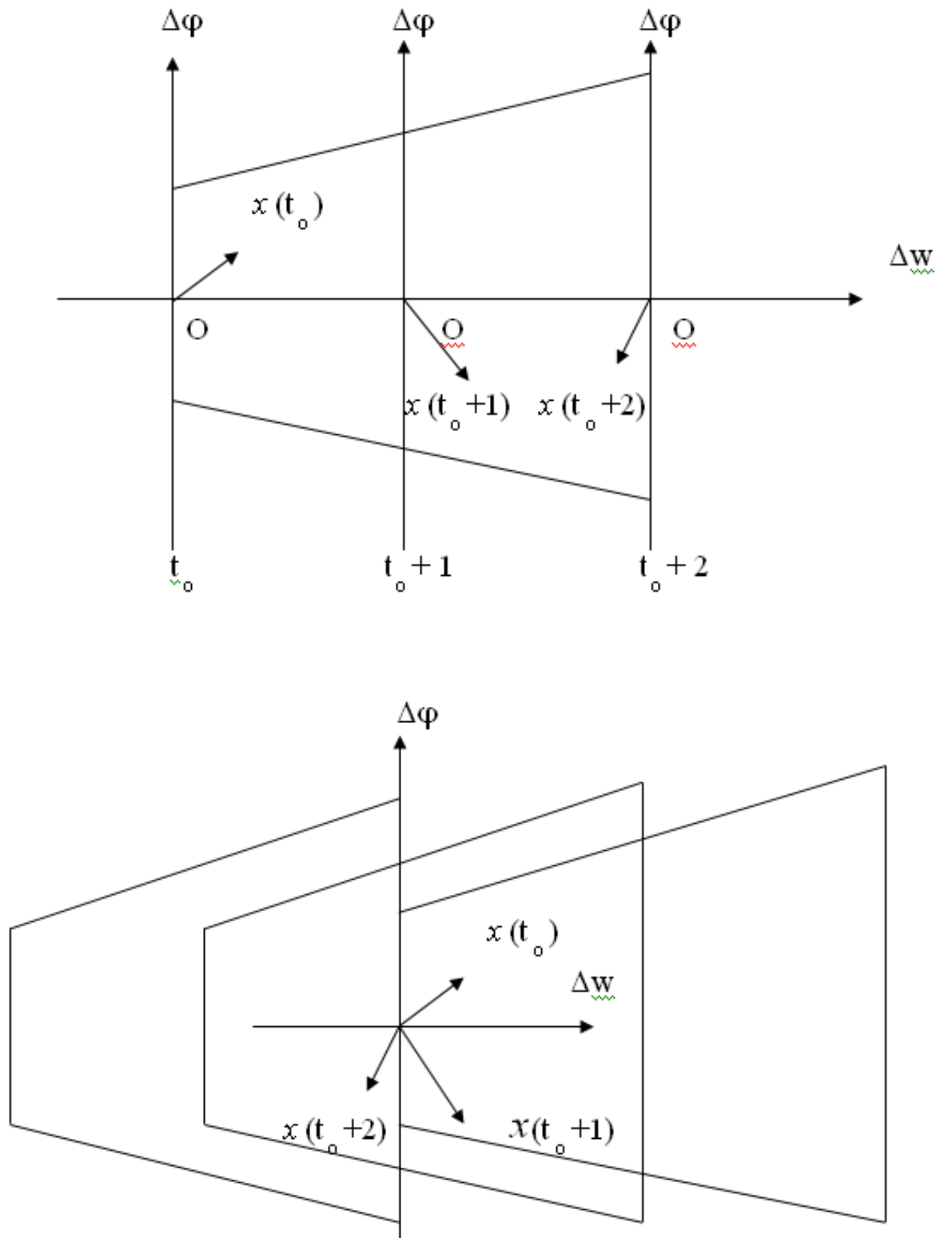


Рисунок 3.1 - Формалізація безпечної області

матрицею [39], що дозволяє записати щільність похибки тракторного управління $x(t+1)$ у вигляді:

$$f(\Delta\varphi_{t+1}, \Delta w_{t+1}, \lambda_j) = f\{\Delta\varphi_{t+1}, \Delta w_{t+1}, G[R(t+1)]\},$$

так як $\lambda_j = G[R(t+1)]$, де аналітичний вид функції G залежить від типу закону розподілу.

Таким чином, випадковий процес (t) в кожен дискретний момент часу t характеризується щільністю розподілу:

$$f\{\Delta\varphi_{t+1}, \Delta w_{t+1}, G[R(t+1)]\},$$

яка відноситься до стійких законів розподілу. Враховуючи незалежність послідовних значень процесу $x(t)$, його можна віднести до марківських процесів з дискретним часом [88, 89].

У разі поволі змінних в часі систематичних похибок можлива кореляція між послідовними значеннями процесу $x(t)$. Проте, якщо вони розподілені по стійкому закону, то процес $x(t)$ можна замінити еквівалентним процесом з некорельованими послідовними значеннями, що при стійкому розподілі $x(t)$ означає їх незалежність.

Для марківського процесу з дискретним часом сумісна щільність розподілу послідовних значень $x(t)$ за правилом Байеса записується в наступному вигляді:

$$f[x(t), x(t-1), \dots, x(t_0)] = f[x(t)/x(t-1)]f[x(t-1)/x(t-2)] \dots f[x(t_0+1)/x(t_0)]f[x(t_0)], \quad (3.2)$$

причому $f[x(t)/x(t-1)]$ - умовна щільність розподілу вектора стану (t) при заданому значенні вектора $x(t-1)$.

Сумісна ж функція розподілу послідовних значень вектора стану (t) , як вірогідність того, що процес (t) не перевершує заданих значень D_{t_0} , D_{t_0+1} , ..., D_t має вигляд [89]:

$$\begin{aligned} F(D_{t_0}, D_{t_0+1}, \dots, D_t, t_0, t_0+1, \dots, t) &= F(x(t_0) \leq D_{t_0}, x(t_0+1) \leq D_{t_0+1}, \dots, x(t) \leq D_t) \\ &= \\ &\int_{D_{t_0}} f[x(t_0)] \int_{D_{t_0+1}} f[x(t_0+1)/x(t_0)] \dots \int_{D_t} f[x(t)/x(t-1)] dx(t) \dots dx(t_0). \end{aligned} \quad (3.3)$$

У даній задачі випадкові величини $x(t)$, $x(t-1)$, ..., $x(t_0)$ є незалежними, тому умовна щільність розподілу рівна безумовним, тобто

$f[(t)/(x(t-1))] = f[(t)]$ і т.д. У зв'язку з цим вирази (3.2) і (3.3) приймають вигляд:

$$f[x(t), x(t-1), \dots, x(t_0)] = f[x(t)]f[x(t-1)] \dots f[x(t_0+1)]f[x(t_0)] \quad (3.4)$$

$$F(D_{t_0}, D_{t_0+1}, \dots, D_t, t_0, t_0+1, \dots, t) = \int_{D_{t_0}} f[x(t_0)] \int_{D_{t_0+1}} f[x(t_0+1)] \dots \int_{D_t} f[x(t)] dx(t) \dots dx(t_0)$$

Сумісну щільність розподілу (3.4) можна використовувати для визначення вірогідності реалізації конкретної істинної траєкторії судна щодо програмної на всьому маршруті проходження.

Вірогідність безпечного плавання є вірогідністю того, що траєкторія руху судна належить області D , тобто вірогідність того, що кожна точка траєкторії руху судна належить безпечній області D . Оскільки рух судна для даної задачі можна описувати лінійною моделлю, то траєкторія його руху є сукупністю k послідовних лінійних ділянок, кожний з яких - переміщення судна за інтервал часу Δt між послідовними моментами корекції параметрів його руху.

Вірогідність реалізації конкретної ділянки траєкторії визначається добутком вірогідності реалізації його кінцевих крапок, заданих в суміжних системах координат $O\Delta\varphi_t\Delta w_t$ і $O\Delta\varphi_{t+1}\Delta w_{t+1}$, причому вірогідність рівна значенням щільності розподілу $f(\Delta\varphi_t, \Delta w_t, \lambda_t)$ і $f(\Delta\varphi_{t+1}, \Delta w_{t+1}, \lambda_{t+1})$ у вказаних кінцевих точках (рис. 3.2).

Таким чином, вірогідність реалізації ділянки траєкторії між послідовними крапками $(\Delta\varphi_t, \Delta w_t)$ і $(\Delta\varphi_{t+1}, \Delta w_{t+1})$ рівна добутку $f(\Delta\varphi_t, \Delta w_t, \lambda_t) f(\Delta\varphi_{t+1}, \Delta w_{t+1}, \lambda_{t+1})$.

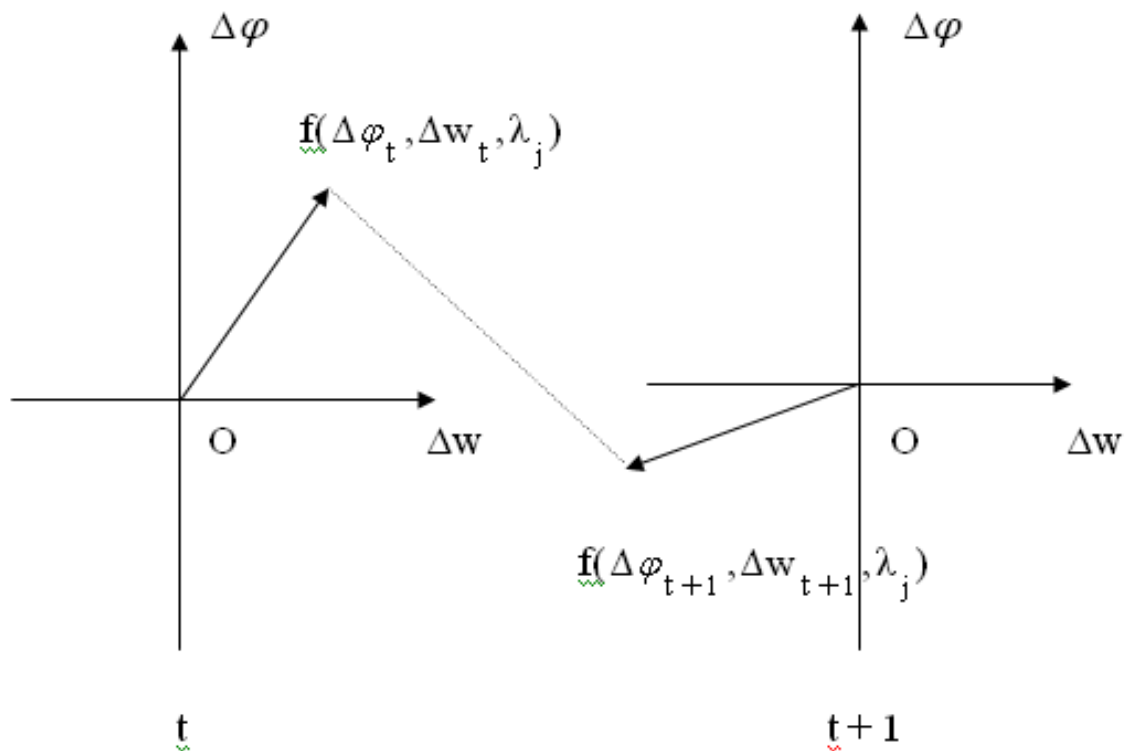


Рисунок 3.2 - Вірогідність реалізації ділянки траєкторії

Вірогідність реалізації конкретної траєкторії, що проходить через крапки $(\Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0})$, $(\Delta\varphi_{t_0+1}, \Delta w_{t_0+1})$, ..., $(\Delta\varphi_t, \Delta w_t)$, що задані у відповідних системах координат і що належить області D , рівна добутку:

$$f(\Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0}, \lambda_{t_0}) f(\Delta\varphi_{t_0+1}, \Delta w_{t_0+1}, \lambda_{t_0+1}) \dots f(\Delta\varphi_t, \Delta w_t, \lambda_t).$$

Вірогідність того, що початкова ділянка траєкторії γ належить області безпечного плавання D за умови, що її початок знаходиться в крапці з координатами $\Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0}$ (у системі координат $O\Delta\varphi_{t_0} \Delta w_{t_0}$) рівна добутку вірогідності того, що кожна ділянка γ належить D , причому кожна з яких визначається добутком:

$$f(\Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0}, \lambda_{t_0}) f(\Delta\varphi_{t_0+1}, \Delta w_{t_0+1}, \lambda_{t_0+1}).$$

Тому можна записати:

$$P\{r_o \in D/c_o = \Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0}\} = f(\Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0}, \lambda_{t_0}) \times \rightarrow$$

$$\int_{D_{t_0}} f(\Delta\varphi_{t_0+1}, \Delta w_{t_0+1}, \lambda_{t_0+1}) d\Delta\varphi_{t_0+1} d\Delta w_{t_0+1},$$

де c_o - координати початку траєкторії, і вірогідність реалізації початку першої ділянки не залежить від змінних $\Delta\varphi_{t_0+1}$ і Δw_{t_0+1} .

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

$$P\{x(t) \in D\} = \int_{D_{t_0}} f\{\Delta\varphi_{t_0}, \Delta w_{t_0}, G[R(t_0)]\} \int_{D_{t_0+1}} f\{\Delta\varphi_{t_0+1}, \Delta w_{t_0+1}, G[R(t_0+1)]\} \rightarrow$$

$$\int_{D_{t_0+2}} f\{\Delta\varphi_{t_0+2}, \Delta w_{t_0+2}, G[R(t_0+2)]\} \dots \int_{D_{t-1}} f\{\Delta\varphi_t, \Delta w_t, G[R(t)]\} d\Delta\varphi_t d\Delta w_t \dots$$

,

де D_{t_0} - частина області D , що містить множину точок початку траєкторії;

$R(t)$ - коваріаційна матриця похибки траєкторного управління судном.

Здійснюючи послідовне інтегрування, одержимо у результаті наступний вираз:

$$P\{x(t) \in D\} = Q_k \{D_{t_n}, D_{t_0}, \dots, D_{t-2}, D_{t-1}, R(t_0), \dots, R(t-1), R(t)\},$$

де Q_k - функція, що характеризується k - кратним послідовним інтегруванням щільності розподілу похибки траєкторного управління.

Одержана вірогідність $P\{(t) \in D\}$ є шуканою вірогідністю безпечного плавання P_{bn} . Тому:

$$P_{bn} = Q_k \{D_{t_n}, D_{t_0}, \dots, D_{t-2}, D_{t-1}, R(t_0), \dots, R(t-1), R(t)\}.$$

Таким чином, вірогідність безпечного плавання P_{bn} залежить від коваріаційних матриць $R(t_0), \dots, R(t-1), R(t)$ похибки траєкторного управління судном, області безпечного плавання D і положення в ній програмної траєкторії, типу розподілу похибки траєкторного управління, а також числом ділянок траєкторії, яке визначається періодом часу Δt .

Розглянемо випадок опуклої області безпечного плавання D . Властивість, що відрізняє опуклу область, полягає у тому, що всі відрізки прямої належать області D , якщо кінці відрізка знаходяться в межах цієї області. Вказана обставина дозволяє зробити висновок, що множина кінців кожного відрізка траєкторії не залежить від координат його початку.

У разі опуклої області вираз для вірогідності безаварійного плавання P_{bn} приймає наступний вигляд:

$$P_{bn} = \int_{D_{t_0}} f[x(t_0)] dx(t_0) \int_{D_{t_0+1}} f[x(t_0+1)] dx(t_0+1) \dots \int_{D_t} f[x(t)] dx(t) \Rightarrow \\ \prod_{i=0}^k \int_{D_{t_0+i}} f[x(t_0+i)] dx(t_0+i).$$

Логарифмуємо одержане рівняння:

$$\ln(P_{bn}) = \sum_{i=0}^k \ln \int_{D_{t_0+i}} f[x(t_0 + i)] dx(t_0 + i), \text{ або}$$

$$P_{bn} = \exp\left\{\sum_{i=0}^k \ln \int_{D_{t_0+i}} f[x(t_0 + i)] dx(t_0 + i)\right\},$$

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

s - довжина програмної траєкторії;

V_m - середня швидкість руху судна по програмній траєкторії.

Пропонований спосіб оцінки вірогідності безаварійного плавання судна P_{bn} вимагає рішення задачі з використанням двовимірної щільності розподілу вірогідності векторіальної похибки і багатократним її інтегруванням в межах безпечної області D , межа яка має складну форму. Тому практична реалізація даного способу оцінки вірогідності P_{bn} є складною і трудомісткою.

Для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна P_{bn} проводилося імітаційне моделювання за допомогою розробленої комп'ютерної програми, яка генерує випадкові траєкторії руху судна щодо програмної, для чого щодо кожної обсервованої точки випадковим чином формується векторіальна похибка, підлегла розподілу Гауса із заданим с. к. в. і нульовим математичним очікуванням. Вона визначає істинне місце судна, а з'єднання всіх таких точок дає реалізацію випадковій траєкторії. Програмою генерується 1000 таких траєкторій і перевіряється приналежність кожної з них до допустимої області безпечного плавання D (рис. 3.3). Частка траєкторій, що належать області, якраз і визначає вірогідність P_{bn} , яка відображається на інформаційному таблиці. На рис. 3.3 показана ситуація безпечного плавання судна в стислих водах, коректний вибір програмної траєкторії і допустиме значення с. к. в. Та відносна стислість допустимої області плавання забезпечують значення $P_{bn} = 1,000$.

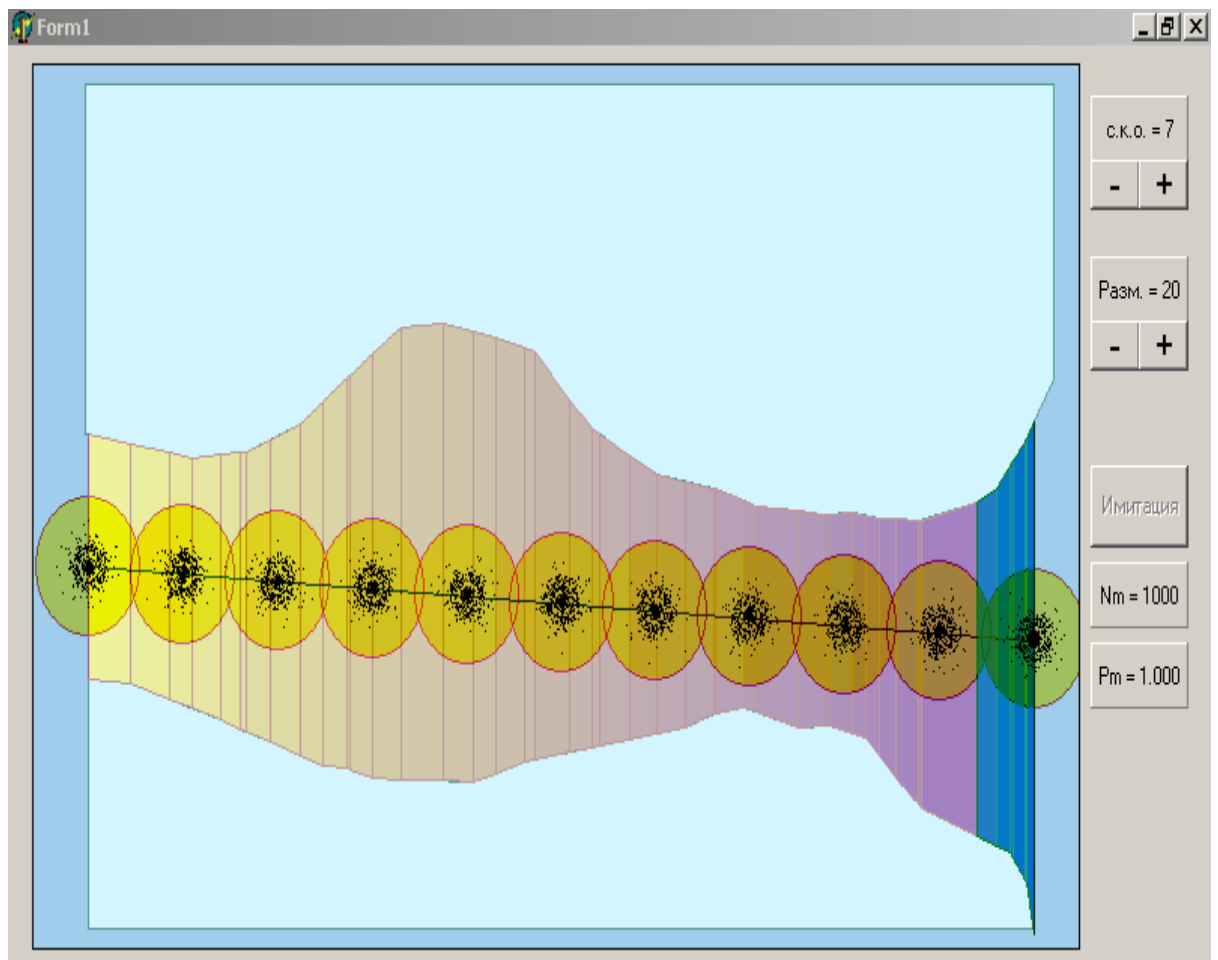


Рисунок 3.3 - Ситуація безпечного плавання судна в стислих водах

На рис. 3.4 приведена ситуація з неприпустимо низькою вірогідністю $P_{bn} = 0,490$, яка загрожує посадкою судна на мілину. Причиною такої низької вірогідності є несиметричне розташування програмної траєкторії щодо меж безпечної області плавання і велика обмеженість області відносно с. к. в. позиційної векторіальної похибки. Вірогідність P_{bn} можна підвищити, якщо програмну траєкторію руху судна представити декількома ділянками, розташованими симетрично в допустимій області плавання і підвищити точність обсервацій (зменшити с. к. в. векторіальної похибки).

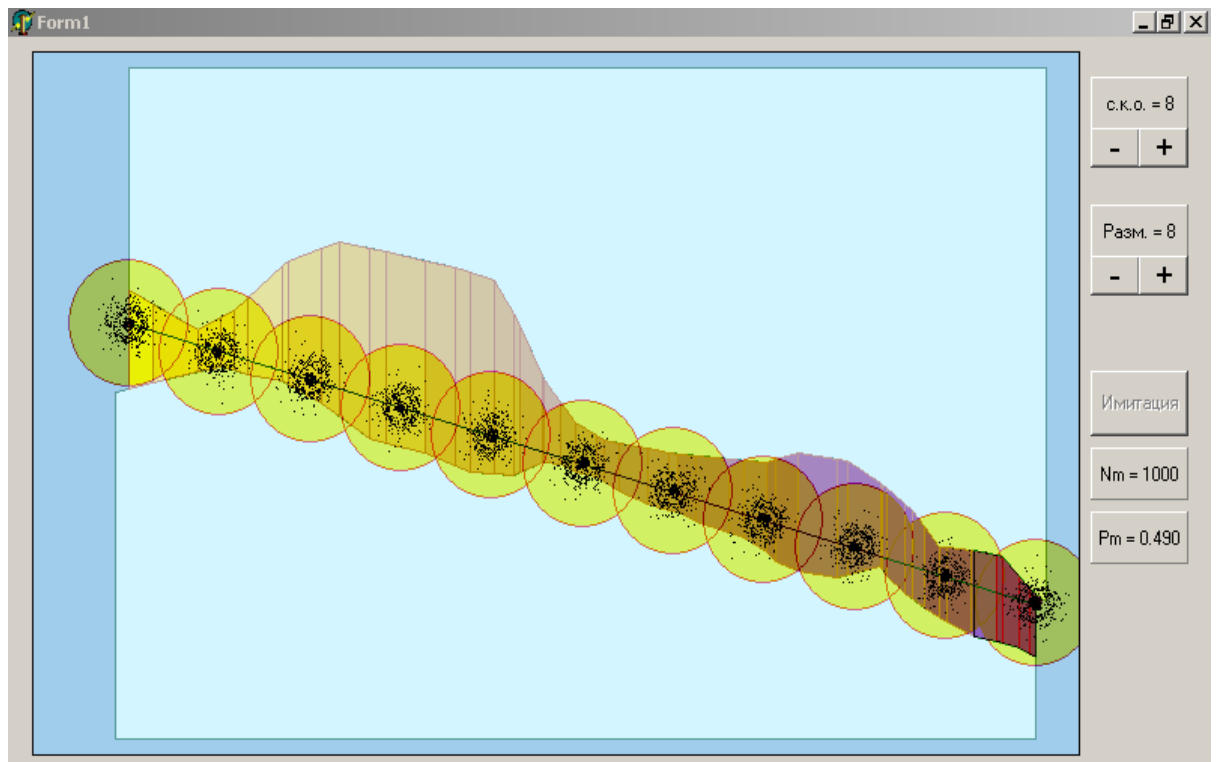


Рисунок 3.4 - Плавання судна в стислих водах з неприпустимою P_{bn}

3.2. Альтернативний спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання за допомогою одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна.

Спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання застосуванням двовимірної щільності розподілу позиційної векторіальної похибки з формалізованою безпечною областю плавання, заданої на площині, як указувалося вище, є достатньо складним і громіздким.

Тому запропонуємо еквівалентний спосіб розрахунку апріорної вірогідності P_b , формулюючи задачу в рамках одновимірного простору з використанням одновимірної щільності похибки бічного ухилення судна. Вважаємо,

що допустима область безпечного плавання D задана аналітичним описом її правої $G_{st}(X, Y)$ і лівої $G_{pt}(X, Y)$ меж. У допустимій безпечній області D також задана програмна траєкторія руху судна $Tr_{pr}(X, Y)$, причому кожна точка програмної траєкторії характеризується парою нормальних відстаней від програмної траєкторії руху до правої і лівої меж безпечної області. Ці відстані позначені відповідно $L_{st}(X, Y)$ і $L_{pt}(X, Y)$, враховуючи, що $(X, Y) \in Tr_{pr}(X, Y)$.

Рух судна по програмній траєкторії супроводжується його неминучими бічними відхиленнями, які при дії збурюваних чинників, носять випадковий характер. Виникнення випадкових бічних відхилень обумовлене стохастичною природою похибок обсервації і счислення судна і його ризиканнями під дією чинників, урахування яких принципово неможливе. У зв'язку з цим бічні відхилення судна при реалізації програмної траєкторії руху $Tr_{pr}(X, Y)$ розглядатимемо як суму двох випадкових величин: позиційних похибок при визначенні місця судна і бічних переміщень, що виникають при ризиканні рухомого судна. Позначимо бічне відхилення через $\Delta_b = \Delta_p + \Delta_r$,

де Δ_p і Δ_r - відповідно похибки в положенні судна щодо програмної траєкторії, викликані позиційними похибками і ризиканнями судна.

Для того, щоб судно безпечно пройшло заданим обмеженим районом необхідно, щоб його траєкторія руху належала допустимій безпечній області плавання, - це означає, що всі бічні відхилення судна від програмної траєкторії руху $Tr_{pr}(X, Y)$ на всьому її протязі не повинні перевершувати нормальних відстаней $L_{st}(X, Y)$ і $L_{pt}(X, Y)$ до меж допустимої області. Умовимося надалі нормальні відстані $L_{st}(X, Y)$ до правої межі безпечної області плавання D вважати позитивними, а до лівої межі $L_{pt}(X, Y)$ - негативними.

Очевидно, вірогідність ρ_i того, що окремо взяте i -е бічне відхилення Δ_{bi} не перевершує нормальні відстані $L_{sti}(X,Y)$ і $L_{pti}(X,Y)$ до правої і лівої меж допустимої області плавання визначається наступним аналітичним виразом:

$$\rho_i = P\{L_{pti} \leq \Delta_{bi} \leq L_{sti}\} = \int_{-L_{pti}}^{L_{sti}} f(x) dx,$$

де $f(x)$ – щільність розподілу бічного відхилення судна від програмної траєкторії руху.

Якщо врахувати, що праву частину одержаної рівності можна виразити через функцію розподілу $F(x)$ бічного відхилення, тобто:

$$\int_{-L_{pti}}^{L_{sti}} f(x) dx = F(L_{sti}) - F(-L_{pti}),$$

то вірогідність ρ_i описується наступною формулою:

$$\rho_i = P\{L_{pti} \leq \Delta_{bi} \leq L_{sti}\} = F(L_{sti}) - F(-L_{pti}).$$

Для безаварійної проводки судна по програмній траєкторії необхідно, як вже наголошувалося, щоб всі точки істинної траєкторії руху судна належали безпечній області плавання D . Якщо розглядати велике число передбачуваних проводок суден, то вірогідність ρ_i сусідніх точок програмної траєкторії можна розглядати як вірогідність незалежних подій, а загальну вірогідність P безпечної проводки судна по безпечній області D одержимо як добуток вірогідності ρ_i по всіх точках програмної траєкторії:

$$P = \prod_i \rho_i, \quad \text{або} \quad P = \prod_i [F(L_{sti}) - F(-L_{pti})].$$

Звертаємо увагу, що $F(L_{sti}) - F(-L_{pti}) = F(L_{sti}) + F(L_{pti})$, тому можливий запис:

$$P = \prod_i [F(L_{sti}) + F(L_{pti})].$$

Запишемо вираз для вірогідності P в експоненціальному вигляді, враховуючи, що справедливе співвідношення $P = \exp(\ln P)$, тобто:

$$P = \exp\{\ln \prod_i [F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\}.$$

Очевидно, що має місце співвідношення:

$$\ln\{\prod_i [F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\} = \sum_{i=1}^S \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})],$$

з урахуванням якого одержимо наступний вираз для вірогідності P :

$$P = \exp\left\{\sum_{i=1}^S \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\right\}, \quad (3.5)$$

де s – довжина програмної траєкторії в допустимій області безпечного плавання.

Із збільшенням нормальних відстаней L_{sti} і L_{pti} сума доданків $F(L_{sti}) + F(L_{pti})$ наближається до 1, а її логарифм – до 0 з боку негативних значень. У виразі (3.5) суму можна відобразити у вигляді визначного інтегра-

лу, вибираючи одиницю вимірювання довжини s достатньо малою. Тому (3.5) можна записати в наступному вигляді:

$$P = \exp\left\{\int_0^s \ln[F(L_{st}) + F(L_{pt})] ds\right\}, \quad (3.6)$$

У показнику експоненти (3.6) число менше або рівне нулю, що визначає величину вірогідності P меншої або рівнішої 1.

Враховуючи, що ширина допустимої області в стислих районах плавання набагато менша, ніж довжина програмної траєкторії s , має сенс перетворити вираз для вірогідності P , виходячи з можливих значень ширини b допустимої безпечної області плавання D і частот їх повторень впродовж всієї довжини програмної траєкторії. Для цього скористаємося виразом (3.5), в якому суму логарифмів $\sum_{i=1}^s \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]$ можна представити в наступному вигляді:

$$\sum_{i=1}^s \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})] = \sum_{i=1}^{\Delta b} m_i \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})], \quad (3.7)$$

де $\Delta b = b_{\max} - b_{\min}$ - різниця між максимальною $b_{\max}$ і мінімальною $b_{\min}$ шириною допустимої безпечної області;

m_i - кількість пар нормальних відстаней L_{sti} і L_{pti} , в сумі складових ширину b_i .

Помножимо і розділимо праву частину виразу (3.7) на загальне число s складових суми, одержимо вираз для вірогідності P :

$$P = \exp\left\{s \sum_{i=1}^{\Delta b} \frac{m_i}{s} \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\right\}.$$

Відношення m_i / s є частотою повторення значення ширини допустимої області рівної b_i . Оскільки значення ширини b допустимої області змінюється від мінімального значення $b_{\min}$ до максимального, то й розподіл частот m_i / s по значеннях ширини b області D є характеристикою допустимої області, що дозволяє формалізувати її ступінь обмеженості. Вказану характеристику доцільно назвати розподілом частот по значеннях ширини допустимої області і формально представляти у вигляді щільності розподілу (аналогічно щільності розподілу вірогідності), яку позначимо $\varphi(b)$. При цьому вираз для вірогідності P приймає наступний вигляд:

$$P = \exp\left\{s \sum_{i=1}^{\Delta b} \varphi(b_i) \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\right\}. \quad (3.8)$$

Переходячи до інтегральної характеристики, вираз (3.8) перетвориться таким чином:

$$P = \exp\left\{s \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \varphi(b) \ln[F(L_{st}) + F(L_{pt})] db\right\}.$$

Одержаний вираз дозволяє зробити апіорну оцінку вірогідності залежно від основних істотних чинників: характеристики обмеженості $\varphi(b)$ допустимої області плавання D ; характеристик точності, забезпечуваної системою навігаційного устаткування, що виражаються в параметрах функції розподілу $F(b)$; вибору програмної траєкторії $T_{pr}(X, Y)$ в допустимій області плавання, що впливає на співвідношення нормальних відстаней L_{st} і $b - L_{st}$ і довжини програмної траєкторії s .

Характеристика обмеженості допустимої області плавання, яка показує, як часто зустрічається кожне з можливих значень ширини b області, характеризується її мінімальним $b_{\min}$, максимальним $b_{\max}$ значеннями і розподілом

частот $\phi(b)$, яке може бути задане в аналітичному або, як показано на рис. 3.5, в графічному вигляді. Слід зазначити справедливості співвідношення:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(b) db = \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \phi(b) db = 1.$$

Розташування програмної траєкторії $Tr_{pr}(X, Y)$ в допустимій області плавання доцільно характеризувати зсувом, причому характеристика зсуву враховує положення програмної траєкторії руху судна щодо геометричної середини області. Іншими словами, якщо для всіх точок програмної траєкторії права L_{sti} і ліва L_{pti} нормальні відстані до меж допустимої області рівні між собою, то характеристика зсуву, яку позначимо через Sm , очевидно буде рівна нулю.

Оцінку зсуву програмної траєкторії $Tr_{pr}(X, Y)$ пропонується проводити таким чином. Для кожної точки програмної траєкторії необхідно знайти праву L_{sti} і ліву L_{pti} нормальні відстані і порахувати половину різниці між ними, підсумувати ці половини різниць по всіх точках програмної траєкторії і нормувати її завдовжки s , тобто аналітично це можна представити таким чином:

$$Sm = \frac{1}{2s} \sum_{i=1}^s |L_{sti} - L_{pti}|.$$

Якщо врахувати, що $L_{sti} + L_{pti} = b_i$ і $L_{sti} = b_i - L_{pti}$, те справедливе елементарне співвідношення $(L_{sti} + L_{pti}) / 2 = b_i / 2 - L_{pti}$, за допомогою якого останній вираз можна записати в наступному вигляді:

$$Sm = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s |b_i / 2 - L_{pti}|.$$

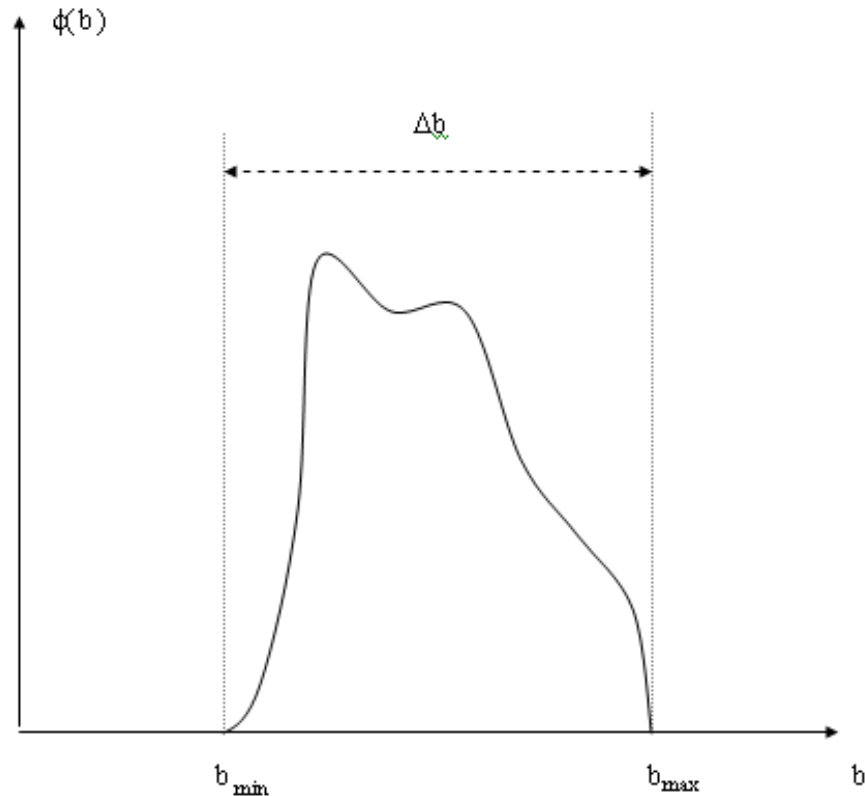


Рисунок 3.5 - Розподіл частот $\phi(b)$.

Очевидно, для незміщеної програмної траєкторії для всіх її точок справедлива рівність $L_{pti} = b_i/2$, завдяки чому S_m обертається в нуль.

Приведена характеристика зсуву S_m програмної траєкторії носить узагальнений характер, даючи загальне уявлення про ступінь відхилення програмної траєкторії щодо центральної лінії допустимої області, проте її не можна коректно використовувати для оцінки вірогідності P безпечної проводки судна по заданому маршруту.

Розглянемо наступну характеристику зсуву програмної траєкторії, позначаючи через δ_b величину зсуву в довільній точці програмної траєкторії, причому $\delta_b = \frac{1}{2} |S_{st} - S_{pt}|$, тобто є половиною модуля різниці нормальних відстаней. Отже, для кожної точки програмної траєкторії можна вказати зсув, проте доцільно групувати зсуви δ_{bi} по значеннях ширини b допустимої області безпечного плавання. Це значить, що на всьому протязі програмної траєкторії

для заданого значення b_i ширини b відбираються зсуви δ_{bij} і групуються по частоті появ. При цьому одержуємо умовний розподіл частот зсуву для ширини, яка приймає значення рівне b_i . Умовний розподіл частот зсуву δ_{bij} позначимо $\gamma(\delta_b/b_i)$, його графічне уявлення приведене на рис. 3.3. Зсув δ_b може приймати максимальне δ_{bmaxi} і мінімальне δ_{bmini} значення, причому через визначення δ_{bmaxi} не може перевершувати по величині половину значення ширини, тобто:

$$\delta_{bmaxi} \leq b_i / 2.$$

Об'єднуючи одержані результати по всіх значеннях ширини, одержимо безумовний розподіл частот $\gamma(\delta_b, b)$ появи зсувів залежно від значення ширини b допустимої області і величини зсуву δ_b . Покажемо, що запропонована характеристика зсуву програмної траєкторії $\gamma(\delta_b, b)$ дозволяє проводити оцінку безаварійної проводки судна Р.

За допомогою величини зсуву δ_b вірогідність ρ_i того, що окремо взяте і – е бічне відхилення Δ_{bi} не перевершує нормальні відстані $L_{sti}(X, Y)$ і $L_{pti}(X, Y)$ до правої і лівої меж допустимої області плавання записується таким чином:

$$\rho_i = P\{L_{pti} \leq \Delta_{bi} \leq L_{sti}\} = F\left(\frac{b_i}{2} - \delta_{bi}\right) + F\left(\frac{b_i}{2} + \delta_{bi}\right).$$

Середнє значення такої вірогідності ρ_{mi} для значення ширини b_i з урахуванням умовного розподілу частот $\gamma(\delta_b/b_i)$, визначається наступним аналітичним виразом:

$$\rho_{mi} = \int_{\delta_{bmin}}^{\delta_{bimax}} \gamma(\delta_b/b_i) F\left(\frac{b_i}{2} - \delta_b\right) + F\left(\frac{b_i}{2} + \delta_b\right) d\delta_b.$$

З урахуванням одержаної формули можна записати вираз для вірогідності безаварійної проводки судна в допустимій області, яке з урахуванням залежності (3.6) приймає наступний вигляд:

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

Аналіз одержаного виразу показує, що на величину вірогідності P впливають такі некеровані чинники, як довжина програмної траєкторії руху судна s і розподіл частот повторення значень ширини допустимої області $\phi(b)$. Хоча класифікація даних параметрів, як некерованих є в деякій мірі умовна, оскільки рішення розширити або подовжити допустиму область безпечного плавання переводить згадані параметри в множину керованих параметрів. Проте надалі вважатимемо, що допустима область безпечного плавання суден D є незмінною і параметри s і $\phi(b)$ є некерованими.

Характеристика зсуву програмної траєкторії щодо осьової лінії допустимої області $\gamma(\delta_b, b)$ є керованою характеристикою, оскільки орієнтація програмної траєкторії руху судна $Tr_{pr}(X, Y)$ проводиться при її попередній прокладці. Якщо врахувати, що програмна траєкторія руху судна є послідовністю відрізків локсодромії, то при її формуванні необхідно визначити число відрізків локсодромії і координати їх кінців (або значення курсів кожного відрізка локсодромії і його довжини). Тому програмну траєкторію руху судна $Tr_{pr}(X, Y)$ формально можна записати в наступному вигляді:

$$Tr_{pr}(X, Y) = \{X_{to}, Y_{to}, \bigcup_{i=1}^{Nt} (X_{ti}, Y_{ti})\},$$

де N_t - число відрізків локсодромії програмної траєкторії $Tr_{pr}(X, Y)$;

X_{to}, Y_{to} - початкові координати програмної траєкторії;

X_{ti}, Y_{ti} - координати кінця кожного з відрізків локсодромії програмної траєкторії.

Така форма представлення програмної траєкторії $Tr_{pr}(X, Y)$ (у вигляді сукупності координат) зручна для визначення зсуву і пошуку оптимального положення програмної траєкторії. У практичних додатках програмна траєкторія задається у формі сукупності відрізків локсодромії, виражених значеннями курсів і відстаней між кінцевими точками кожного з відрізків, тобто:

$$Tr_{pr}(X, Y) = \{X_{to}, Y_{to}, \bigcup_{i=1}^{N_t} (K_{ti}, S_{ti})\},$$

де K_{ti}, S_{ti} - значення курсу і довжини i -го відрізка локсодромії.

Тому після визначення оптимального розташування програмної траєкторії в допустимій області необхідно її перетворити з першої форми $\{X_{to}, Y_{to}, \bigcup_{i=1}^{N_t} (X_{ti}, Y_{ti})\}$ в другу $\{X_{to}, Y_{to}, \bigcup_{i=1}^{N_t} (K_{ti}, S_{ti})\}$.

Аналіз виразу (3.7) показує, що істотним чинником є точність визначення місця судна щодо програмної траєкторії руху, яка визначає щільність і функцію $F(x)$ розподілу бічного відхилення Δ_b судна. Даний істотний чинник залежить від структури і розміщення компонент системи навігаційного устаткування.

Оскільки щільність розподілу вірогідності $f(x)$ випадкового бічного відхилення Δ_b повинна підкорятися певному закону, то слід обговорити це питання докладно.

Загальноприйнятою є думка про те, що похибки навігаційних вимірювань розподілені по нормальному закону [86]. Проте останні дослідження показують, що закони розподілу випадкових похибок можуть відрізнятися від нормального, причому пропонується три основні альтернативні підходи до опису законів розподілу вірогідності похибок навігаційних вимірювань, з урахуванням того, що криві щільності розподілу вірогідності є унімодальними і симетричними щодо математичного очікування.

Основним підходом альтернативного опису випадкових похибок є опис змішаних розподілів вірогідності [34, 98], коли робиться припущення, що за незмінних зовнішніх умов похибки навігаційних вимірювань підкоряються нормальному закону розподілу з математичним очікуванням X_m і середнім квадратичним відхиленням (с. к. в.) σ , причому щільність розподілу вірогідності $f(x)$ в цьому випадку має наступний вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x - X_m)^2}{2\sigma^2}\right\}.$$

При зміні зовнішніх умов передбачається, що тип розподілу похибок навігаційних вимірювань не змінюється, тобто закон розподілу залишається нормальним, проте змінюється величина σ . Отже, апіорний розподіл вірогідності є змішаним, оскільки спостерігачу значення σ , що реалізувалося, невідомо. Тому випадковим чином σ може прийняти будь-яке значення з можливих значень. Передбачається, що випадкова зміна σ дає передумови вважати його випадковою величиною, яка теоретично може приймати значення від 0 до безкінечності. Очевидно, випадкова величина σ підлегла деякому закону розподілу вірогідності, щільність якого позначена $\varphi(\sigma)$. В цьому випадку щільність розподілу випадкових похибок виражається рандомізованим нор-

мальним розподілом, який прийнято називати змішаним. Аналітично щільність змішаного розподілу виражається таким чином:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{\varphi(\sigma)}{\sigma} \exp(-x^2/2\sigma^2) d\sigma.$$

При цьому щільність розподілу $\varphi(\sigma)$ випадкової величини σ повинна задовольняти наступним вимогам:

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} \varphi(\sigma) = 0 \quad \text{и} \quad \lim_{\sigma \rightarrow \infty} \varphi(\sigma) = 0.$$

Очевидно, що аналітичний вид щільності $\varphi(\sigma)$ визначає основні закономірності, властиву щільність $f(x)$ змішаного розподілу. У роботі [34] в якості щільності $\varphi(\sigma)$ використано розподіли Релея і логнормальне, причому тільки розподіл Релея дозволяє одержати щільність змішаного розподілу в явному вигляді, яка в цьому випадку є розподілом Лапласа.

Другим мотивом використання змішаних розподілів на базі нормального є, та обставина, що при накопиченні статистичного матеріалу по похибках навігаційних вимірювань в одну вибірку поміщаються матеріали одержані в різних зовнішніх умовах спостережень, що викликають варіацію значень σ . Тому вибірка не є однорідною, і її гістограма містить „важкі хвости”, тобто частоти попадання випадкової величини в граничні розряди гістограми значно більше, ніж при нормальному розподілі вірогідності похибок.

Другий альтернативний підхід опису законів розподілу похибок навігаційних вимірювань використовує модель формування узагальненого розподілу Пуассона [99]. Допускається, що точність вимірювання навігаційного параметра залежить від нескінченного числа чинників, причому кожний з них обумовлює поява елементарної похибки y_0 . Вважається, що всі елементарні

похибки y_0 незалежні і мають однакову щільність розподілу $g(y_0)$. Згадані чинники впливають на процес вимірювання випадковим чином, тобто число впливаючих чинників до є випадковою величиною. Отже, похибка вимірювання є сумою випадкового числа k елементарних похибок, а її щільність розподілу $f(x)$ представляє собою k -кратну згортку щільності $g(y_0)$. Якщо вірогідність появи і впливу на процес вимірювання кожного з чинників прийняти однаковою і рівною c/n , то вірогідність одночасного впливу k чинників на точність вимірювання підкоряється розподілу Пуассону [100], що має наступний вигляд:

$$P(n = k) = \frac{c^k}{k!} e^{-c},$$

а щільність розподілу вірогідності похибок вимірювання навігаційного параметра визначається виразом:

$$f(x) = e^{-c} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} g^{k*}(x),$$

де $g^{k*}(x)$ - k – кратна згортка щільності $g(y_0)$.

Оскільки k – кратна згортка щільності в явному вигляді і безперервні похідні вищих порядків існують тільки для нормального розподілу, то воно і вибрано як розподіл вірогідності елементарних похибок y_0 . При цьому щільність розподілу вірогідності $f(x)$ приймає наступний вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-c} \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{k} \frac{c^k}{k!} \exp\left\{-\frac{x^2}{2k\sigma^2}\right\}.$$

Обидва типи розподілів, і змішані, і узагальнені розподіли Пуассону володіють „важкими хвостами” і придатні для опису гістограм статистичних даних похибок вимірювань навігаційних параметрів.

Третій альтернативний підхід полягає в пропозиції використовувати деякі типи законів розподілу, які мають „важкі хвости”, симетричні, унімодальні і мають центральні моменти вищих порядків [101]. В якості таких розподілів пропонуються деякі типи кривої щільності розподілу вірогідності Пірсона (четвертого і сьомого типів), щільність розподілу яких відповідає раніше сформульованим вимогам.

Щільність розподілу відповідно четвертого і сьомого типу описується наступними виразами:

$$f(x) = \frac{A_m}{(\xi^2/2 + \lambda)^{m+1}}, \quad f(x) = \frac{A_m^*}{(\xi^2/2 + \lambda)^{m+3/2}},$$

де A_m та A_m^* - нормуючі множники,

m - істотний параметр, що приймає цілочисельні значення,

λ - масштабний параметр.

Особливістю таких розподілів є те, що вони асимптотично прагнуть до нормального розподілу при збільшенні істотного параметра.

Надалі припускати, що похибки вимірювання навігаційних параметрів розподілені по нормальному закону, оскільки альтернативні підходи вибирають базовим нормальний розподіл і модифікують його з урахуванням випадкової зміни умов спостережень, одержуючи змішані закони розподілу або узагальнений розподіл Пуассона, які є універсальними законами розподілу для середньостатистичних умов спостереження. У реальних умовах похибки навігаційних вимірювань за стабільних умов підкоряються нормальному закону розподілу вірогідності, тому і похибки визначення місця судна також

мають нормальний розподіл, що підтверджує коректність використання нормального розподілу.

3.3. Перетворення двовимірної щільності позиційної похибки судна в одновимірну щільність похибки його бічного відхилення.

Для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна по вибраному маршруту доцільно застосування математичної моделі з одновимірною щільністю розподілу бічного відхилення судна від програмної траєкторії руху, коли відома двовимірна щільність розподілу векторіальної позиційної похибки. Отже, слід знайти вираз одновимірної щільності $f_b(z)$ бічного відхилення z при заданій двовимірній щільності розподілу вірогідності позиційної траєкторної похибки $f(x, y)$.

У загальному випадку двовимірна щільність розподілу Гауса має вигляд:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + 2\frac{xy}{\sigma_{xy}}\right)\right],$$

де σ_x та σ_y - середні квадратичні відхилення векторіальної похибки відповідно по осях x і y , причому:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad \sigma_y = \sqrt{D_y} \quad \text{и} \quad \sigma_{xy} = \sqrt{D_{xy}}.$$

З другого боку коваріаційна матриця $K(x, y)_{\min}$ виражається через центральні і змішані моменти другого порядку таким чином:

$$K(x, y)_{\min} = \begin{vmatrix} D_x & D_{xy} \\ D_{yx} & D_y \end{vmatrix}.$$

Для виключення недіагонального елементу D_{xy} коваріаційної матриці $K(x, y)_{\min}$ при відомих елементах D_x , D_y і D_{xy} необхідно розрахувати кут повороту γ , який визначається умовою [102]:

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2D_{xy}}{D_x - D_y}.$$

При повороті на цей кут змінюються значення дисперсій D_x і D_y , які характеризують діагональну коваріаційну матрицю $K(x, y)_{\min 1}$, а нові значення дисперсій позначені D_{x1} і D_{y1} , тобто:

$$K(x, y)_{\min 1} = \begin{vmatrix} D_{x1} & 0 \\ 0 & D_{y1} \end{vmatrix}.$$

Матрицю $K(x, y)_{\min 1}$ і, отже, її елементи D_{x1} і D_{y1} знаходяться за допомогою співвідношення [102]:

$$K(x, y)_{\min 1} = G K(x, y)_{\min} G^T,$$

де G – матриця перетворення, елементи якої, як показано в [102], визначаються наступними формулами:

$$g_{11} = g_{22} \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{(D_x - D_y)}{\sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}} \right] \right\}^{1/2},$$

$$g_{21} = -g_{12} = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \frac{(D_x - D_y)}{\sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}} \right] \right\}^{1/2}.$$

Отже, коваріаційна матриця некорельованих випадкових величин $K(x, y)_{\min 1}$ визначається таким чином:

$$K_{\Sigma}(x, y)_{\min 1} = \begin{vmatrix} D_{\Sigma x1} & 0 \\ 0 & D_{\Sigma y1} \end{vmatrix}.$$

Нові значення дисперсій розраховуються по формулах:

$$D_{\Sigma x1} = \frac{1}{2} [D_{\Sigma x} + D_{\Sigma y} + \sqrt{4D_{\Sigma xy}^2 + (D_{\Sigma x} - D_{\Sigma y})^2}];$$

$$D_{\Sigma y1} = \frac{1}{2} [D_{\Sigma x} + D_{\Sigma y} - \sqrt{4D_{\Sigma xy}^2 + (D_{\Sigma x} - D_{\Sigma y})^2}].$$

Після вказаних перетворень вираз двовимірної щільності $f(x, y)$ приймає наступний вигляд:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right],$$

Таким чином, двовимірна щільність $f(x, y)$ при нормальному законі розподілу може бути представлена системою незалежних складових x і y , другий змішаних момент яких рівний нулю, а коваріаційна матриця містить дисперсії σ_{x1}^2 і σ_{y1}^2 .

На рис. 3.6 показана залежність бічного відхилення z від складових x і y векторіальної позиційної похибки, а також курсу судна K .

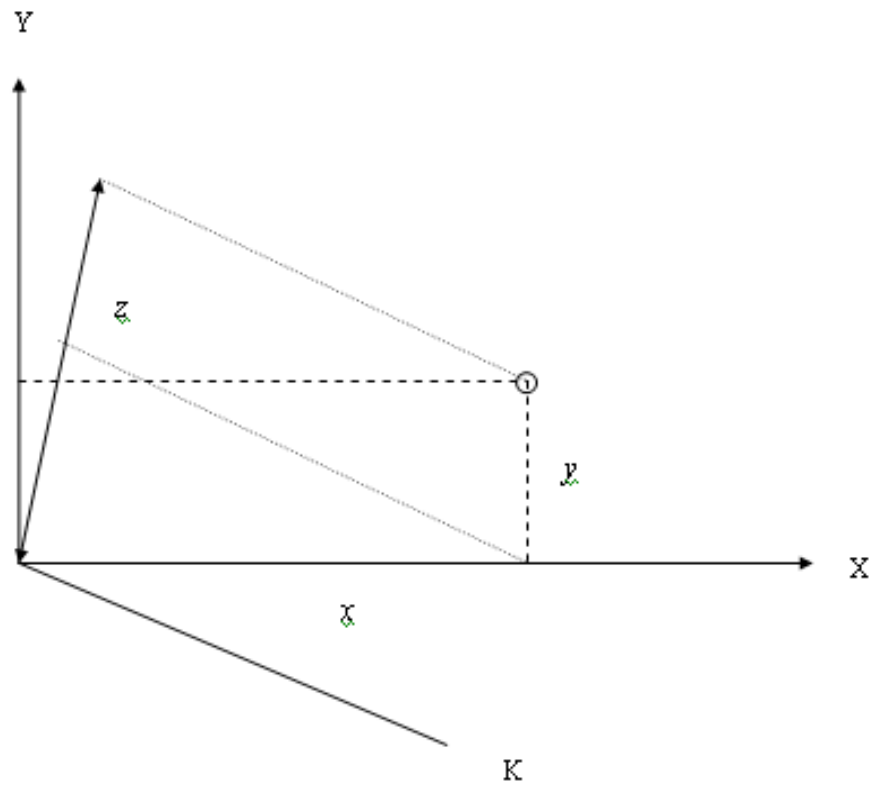


Рисунок 3.6 - Залежність бічного відхилення z від складових x і y

З рис. 3.6 знаходимо:

$$z = x \sin\left(K - \frac{\pi}{2}\right) + y \cos\left(K - \frac{\pi}{2}\right), \text{ або}$$

$$z = y \sin K - x \cos K.$$

В цьому випадку бічне відхилення z також підкорятиметься нормальному закону з параметрами [86]:

$$m_z = m_y \sin K - m_x \cos K,$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K,$$

де m_z і σ_z^2 - відповідно математичне очікування і дисперсія бічного відхилення;

m_x і m_y - математичні очікування складових x і y .

Таким чином, вираз для щільності розподілу бічного відхилення приймає наступний вигляд:

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(z - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right], \text{ або}$$

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}} \exp\left\{-\frac{[z - (m_y \sin K - m_x \cos K)]^2}{2(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}\right\}.$$

Звертаємо увагу на те, що вірогідність ρ_i того, що окремо взятє i – е бічне відхилення z не перевершує нормальні відстані $L_{sti}(X,Y)$ і $L_{pti}(X,Y)$ до правої і лівої меж допустимої області плавання визначається наступним аналітичним виразом:

$$\rho_i = P\{L_{pti} \leq z \leq L_{sti}\} = \int_{-L_{pti}}^{L_{sti}} f_b(z) dz,$$

де $f_b(z)$ – щільність розподілу бічного відхилення судна від програмної траєкторії руху.

Для безаварійної проводки судна по програмній траєкторії необхідно, щоб всі точки істинної траєкторії руху судна належали безпечній області плавання, тому вірогідність P безпечної проводки судна по безпечній області D одержимо як добуток вірогідності ρ_i по всіх точках програмної траєкторії:

$$P = \prod_i \rho_i, \quad \text{або} \quad P = \prod_i \int_{-L_{pti}}^{L_{sti}} f_b(z) dz.$$

Підставляючи вираз щільності $f_b(z)$, одержимо:

$$P = \prod_i \int_{-L_{pti}}^{L_{sti}} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}} \exp\left\{-\frac{[z - (m_y \sin K - m_x \cos K)]^2}{2(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}\right\} dz.$$

3.4. Висновки за третім розділом.

У третьому розділі представлена математична модель оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих умовах з урахуванням характеристик району плавання і застосування двовимірної щільності позиційної похибки. Показано, що середнє значення вірогідності безпечного плавання з урахуванням частоти перебування суден в стислих районах визначає інтенсивність потоку аварійних випадків внаслідок посадок на міліну.

В розділі розглянуто альтернативний спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання за допомогою одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху судна в обмеженому районі. Одержаний вираз для вірогідності безпечного плавання враховує характеристику обмеженості району плавання, яка визначається безпечною областю плавання. Введено поняття зсуву програмної траєкторії плавання і показано її вплив на оцінку безпеки судноводіння.

Показана залежність вірогідності безпечного плавання від закону розподілу похибок бічного відхилення, причому розглянуті нормальний закон, два типи змішаних законів розподілу і узагальнений закон Пуасону.

У завершальному підрозділі показане перетворення векторіальної позиційної похибки в похибку бічного відхилення і отримана одновимірна щільності похибки бічного відхилення з двовимірної щільності векторіальної позиційної похибки.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУР ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПРОХОДЖЕННЯ СТИСЛОГО МАРШРУТУ.

4.1. Процедура формалізації основних параметрів для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в заданому обмеженому районі.

У попередньому розділі був одержаний вираз для вірогідності безаварійної проводки судна P в допустимій області, який має наступний вигляд:

$$P = \exp \left\{ s \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \varphi(b) \ln \left\{ \int_{\delta_{b\min}}^{\delta_{b\max}} \gamma(\delta_b, b) \left[F\left(\frac{b}{2} - \delta_b\right) + F\left(\frac{b}{2} + \delta_b\right) \right] d\delta_b \right\} db \right\}, \quad (4.1)$$

де s - довжина програмної траєкторії;

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

$b_{\min}$ і $b_{\max}$ - мінімальне і максимальне значення ширини b ;

$\gamma(\delta_b/b)$ - умовний розподіл частот зсуву δ_b ;

$F(x)$ - функція розподілу похибки x бічного відхилення Δ_b .

Для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна P за допомогою виразу (4.1) доцільно його перетворити до дискретного вигляду. У попередньому розділі був одержаний вираз (3.5), в якому показник експоненти Q мав вигляд:

$$Q = \sum_{i=1}^s \ln [F(L_{sti}) + F(L_{pti})].$$

Враховуючи, що нормальні відстані $L_{sti} = \frac{b_i}{2} - \delta_{bi}$ і $L_{pti} = \frac{b_i}{2} + \delta_{bi}$, отримаємо:

$$Q = \sum_{i=1}^s \ln[F(\frac{b_i}{2} - \delta_{bi}) + F(\frac{b_i}{2} + \delta_{bi})].$$

Якщо $\Delta b = b_{\max} - b_{\min}$, то число значень нормальної ширини $s = \Delta b m_i$, де m_i - число значень ширини b_i . Отже:

$$Q = \sum_{i=0}^{\Delta b} \left\{ \sum_{j=1}^{m_i} \ln[F(\frac{b_{\min} + i}{2} - \delta_{bij}) + F(\frac{b_{\min} + i}{2} + \delta_{bij})] \right\}.$$

Тому вираз для оцінки вірогідності безпечного проходження обмеженого району:

$$P = \exp \left\{ \sum_{i=0}^{\Delta b} \left\{ \sum_{j=1}^{m_i} \ln[F(\frac{b_{\min} + i}{2} - \delta_{bij}) + F(\frac{b_{\min} + i}{2} + \delta_{bij})] \right\} \right\}.$$

Надалі для обмеженого району вимагається визначити наступні характеристики: параметри обмеженості Δb , $b_{\min}$, одновимірний масив m_i і двовимірний масив значень зсуву траєкторії δ_{bij} . Для визначення цих характеристик необхідно мати в своєму розпорядженні аналітичний опис правої $G_{st}(X, Y)$ і лівої $G_{pt}(X, Y)$ меж допустимої області безпечного плавання, а також програмної траєкторії руху судна $Tr_{pr}(X, Y)$. Задаватимемо межі $G_{st}(X, Y)$, $G_{pt}(X, Y)$ і програмну траєкторію $Tr_{pr}(X, Y)$ у вигляді масивів точок прямокутної системи координат XOY (рис. 4.1). Права межа $G_{st}(X, Y)$ представлена масивом точок $\{X_{si}, Y_{si}\}$, ліва межа $G_{pt}(X, Y)$ - масивом точок $\{X_{pi}, Y_{pi}\}$, а програмна траєкторія руху $Tr_{pr}(X, Y)$ задана масивом точок $\{X_{ti}, Y_{ti}\}$. Для розрахунку характеристик обмеженого району доцільно перетворити масиви точок зламу меж області D і програмної траєкторії руху судна в масиви, що містять початкову точку, а також довжину і напрям кожного

відрізка між сусідніми точками зламу шматково-лінійної апроксимації меж безпечної області плавання або ділянок локсодромії програмної траєкторії. Для програмної траєкторії таке уявлення є природним, тобто $\tilde{T}_{r_{pr}} = \{X_{t1}, Y_{t1}, K_i, S_i\}$, а для меж області аналогічно $\tilde{G}_{st} = \{X_{s1}, Y_{s1}, \beta_{si}, L_{si}\}$ і $\tilde{G}_{pt} = \{X_{p1}, Y_{p1}, \beta_{pi}, L_{pi}\}$, причому довжина L_i і напрям β_i i -го відрізка межі виражаються через елементи початкового масиву таким чином:

$$L_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2};$$

$$\beta_i = \begin{cases} \psi_i, & \text{при } \Delta X_i > 0, \Delta Y_i > 0, \\ \pi - \psi_i, & \text{при } \Delta Y_i < 0, \\ 2\pi + \psi_i, & \text{при } \Delta X_i < 0, \Delta Y_i > 0, \end{cases}$$

де $\Delta X_i = X_{i+1} - X_i$, $\Delta Y_i = Y_{i+1} - Y_i$;

$\psi_i = \arcsin[\Delta X_i / L_i]$.

Наприклад, для першого відрізка лівої межі:

$$L_{p1} = \sqrt{(X_{p2} - X_{p1})^2 + (Y_{p2} - Y_{p1})^2}, \quad \beta_{p1} = \pi - \arcsin \frac{X_{p2} - X_{p1}}{L_{p1}},$$

а для третього відрізка правої межі:

$$L_{s3} = \sqrt{(X_{s4} - X_{s3})^2 + (Y_{s4} - Y_{s3})^2}, \quad \beta_{s3} = \arcsin \frac{X_{s4} - X_{s3}}{L_{s3}}.$$

Розглянемо як за допомогою модифікованих масивів меж безпечної області

$\tilde{G}_{st} = \{X_{s1}, Y_{s1}, \beta_{si}, L_{si}\}$, $\tilde{G}_{pt} = \{X_{p1}, Y_{p1}, \beta_{pi}, L_{pi}\}$ і програмній траєкторії

$\tilde{Tr}_{pr} = \{X_{t1}, Y_{t1}, K_i, S_i\}$ знайти в заданій точці траєкторії нормальну ширину b_i і зсув δ_{bi} . Для цього спочатку необхідно знайти нормальні відстані L_{sti} і L_{pti} .

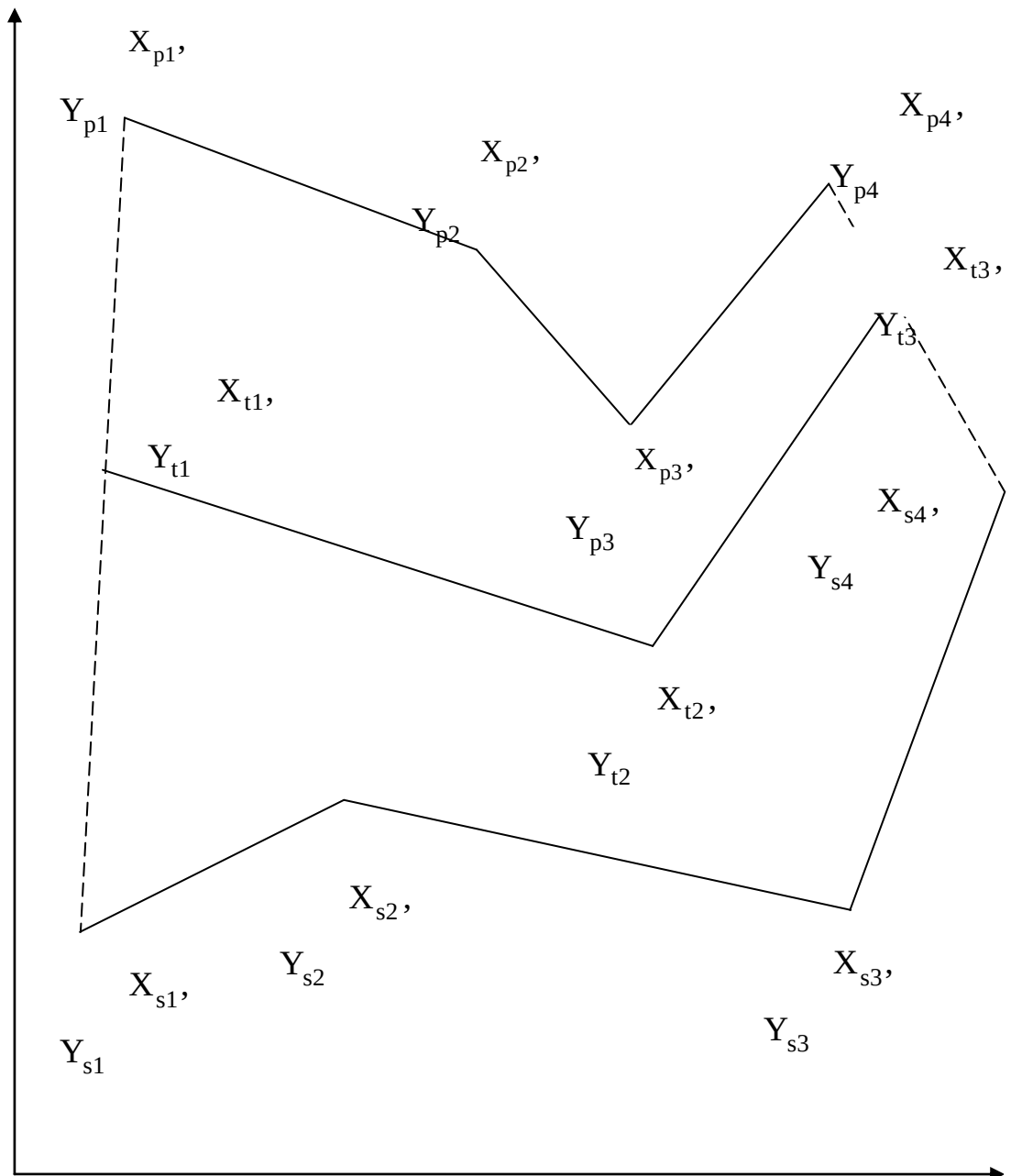


Рисунок 4.1 - Межі області D і програмна траєкторія судна

На рис. 4.2 показаний відрізок лівої межі безпечної області з кутом орієнтації β_{pt} і ділянка локсодромії з курсом K . Припустимо, на локсодромії вибрана точка з координатами (X_t, Y_t) . Очевидно, що нормальна відстань L_{pt} рівна відстані між точками (X_t, Y_t) і (X_k, Y_k) . Якщо координати точки (X_t, Y_t) задані, то для визначення величини L_{pt} необхідно знайти координати точки (X_k, Y_k) .

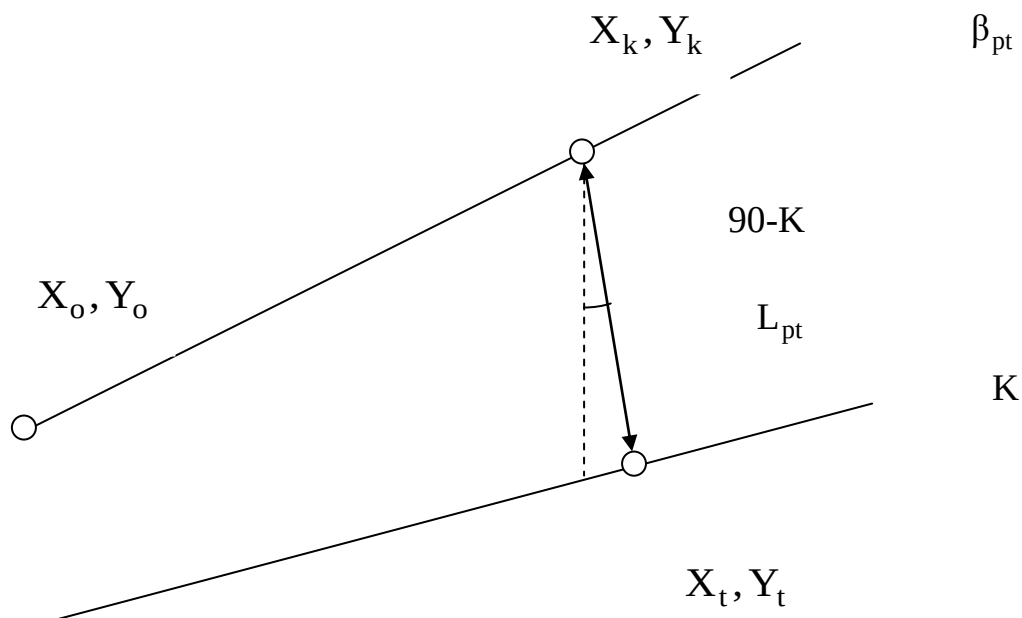


Рисунок 4.2 - Визначення нормальної відстані L_{pt}

Звертаємо увагу на ту обставину, що точка (X_k, Y_k) є точкою перетину ділянки лівої межі області безпечного плавання і лінією, перпендикулярною ділянці програмної траєкторії, яка проходить через задану крапку (X_t, Y_t) . Дана обставина дозволить знайти координати точки (X_k, Y_k) , що одночасно належить двом лініям, для чого необхідно знайти рівняння обох ліній, скласти з них систему рівнянь, що містять як невідомі координати X_k і Y_k . Тому

запишемо рівняння ділянки лівої межі, як прямої лінії, що проходить через точки (X_k, Y_k) і (X_o, Y_o) із заданим кутом орієнтації, причому точка (X_o, Y_o) є початковою точкою ділянки межі (точка зламу між сусідніми ділянками межі). Очевидно, що справедливе співвідношення:

$$\frac{X_k - X_o}{Y_k - Y_o} = \operatorname{tg} \beta_{pt}, \quad (4.2)$$

звідки одержуємо рівняння ділянки лівої межі:

$$(X_k - X_o) \cos \beta_{pt} = (Y_k - Y_o) \sin \beta_{pt}, \quad (4.3)$$

яке містить шукані змінні X_k і Y_k .

Для складання рівняння прямої лінії, перпендикулярної ділянці програмної траєкторії, яка проходить через задану точку (X_t, Y_t) скористаємося співвідношенням, аналогічним попередньому (4.2):

$$\frac{X_t - X_k}{Y_t - Y_k} = \operatorname{tg}(90 - K) = \operatorname{ctg} K.$$

З приведеної рівності одержимо друге рівняння:

$$(X_t - X_k) \sin K = (Y_t - Y_k) \cos K. \quad (4.4)$$

Об'єднуючи рівняння (4.3) і (4.4) одержимо систему лінійних рівнянь щодо невідомих змінних X_k і Y_k :

$$\begin{cases} (X_k - X_o) \cos \beta_{pt} = (Y_k - Y_o) \sin \beta_{pt}, \\ (X_t - X_k) \sin K = (Y_t - Y_k) \cos K. \end{cases} \quad (4.5)$$

З першого рівняння системи (4.5) виразимо змінну X_k через Y_k :

$$X_k \cos \beta_{pt} - X_o \cos \beta_{pt} = Y_k \sin \beta_{pt} - Y_o \sin \beta_{pt},$$

або, розділивши на $\cos \beta_{pt}$:

$$X_k - X_o = Y_k \operatorname{tg} \beta_{pt} - Y_o \operatorname{tg} \beta_{pt},$$

звідки

$$X_k = Y_k \operatorname{tg} \beta_{pt} + A, \quad (4.6)$$

де $A = X_o - Y_o \operatorname{tg} \beta_{pt}$.

З другого рівняння системи (4.5):

$$(X_t - X_k) = (Y_t - Y_k) \operatorname{ctg} K,$$

звідки

$$X_k = Y_k \operatorname{ctg} K + X_t - Y_t \operatorname{ctg} K,$$

або, позначаючи $B = X_t - Y_t \operatorname{ctg} K$, одержимо:

$$X_k = Y_k \operatorname{ctg} K + B.$$

У одержане рівняння підставляємо вираз (4.6) для X_k :

$$Y_k \operatorname{tg} \beta_{pt} + A = Y_k \operatorname{ctg} K + B \quad \text{або} \quad Y_k (\operatorname{tg} \beta_{pt} - \operatorname{ctg} K) = B - A.$$

Позначимо $C = \operatorname{tg} \beta_{pt} - \operatorname{ctg} K$ і знаходимо:

$$Y_k = \frac{B - A}{C}.$$

Таким чином, координати X_k і Y_k , визначаючи величину нормальної відстані L_{pt} , розраховуються по формулах:

$$\begin{aligned} Y_k &= \frac{B - A}{C}, \\ X_k &= \frac{B - A}{C} \operatorname{tg} \beta_{pt} + A, \end{aligned} \quad (4.7)$$

де $A = X_o - Y_o \operatorname{tg} \beta_{pt}$, $B = X_t - Y_t \operatorname{ctg} K$ та $C = \operatorname{tg} \beta_{pt} - \operatorname{ctg} K$.

Нормальна відстань L_{pt} обчислюється по очевидному виразу:

$$L_{pt} = \sqrt{(X_k - X_t)^2 + (Y_k - Y_t)^2}.$$

Аналогічно розраховується нормальна відстань до правої межі області безпечного плавання. При цьому координати точки (X_k, Y_k) розраховуються за допомогою формул:

$$\begin{aligned} Y_k &= \frac{B - A}{C}, \\ X_k &= \frac{B - A}{C} \operatorname{tg} \beta_{st} + A, \end{aligned} \quad (4.8)$$

де $A = X_o - Y_o \operatorname{tg} \beta_{st}$, $B = X_t - Y_t \operatorname{ctg} K$ та $C = \operatorname{tg} \beta_{st} - \operatorname{ctg} K$.

Звертаємо увагу, що вираз для величини C можна виразити через тригонометричні функції $\sin$ і $\cos$ кутів, що спрощує обчислення. Запишемо вираз для величини C :

$$C = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{ctg} K,$$

де кут β рівний куту β_{st} або β_{pt} залежно від межі області. Очевидно:

$$C = \frac{\sin\beta}{\cos\beta} - \frac{\cos K}{\sin K} = \frac{\cos(\beta + K)}{\frac{1}{2}[\sin(\beta + K) - \sin(\beta - K)]}.$$

Розглянемо декілька окремих випадків визначення нормальних відстаней, що виникають при знаходженні судна в районі точок зламу межі області безпечного плавання або програмної траєкторії руху. На рис. 4.3 показані дві ділянки межі безпечної області, що знаходяться між точками T_{k-1} , T_k і T_{k+1} , а також що характеризуються напрямками β_k і β_{k+1} . Коли судно знаходиться в точці N_t значення нормальної відстані визначається відрізком $N_t M_t$, причому координати точки M_t розраховуються по значеннях курсу K_s і напрямку β_k .

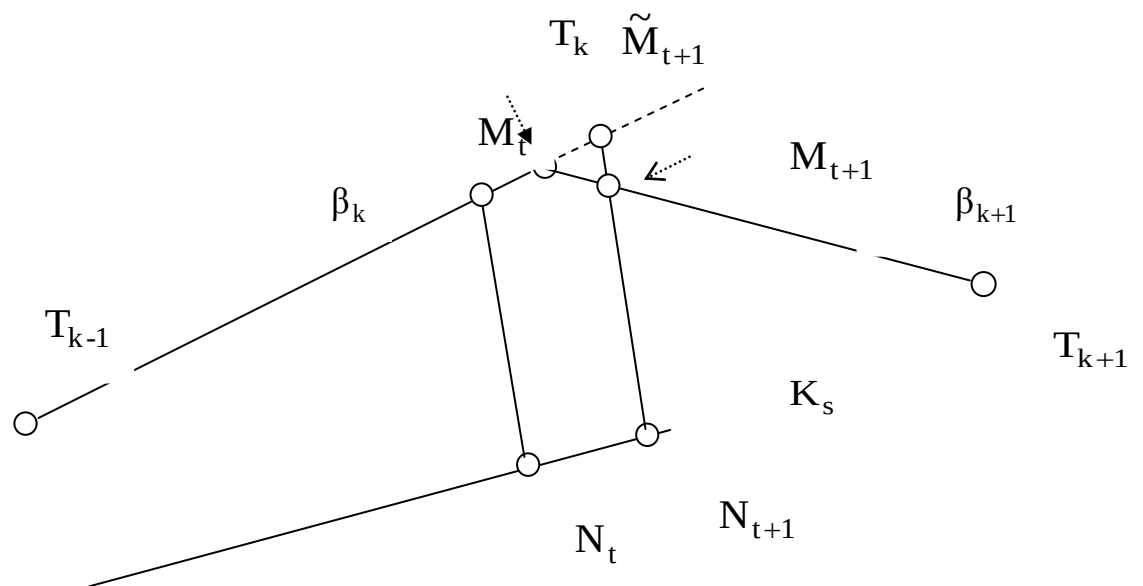


Рисунок 4.3 - Особливості визначення нормальної відстані в першому випадку

Якщо розрахунок координат чергової точки для позиції судна N_{t+1} , яка характеризує його положення на програмній траєкторії, виконувати по тих

же значеннях курсу K_s і напрямку β_k , то одержимо точку $\tilde{M}_{t+1}$, яка не належить до межі області безпечного плавання. Тому для отримання коректного значення нормальної відстані необхідно координати точки M_{t+1} , належній межі, розраховувати, застосовуючи напрям β_{k+1} . Отже, для кожної розрахованої точки слід проводити перевірку, чи належить вона межі області безпечного плавання. Ознакою такої приналежності є порівняння пеленга з розрахованої точки на подальшу точку зламу межі з напрямом поточної ділянки межі. Так, після розрахунку точки M_t по значеннях K_s і β_k пеленг з неї на подальшу точку зламу T_k співпадає з напрямом, що є ознакою приналежності $M_t \in (T_{k-1}, T_{k1})$. Для наступної позиції судна N_{t+1} розрахунок кінця нормальної відстані по значеннях K_s і β_k дає точки $\tilde{M}_{t+1}$.

Визначивши пеленг з неї на точки, переконуємося, що він відрізняється від напрямку β_k на 180° , і одержана точка $\tilde{M}_{t+1}$ не задовольняє умові приналежності, тобто $\tilde{M}_{t+1} \notin (T_{k-1}, T_{k1})$. З рис. 4.3 дійсно видно, що крапка не знаходиться на безпечній межі. Дана обставина визначає необхідність використовувати для розрахунку чергової ділянки безпечної межі з напрямом β_{k+1} і точкою зламу T_{k+1} . Розрахунок по β_{k+1} дає точки, що належить безпечній області, що видно з рис. 4.3. Це також підтверджується умовою приналежності: пеленг з M_{t+1} на точку зламу рівний напрямку ділянки β_{k+1} . Для даної ситуації кут напрямку β_{k+1} більше кута напрямку β_k .

Розглянемо ситуацію, коли $\beta_{k+1} < \beta_k$, яка показана на рис. 4.4. Ця ситуація аналогічна попередній і має місце при зміні напрямів послідовних ділянок межі безпечної області.

Якщо виникає ситуація одночасної зміни напрямів ділянок безпечної межі і програмної траєкторії, як показано на рис. 4.5, то для позиції судна N_t точка M_t , яка розрахована по напрямку β_{k+1} , курсу K_s і перевірена на умову

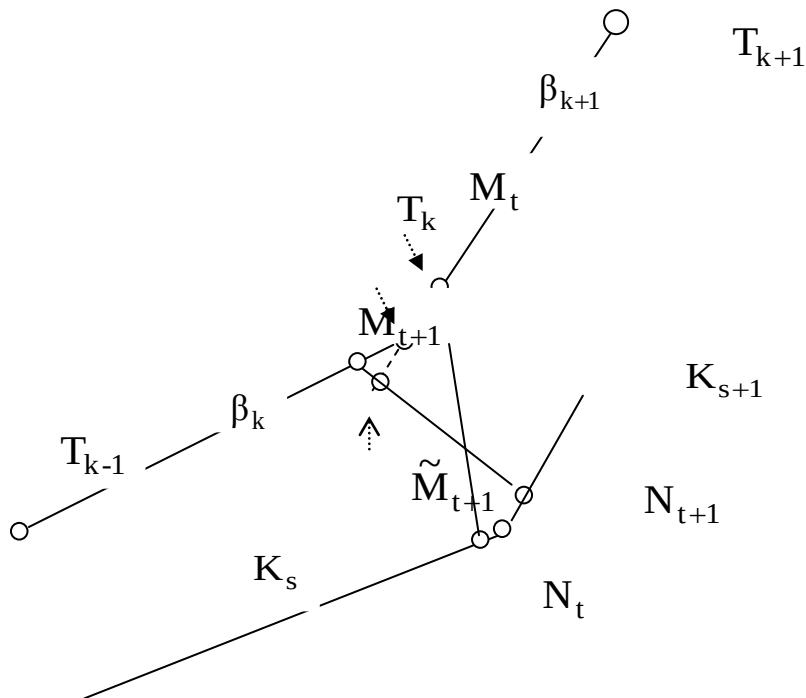


Рисунок 4.5 - Визначення нормальної відстані в третьому випадку

Для розрахунку характеристик обмеженого району була розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої формувалися початкові масиви правої $G_{st}(X, Y)$ і лівої $G_{pt}(X, Y)$ меж допустимої області D , а також програмної траєкторії руху судна $Tr_{pr}(X, Y)$. Приведемо спрощений приклад, в якому використовуються 4 точки кожної межі і програмної траєкторії, що задані в масштабі і приведені в екранній системі координат, а їх значення представлені в табл. 4.1.

Потім сформували модифіковані масиви меж безпечної області $\tilde{G}_{st} = \{X_{s1}, Y_{s1}, \beta_{si}, L_{si}\}$, $\tilde{G}_{pt} = \{X_{p1}, Y_{p1}, \beta_{pi}, L_{pi}\}$ і програмної траєкторії, $\tilde{Tr}_{pr} = \{X_{t1}, Y_{t1}, K_i, S_i\}$ значення яких представлені в табл. 4.2.

На рис. 4.6 показані межі безпечної області і програмна траєкторія руху судна, відповідні даному прикладу. За допомогою формул (4.7) і (4.8) розраховані нормальні відстані L_{pt} і L_{st} по всьому маршруту плавання, які відображені на рис. 4.7. Маючи в своєму розпорядженні одержані значення

Таблиця 4.1 - Початкові масиви $G_{st}(X, Y)$, $G_{pt}(X, Y)$ і $Tr_{pr}(X, Y)$

№	1	2	3	4
X_{pt}	100	206	308	428
Y_{pt}	200	132	209	102
X_{st}	118	254	343	430
Y_{st}	290	354	295	326
X_{pr}	104	233	339	417
Y_{pr}	252	263	234	247

Таблиця 4.2 - Модифіковані масиви $\tilde{G}_{st}$, $\tilde{G}_{pt}$ і $\tilde{Tr}_{pr}$

№	1	2	3
K°	95	75	99
S	129,5	109,9	79,1
β_p°	57	127	48
L_p	126,0	127,7	160,8
β_s°	115	56	110
L_s	150,3	106,8	92,4

нормальних відстаней L_{pt} і L_{st} , будується їх діаграма (рис. 4.8), де програмна траєкторія руху судна представлена прямою осьовою лінією, щодо якої відкладені нормальні відстані. З їх допомогою розраховуються значення нормальної ширини b , а потім зсуву δ_b :

$$b = L_{pt} + L_{st}, \quad \delta_b = \frac{b}{2} - L_{st}.$$

При $\delta_b > 0$ маємо зсув вправо щодо центральної лінії, яка проходить

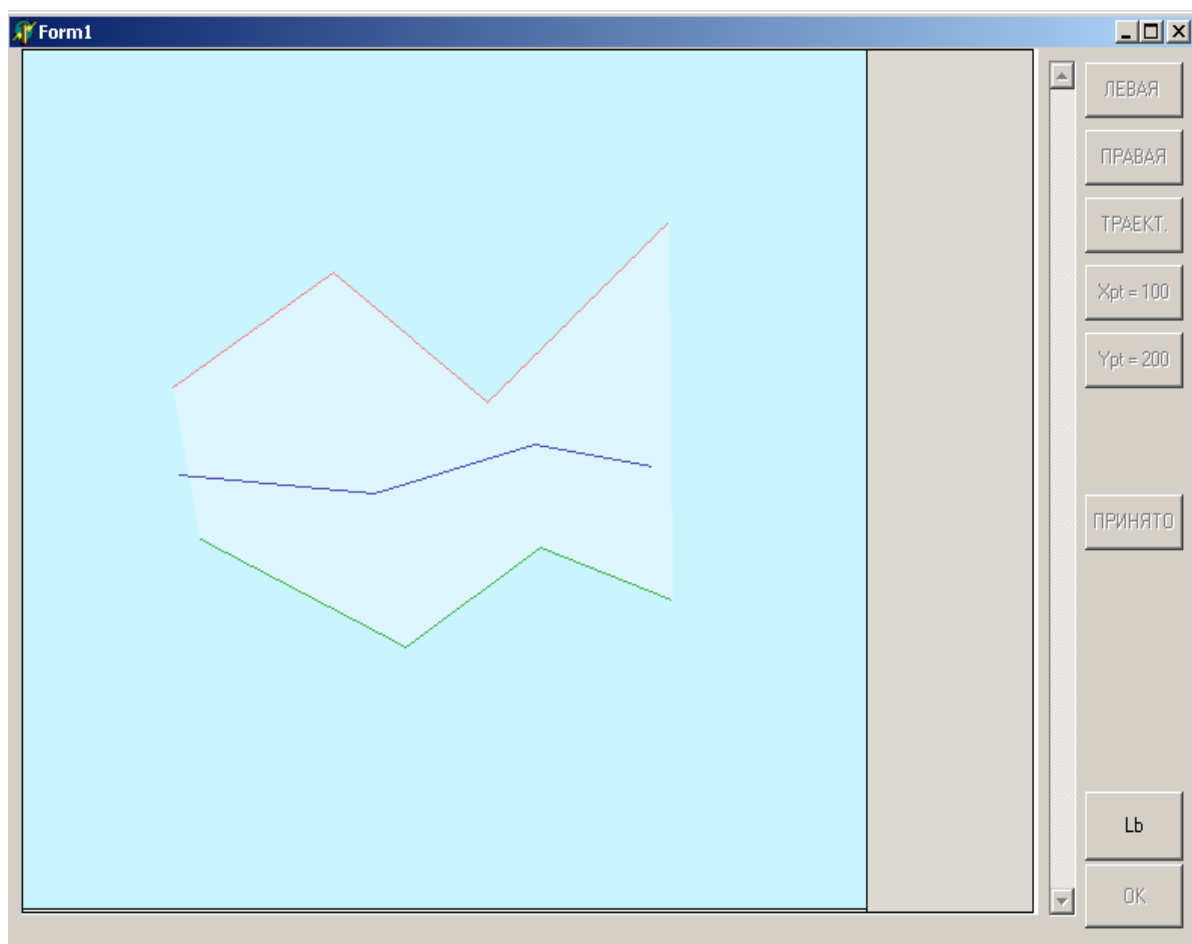


Рисунок 4.6 - Відображення безпечної області і траєкторії

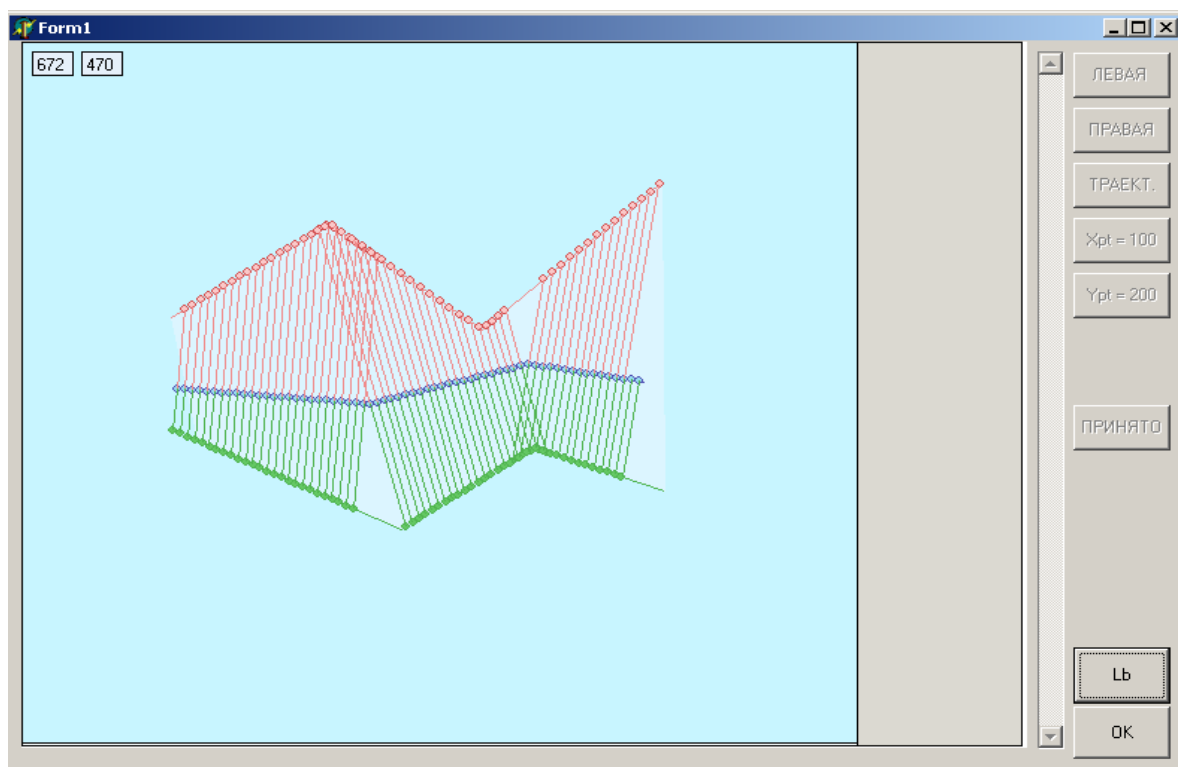


Рисунок 4.7 - Розрахунок і відображення нормальних відстаней L_{pt} і L_{st}



Рисунок 4.8 - Діаграма нормальних відстаней L_{pt} і L_{st}

через половинні значення ширини, а при $\delta_b < 0$ зсув направлений вліво. На рис. 4.9 показаний розподіл ширини b і зсуву δ_b по маршруту плавання щодо центральної лінії. З приведенного рисунка виходить, що в переважній більшості превалюють зсуви вправо.

Для визначення частот нормальної ширини різниця між мінімальним і максимальним значенням ширини, рівну 135, розділили на 8 розрядів, кожен завдовжки 16,9. Потім число значень ширини кожного розряду розділяли на загальне число значень, і одержали частоту розподілу значень широти по розрядах, що показано на рис. 4.10. Формою розподіл має подібність з гістограмою. Програма також розраховує середні значення ширини, рівне 158,4, а також середнє значення модуля зсуву, який складає 18,58 (рис. 4.10).

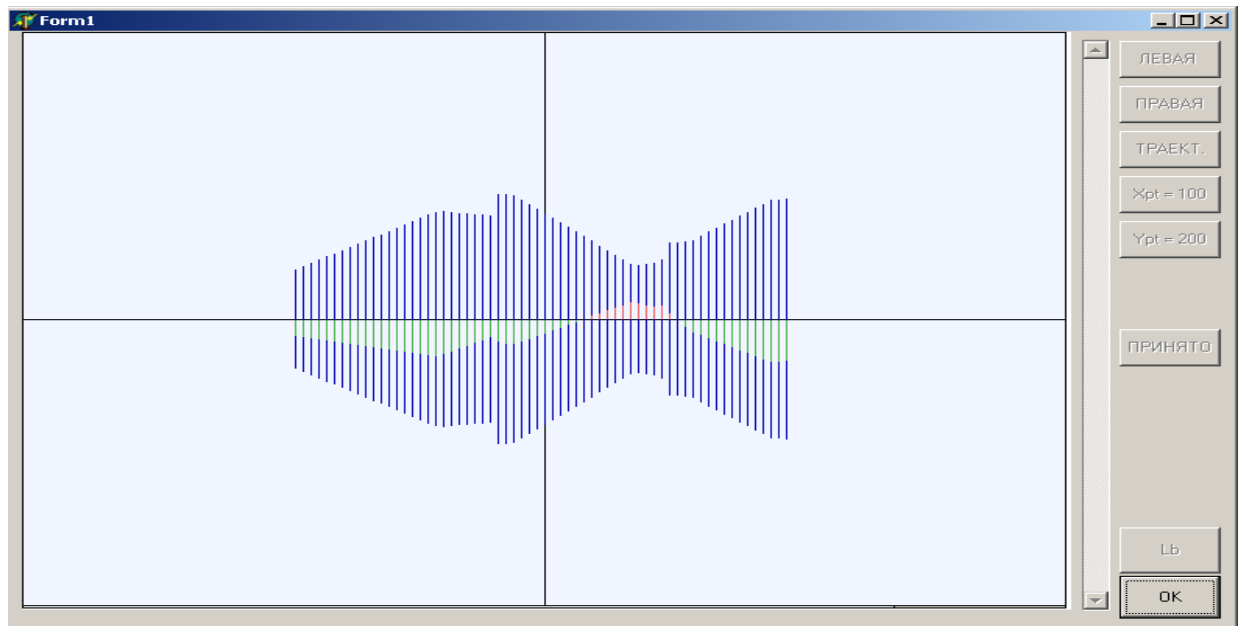


Рисунок 4.9 - Розподіл ширини і зсуву по маршруту плавання

Розглянемо ще один приклад, в якому масиви меж безпечної області $G_{st}(X, Y)$, $G_{pt}(X, Y)$, і програмній траєкторії $T_{pr}(X, Y)$ містять 9 точок

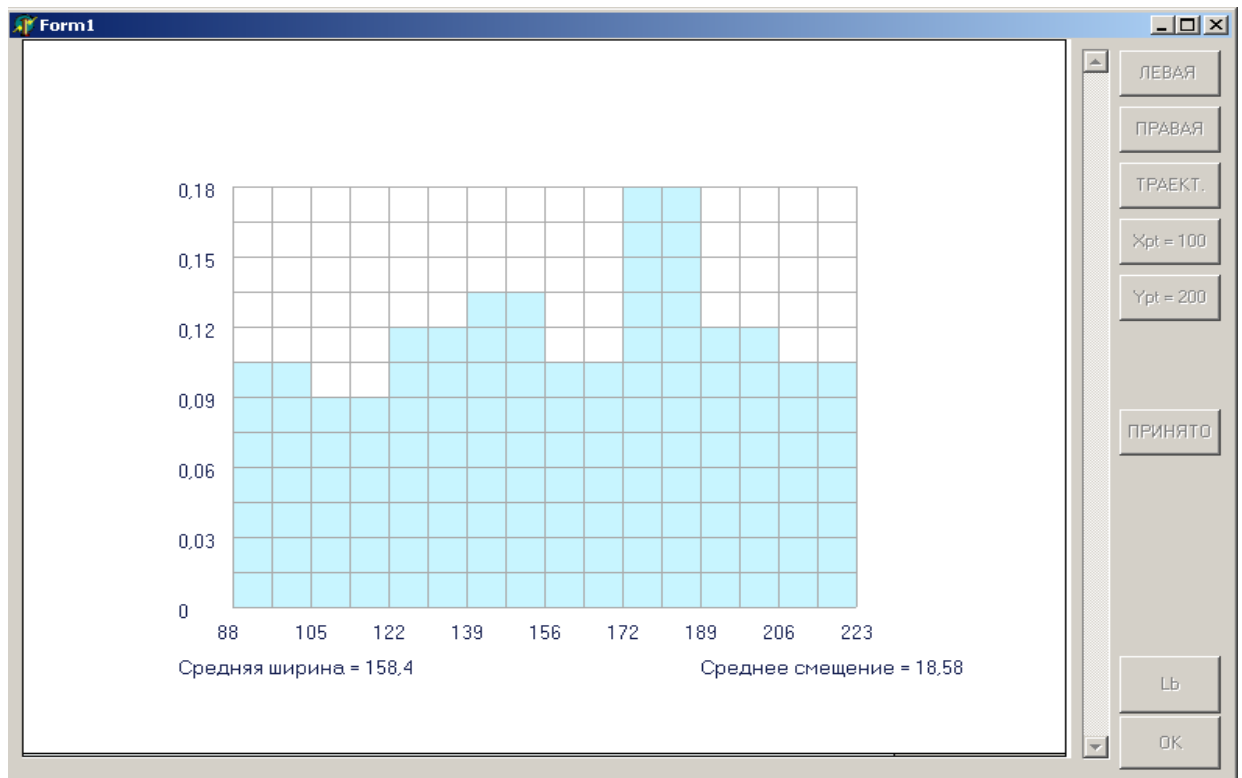


Рисунок 4.10 - Розподіл частот нормальної ширини

зламу, а координати цих крапок приведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Масиви $G_{st}(X, Y)$, $G_{pt}(X, Y)$ і $Tr_{pr}(X, Y)$ другого прикладу

№	X_{pt}	Y_{pt}	X_{st}	Y_{st}	X_{pr}	Y_{pr}
1	125	30	40	45	105	55
2	175	105	80	95	140	175
3	165	155	110	165	225	260
4	195	200	115	235	295	330
5	250	225	175	280	335	335
6	310	300	230	305	380	345
7	365	310	275	335	420	320
8	445	270	405	370	465	305
9	505	205	510	320	495	285

Початкові масиви $G_{st}(X, Y)$, $G_{pt}(X, Y)$ і $Tr_{pr}(X, Y)$ перетворені в модифіковані $\tilde{G}_{st}$, $\tilde{G}_{pt}$ і $\tilde{Tr}_{pr}$, які представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Модифіковані масиви $\tilde{G}_{st}$, $\tilde{G}_{pt}$ і $\tilde{Tr}_{pr}$ другого прикладу

№	K°	S	β_p°	L_p	β_s°	L_s
1	164	125	146	90,1	141	64,0
2	135	120,2	191	51,0	157	76,2
3	135	99	146	54,1	176	70,2
4	97	40,3	114	60,4	127	75,0
5	103	46,1	141	96,0	114	60,4
6	58	47,2	100	55,9	124	54,1
7	72	47,4	63	89,4	105	134,6
8	56	36,1	43	88,5	65	116,3

Межі безпечної області плавання і програмна траєкторія руху судна для даного прикладу показані на рис. 4.11. Розрахунок нормальних відстаней L_{pt} і L_{st} по всьому маршруту плавання виконувався по формулах (4.7) і (4.8), а нормальні відстані показані на рис. 4.12. Діаграма значень нормальних відстаней L_{pt} і L_{st} для другого прикладу, орієнтованих ортогонально щодо програмної траєкторії руху судна, яка показана прямою лінією, приведена на рис. 4.13.

При аналізі даного рисунка видно, що нормальні бічні відстані відхилень вправо і вліво приблизно симетричні, що свідчить про коректний вибір програмної траєкторії руху судна. По величині нормальних відстаней розраховувалися значення нормальної ширини b , як сума відповідних їх протилежних значень, а також обчислювався зсув δ_b , що характеризує відхилення траєкторії судна від середини ширини. На рис. 4.14 показаний розподіл ширини b і зсуву δ_b по маршруту плавання щодо центральної лінії.

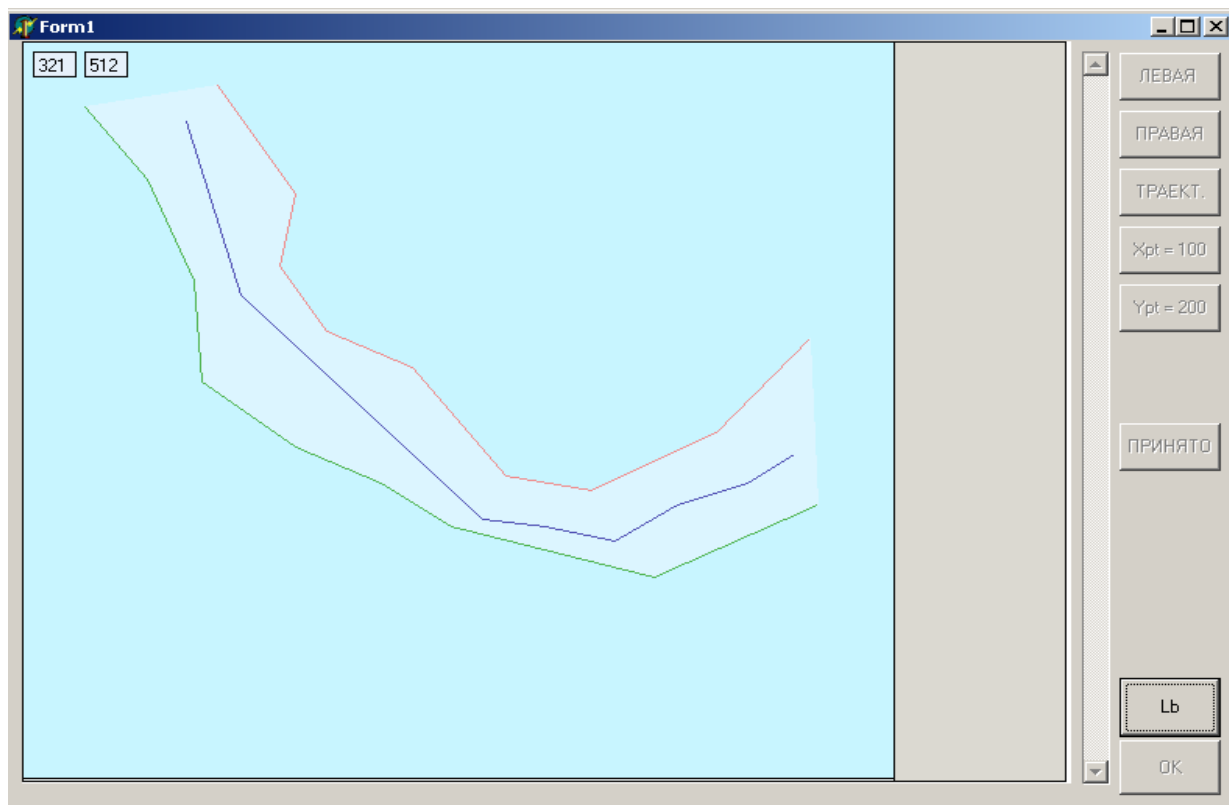


Рисунок 4.11 - Безпечна область і програмна траєкторія судна

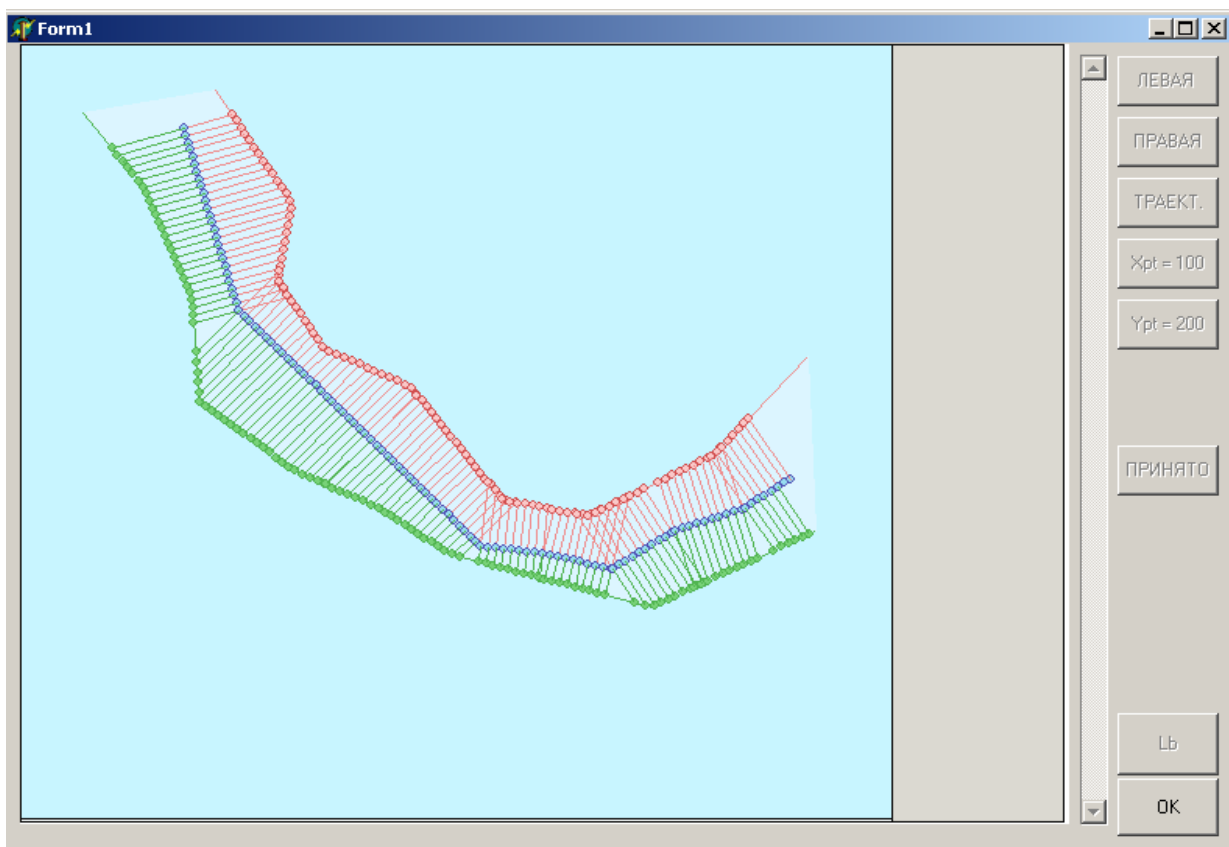


Рисунок 4.12 - Нормальні відстані L_{pt} і L_{st} другого прикладу

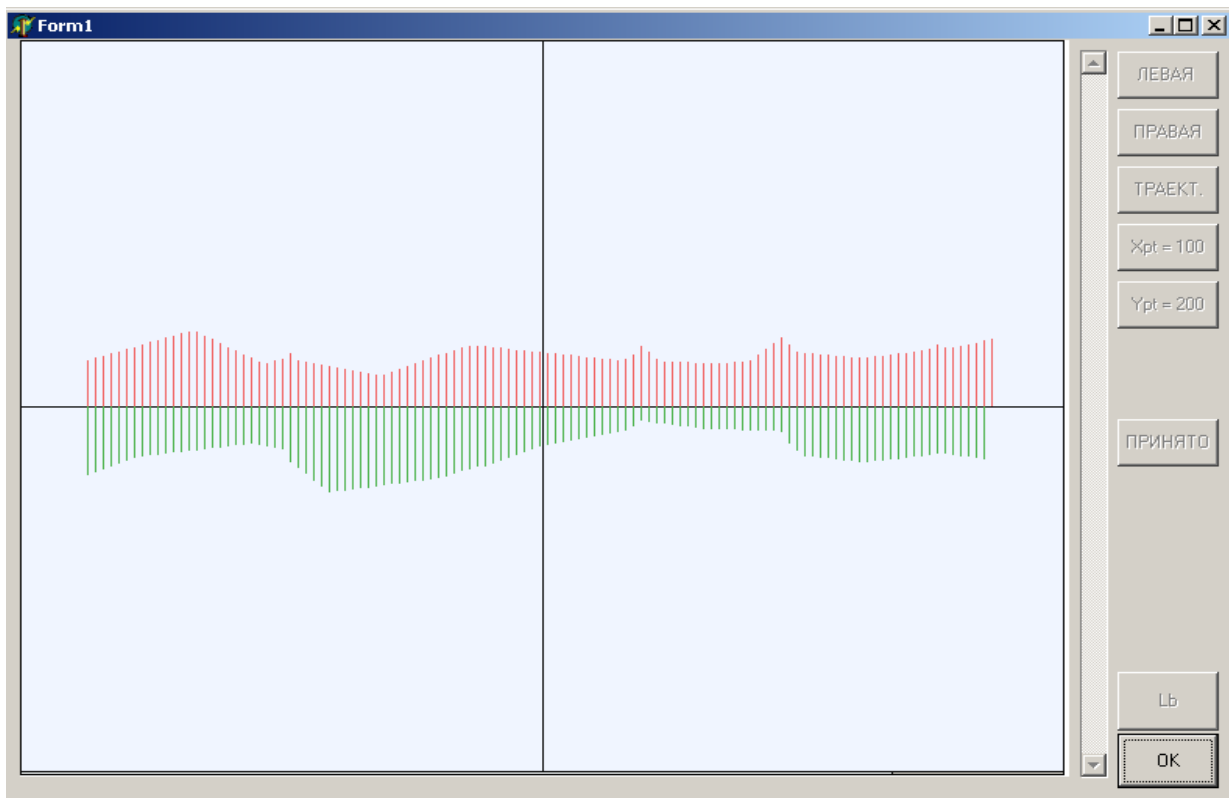


Рисунок 4.13 - Діаграма нормальних відстаней другого прикладу

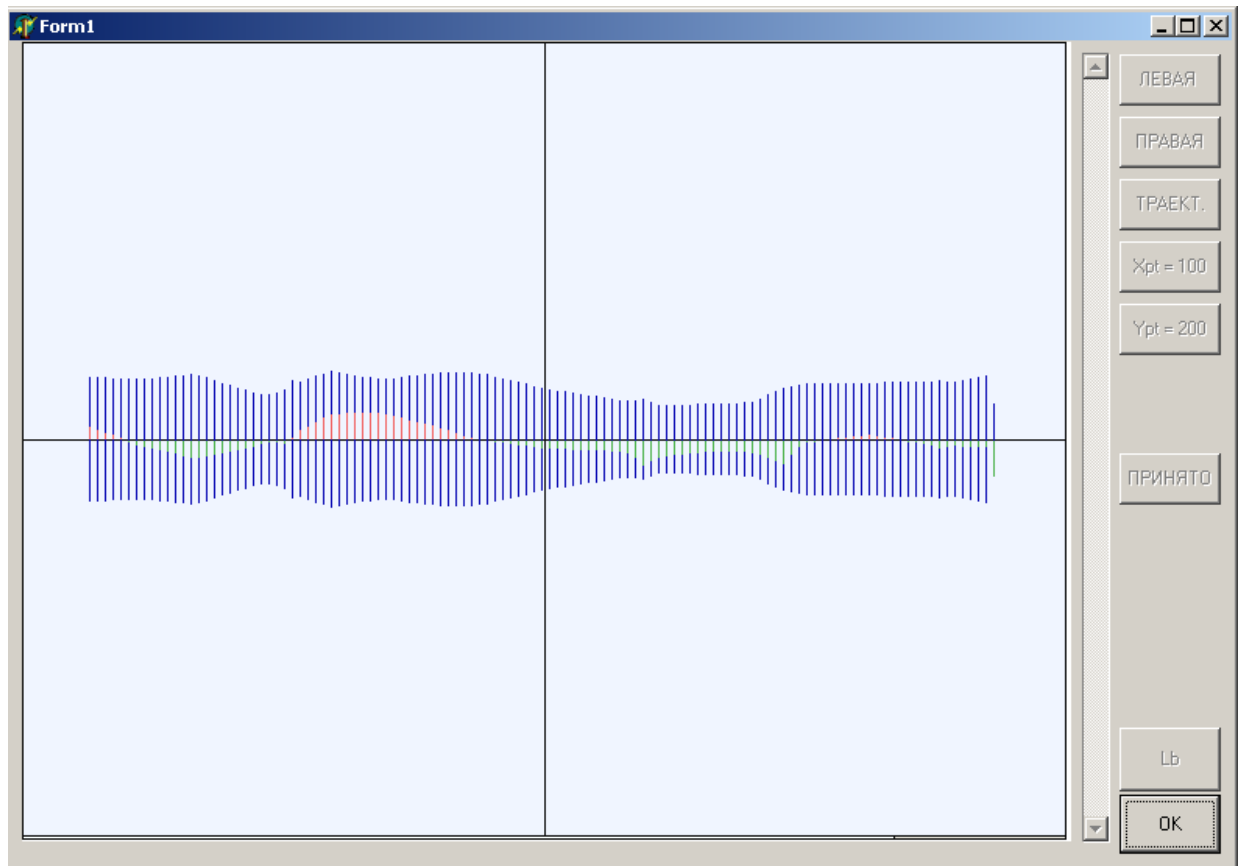


Рисунок 4.14 - Розподіл ширини і зсуви другого прикладу

З приведенного рисунку виходить, що зсуви вправо і вліво нівелюють один одного. Нормальні ширини розподіляти по 8 розрядам, причому ширина розряду визначалася як різниця між мінімальним і максимальним значенням ширини, яка рівна 44, ділена на число розрядів, що склало 5,5. Шляхом розподілу числа значень ширини кожного розряду на загальне число значень ширини одержували частоту розподілу значень ширини по розрядах, як показано на рис. 4.10. Для визначення частот нормальної ширини різницю, рівну 135, розділили на, кожен завдовжки 16,9. Потім число значень ширини кожного розряду розділяли на загальне число значень, і одержали частоту розподілу значень ширини по розрядах, що показано на рис. 4.15.

Таким чином, одержано спосіб формалізації сумісного розташування меж області безпечного плавання і програмної траєкторії руху судна в ній, за

допомогою якого розраховуються розподіл частот нормальної ширини і масиву зсувів судна щодо траєкторії.

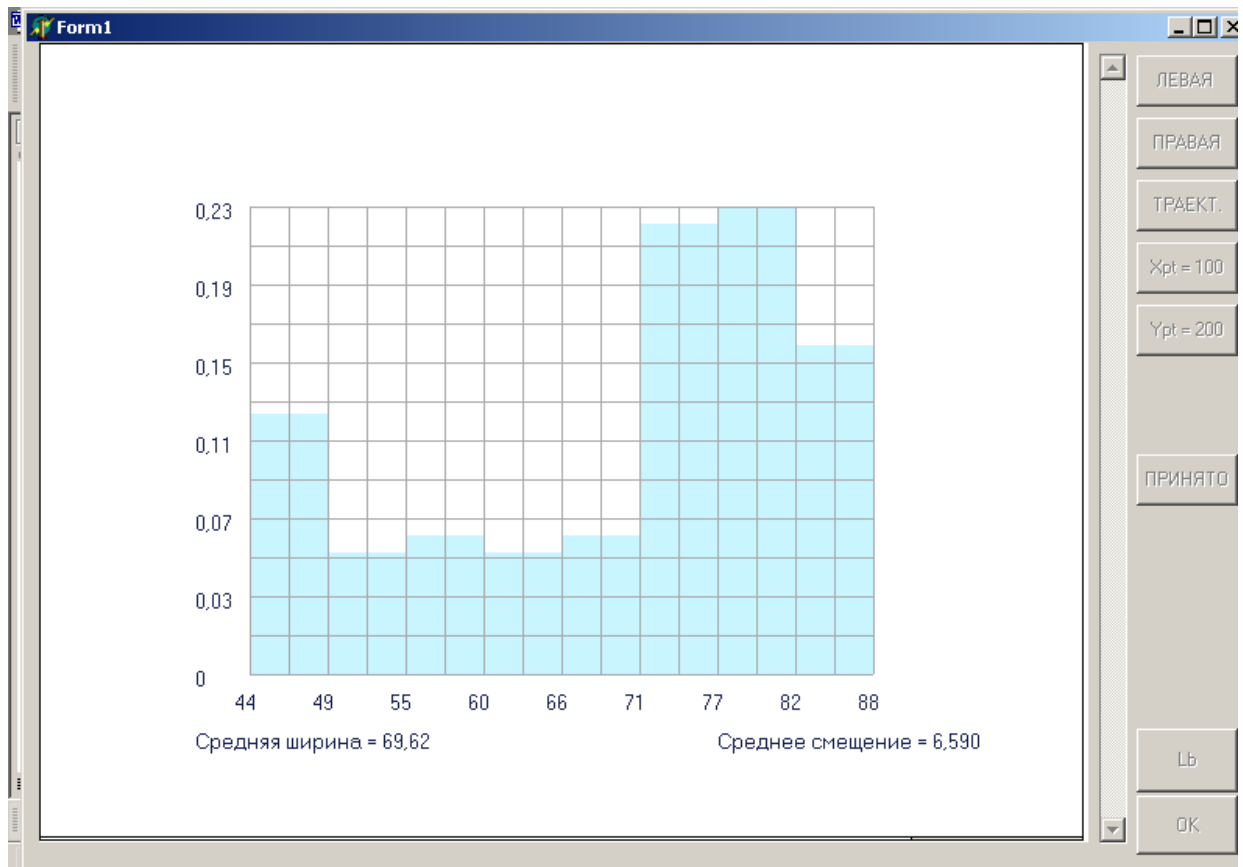


Рисунок 4.15 - Розподіл частот нормальної ширини для другого прикладу

4.2. Вплив закону розподілу похибки бічного відхилення на вірогідність безпечного проходження судном обмеженого маршруту.

У попередньому параграфі був одержаний зв'язок між щільністю розподілу похибки бічного відхилення z і двовимірним розподілом векторіальної похибки, що має складові x і y , причому:

$$z = y \sin K - x \cos K,$$

а для нормального розподілу векторіальної похибки з центрованими складовими щільність має вигляд:

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2(\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K)}\right\}.$$

При апіорній оцінці вірогідності безпечного плавання обмеженим маршрутом Р можна допускати незалежність складових векторіальної похибки і рівність дисперсій складових, тобто $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$. В цьому випадку

$$\sigma_x^2 \cos^2 K + \sigma_y^2 \sin^2 K = \sigma^2 (\cos^2 K + \sin^2 K) = \sigma^2$$

і, отже

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right). \quad (4.9)$$

Крім нормального розподілу (4.9) похибки бічного відхилення z можуть підкорятися змішаним законам першого і другого типу [46]. Щільність розподілу похибок бічного відхилення при змішаному законі першого типу має наступний вигляд:

$$f_1(x) = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} \cdot 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}, \quad (n \leq 6)$$

з дисперсією

$$\mu_2 = \frac{2\alpha}{2n-1}.$$

Якщо ж похибки бічного відхилення розподілені по змішаному закону другого типу, то щільність їх розподілу $f_2(x)$ і другий центральний момент (дисперсія) μ_2 мають вигляд:

$$f_2(x) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+3/2}}, \quad (n \leq 5)$$

$$\mu_2 = \frac{\alpha}{n}.$$

Для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна P в допустимій області за допомогою формули (4.1) необхідно розраховувати значення виразу $F(\frac{b}{2} - \delta_b) + F(\frac{b}{2} + \delta_b)$, для чого слід мати в своєму розпорядженні можливість обчислювати функції розподілу нормального закону і змішаних законів обох типів. Для нормального закону функція розподілу не виражається в елементарних функціях. У роботі [86] показано, що значення функції розподілу нормального закону може бути набуто за допомогою функції Лапласу

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt,$$

яка представлена в табличному вигляді. Функція розподілу змішаного розподілу першого типу $F_{1n}(x)$ може бути одержана за допомогою виразу для щільності розподілу $f_1(x)$:

$$F_{1n}(x) = \int_{-\infty}^x f_1(t) dt = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot (2n-1)} \int_{-\infty}^x \frac{dt}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}. \quad (n \leq 6)$$

У роботі [46] одержаний вираз функції розподілу змішаного закону першого типу, який має вигляд:

$$F_{1n}(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{2\alpha}} + \sum_{i=1}^n \frac{2^{n-i} \alpha^{(n-i)+\frac{1}{2}} (n-i)!}{\sqrt{2} \pi 1 \cdot 3 \cdot [2n - (2i-1)]} \frac{x}{\left(\frac{x^2}{2} + \alpha\right)^{n+1-i}}. \quad (n \leq 6)$$

Аналогічно для змішаного закону другого типу:

$$F_{2n}(x) = \int_{-\infty}^x f_2(t) dt = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \int_{-\infty}^x \frac{dt}{(x^2/2 + \alpha)^{n+3/2}}. \quad (n \leq 5)$$

Вираз функції розподілу для змішаного закону розподілу другого типу в явному вигляді приведений в роботі [46]:

$$F_{2n}(x) = 1 - 2^n 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \left\{ \sum_{j=0}^n \frac{(-1)^j}{j!(n-j)!(n+1+j)} \frac{\alpha^{n+1+j}}{(x^2 + 2\alpha + x\sqrt{x^2 + 2\alpha})^{n+1+j}} \right\}. \quad (n \leq 5)$$

Користуватися для розрахунку приведеними виразами функції розподілу незручно через їх громіздкість. Тому в роботі розрахунок функцій розподілу проводився чисельним інтегруванням методом Сімпсона. Звертаємо увагу, що

$$F\left(\frac{b}{2} - \delta_b\right) + F\left(\frac{b}{2} + \delta_b\right) = \int_{-L_{pt}}^{L_{st}} f(x) dx = \int_0^{L_{pt}} f(x) dx + \int_0^{L_{st}} f(x) dx.$$

Кожний з інтегралів обчислювався методом Сімпсона таким чином. Як приклад розглянемо інтеграл:

$$\mathfrak{I}_{pt} = \int_0^{L_{pt}} f(x) dx.$$

Нормальну відстань L_{pt} , на якій проводиться інтегрування, необхідно розбити на парне число n елементарних інтервалів, величину кожного з яких доцільно вибрати рівною $h=0,025\sigma$, де σ - середнє квадратичне відхилення похибки. При цьому число n елементарних інтервалів визначається виразом:

$$n = 2 \frac{L_{pt}}{2divh}.$$

У способі Симпсона підінтегральна функція $y_c = f(x)$ на кожному відрізьку $2h_i$ рівному двом елементарним відрізькам, апроксимується інтерполяційним многочленом Лагранжа другого ступеня і в цьому випадку справедливе співвідношення:

$$\int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} y_c dx \approx \frac{h}{3} [y_c(t_{i-1}) + 4y_c(t_i) + y_c(t_{i+1})]$$

Якщо позначити $y_{ci} = y_c(x_i)$, то шуканий інтеграл обчислюється по наступній формулі:

$$\mathfrak{I}_{pt} = \int_0^{L_{pt}} y_c dx = \frac{h}{3} [y_{c0} + 4(y_{c1} + y_{c3} + \dots + y_{c(n-1)}) + 2(y_{c2} + y_{c4} + \dots + y_{c(n-2)}) + y_{cn}].$$

Аналогічно обчислюється інтеграл $\mathfrak{I}_{st} = \int_0^{L_{st}} f(x) dx$, причому при

$h=0,025\sigma$ забезпечується необхідна точність обчислень.

На базі алгоритму розрахунку вірогідності безпечного проходження обмеженої ділянки написана комп'ютерна програма, що містить процедуру розрахунку інтегралів методом Сімпсону. У програмі крім точного розрахунку вірогідності безаварійної проводки судна P по формулі (4.1) передбачена оцінка вірогідності P за допомогою наближеної формули, яка враховує сере-

дні значення нормальної ширини b_m і зсуву δ_{bm} , причому наближену оцінку позначимо $P_{пр}$:

$$P_{пр} = \left[\int_{-b_m/2}^{b_m/2} f(x - \delta_{bm}) dx \right]^S = \left[2 \int_0^{b_m/2} f(x - \delta_{bm}) dx \right]^S. \quad (4.10)$$

Для оцінки впливу закону розподілу вірогідності похибки бічного відхилення для одного і того ж маршруту розраховувалася вірогідність P і $P_{пр}$ для нормального закону, а також змішаних законів першого і другого типів. Так, для першого маршруту, показаного на рис. 4.3, після визначення його характеристик виводяться на екран чотири клавіші, за допомогою яких можна вибрати закон розподілу вірогідності похибок бічного відхилення і значення середнього квадратичного відхилення, як показано на рис. 4.16. За допомогою клавіші "Gauss" вибирається нормальний закон розподілу похибок. Після використання цієї клавіші виводиться крива щільності

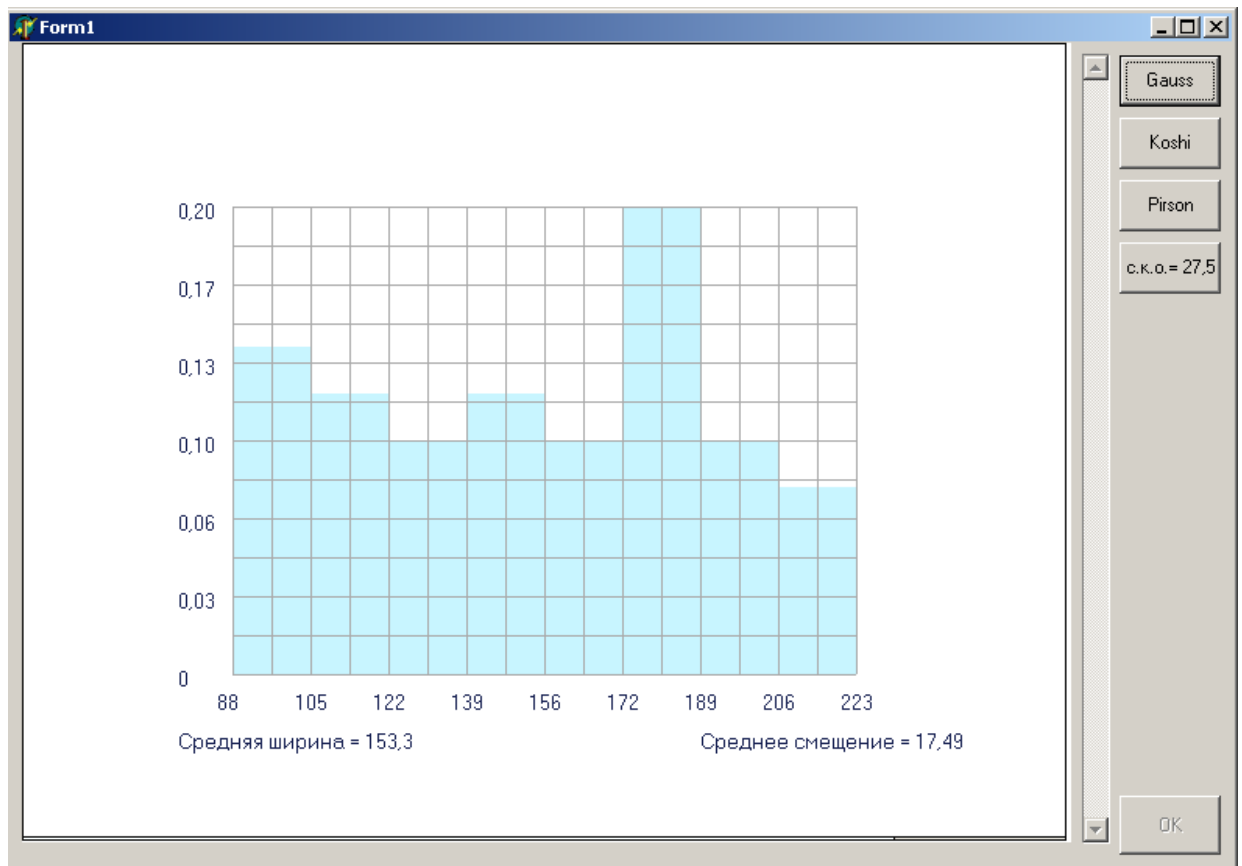


Рисунок 4.16 - Вибір закону розподілу похибок

нормального закону розподілу і активізується клавіша "Вероят.", як показано на рис. 4.17, використання якої виводить інформацію по вірогідності безаварійного плавання по першому маршруту (рис. 4.18) з урахуванням нормального розподілу похибок бічного відхилення. У верхній частині екрану представлена діаграма розподілу нормальної ширини по протяжності маршруту проводки. Нижче показаний графік вірогідності безпечного проходження елементарних ділянок маршруту проводки.

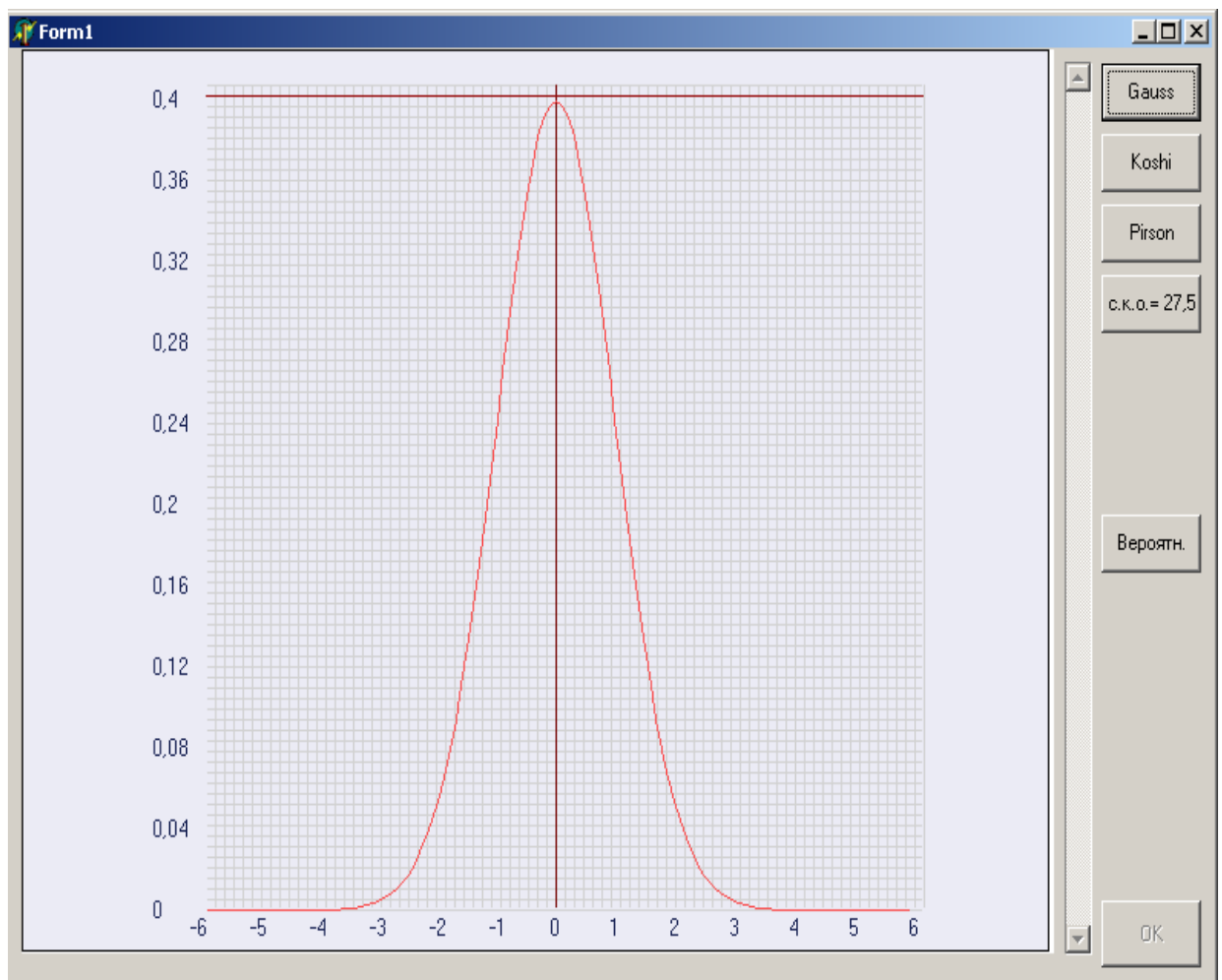


Рисунок 4.17 - Крива щільності нормального розподілу

Нижній графік показує залежність вірогідності безпечної проводки пройденої частини маршруту. У нижній частині екрану приведена інформація про точну і наближену вірогідності безпечного проходження всього маршру-

ту. У даному прикладі вони рівні відповідно $P = 0,1439$ і $P_{\text{пр}} = 0,4809$. При використуванні клавіші "Koshi" на екрані монітора з'являється сімейство кривої щільності змішаного закону першого типу (рис. 4.19) і за допомогою клавіші "n =" вибирається значення істотного параметру, яке в даному

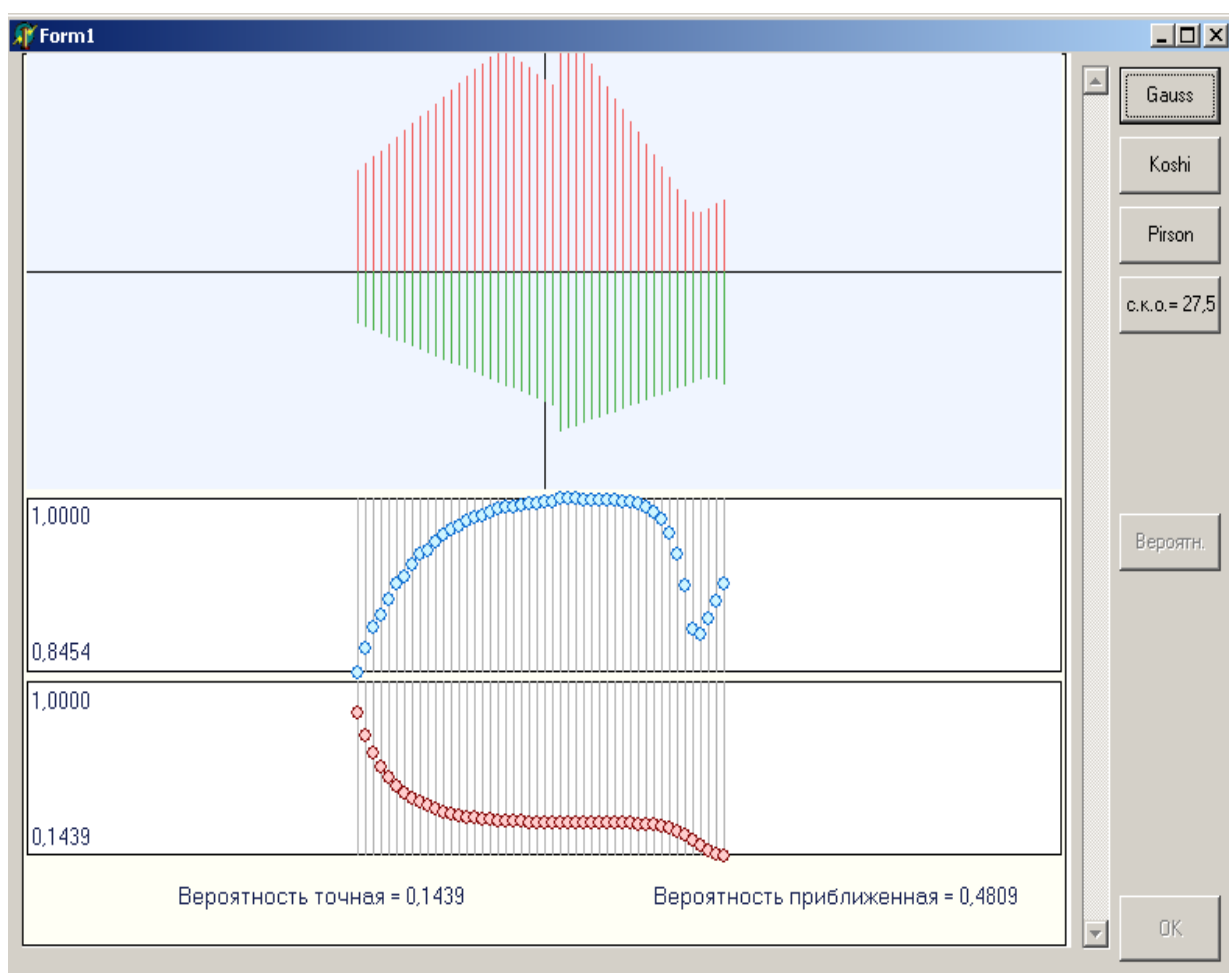


Рисунок 4.18 - Вывод информации о вероятности безопасного плавания

прикладі рівне 1, що виходить з рис. 4.20. При цьому, як видно з рис. 4.21, точна і наближена вірогідності приймають значення $P = 0,9846$ і $P_{\text{пр}} = 0,9914$.

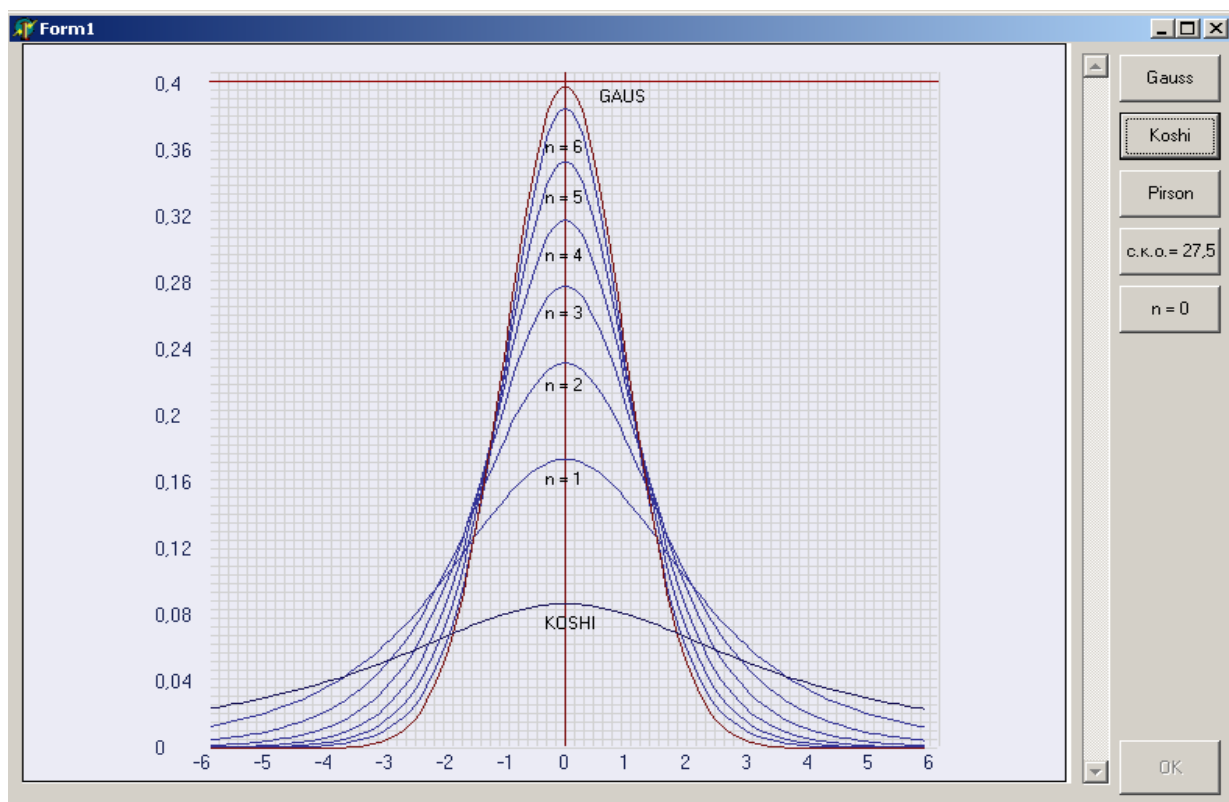


Рисунок 4.19 - Криві щільності розподілу змішаного закону першого типу

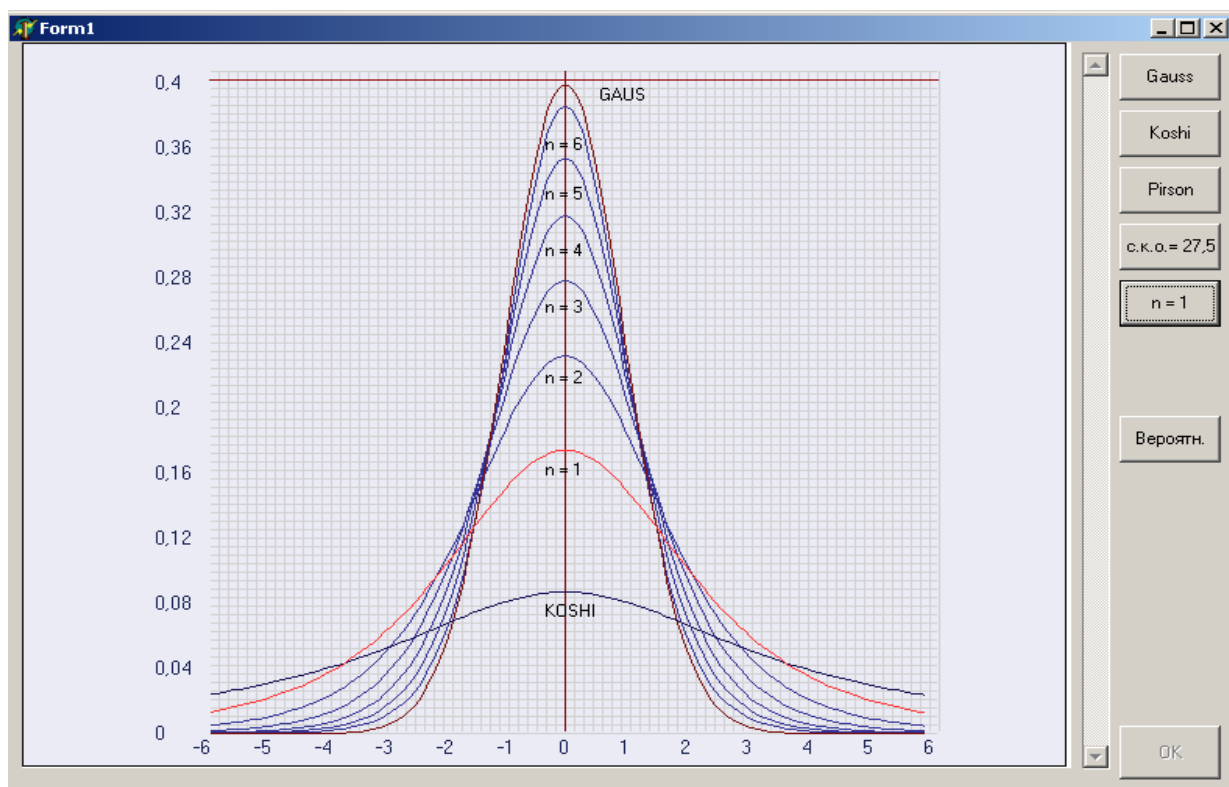


Рисунок 4.20 – Вибір істотного параметру

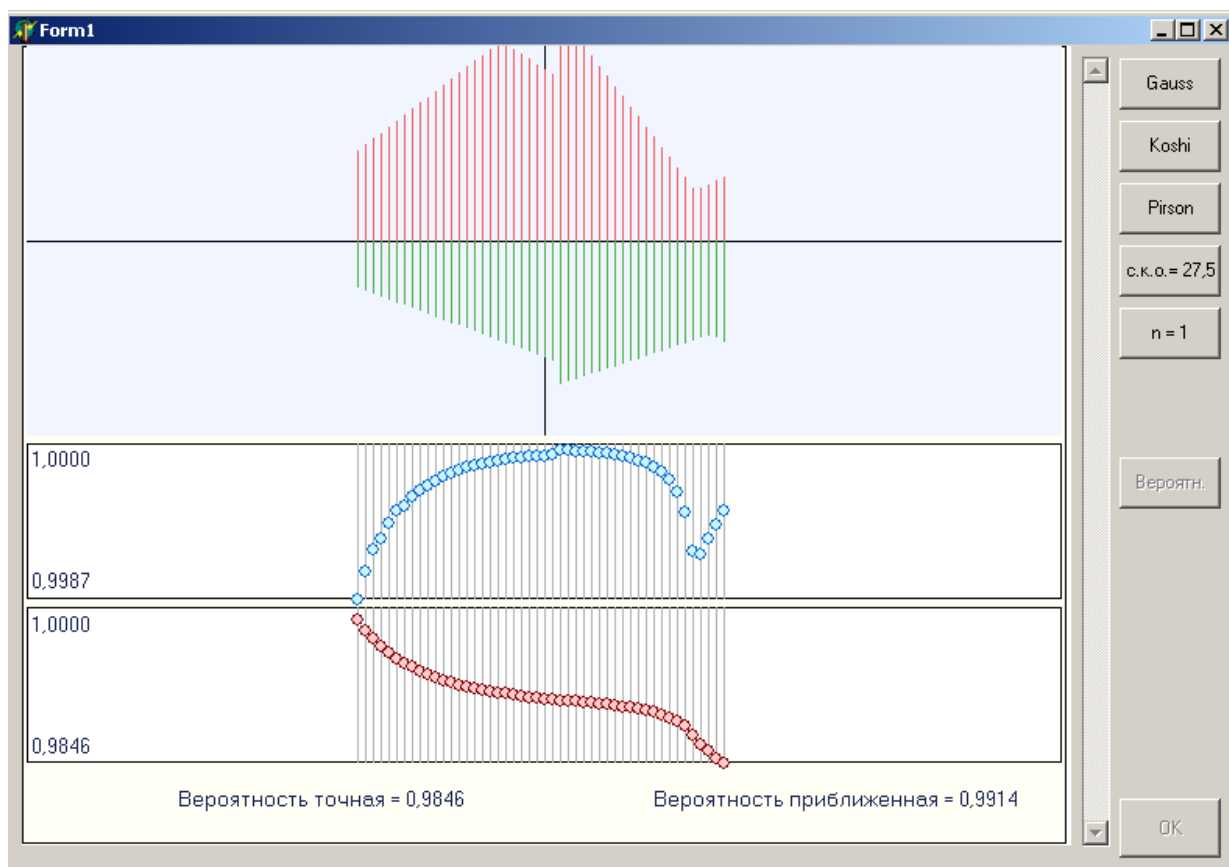


Рисунок 4.21-Інформація про вірогідність P і $P_{пр}$ змішаного закону 1-го типу

При виборі клавіші "Pirson" похибка бічного відхилення розподілена по змішаному закону другого типу, крива щільності якого виводиться на екран, як показано на рис. 4.22. Після вибору значення істотного параметра рівного 1 (рис. 4.23) виділяється крива щільності розподілу з відповідним істотним параметром, а після "клікання" по клавіші "Вероят." виводиться інформація про вірогідність безпечного плавання по першому маршруту. На рис. 4.24 показано, що значення функції розподілу поточної нормальної ширини варіюються в межах від 0,9993 до 1, чим забезпечується точна вірогідність $P = 0,9937$. Наближена оцінка значення вірогідності складає $P_{пр} = 0,9975$. Звертаємо увагу, що найнижча вірогідність безпечного плавання першим маршрутом має місце при законі Гаусу, а її максимальне значення досягається при змішаному законі другого типу.

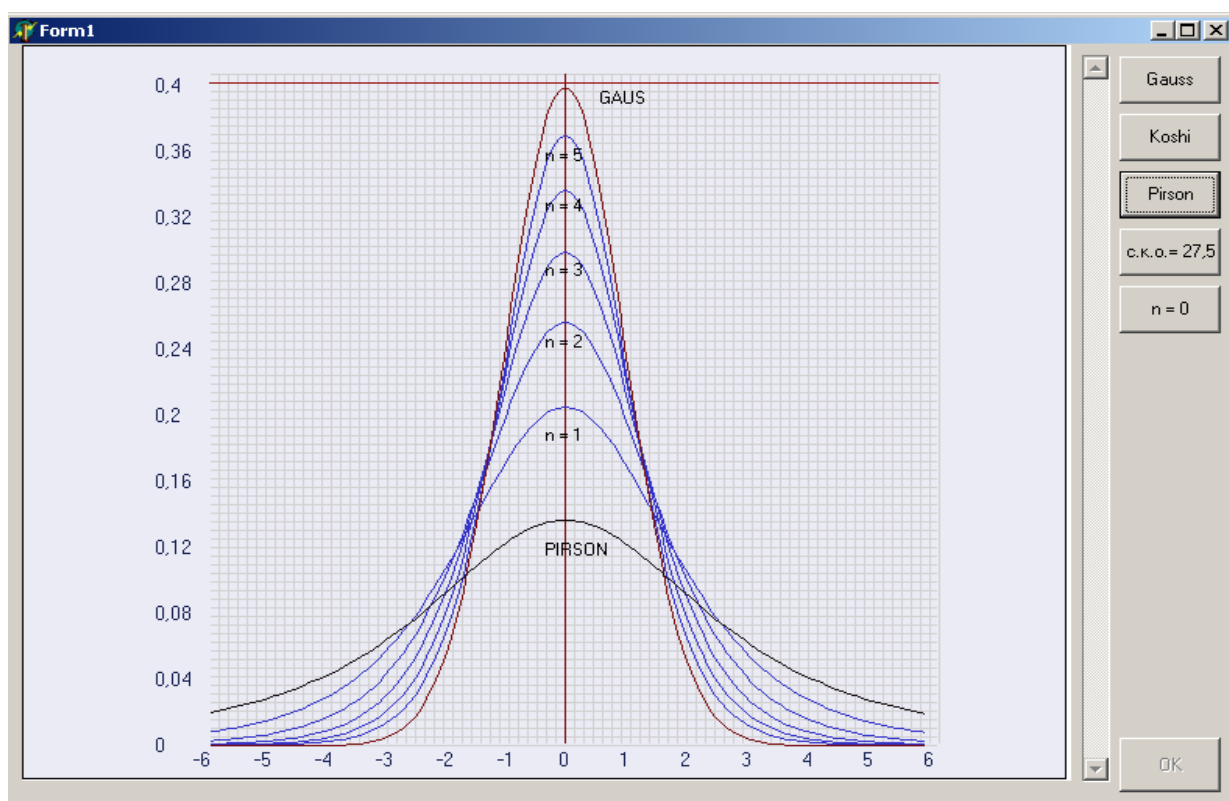


Рисунок 4.22 - Криві щільності розподілу змішаного закону другого типу

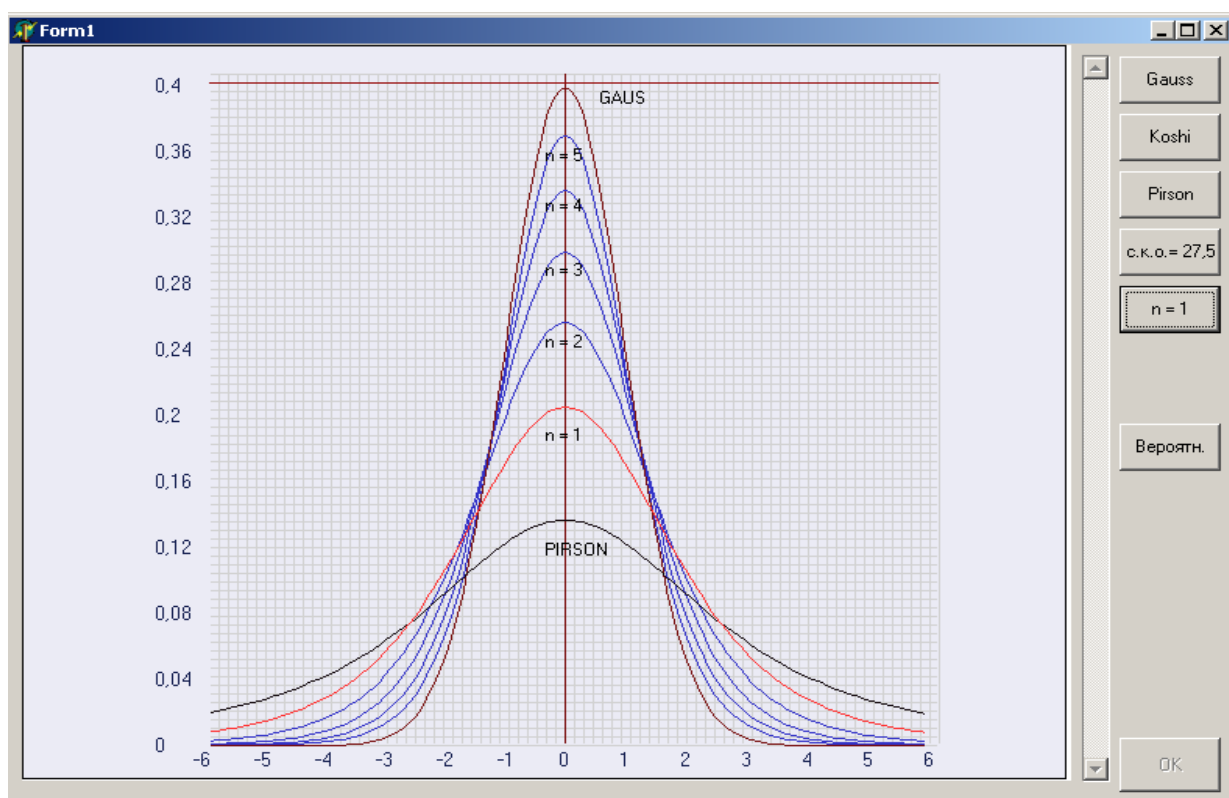


Рисунок 4.23 - Істотний параметр змішаного закону другого типу

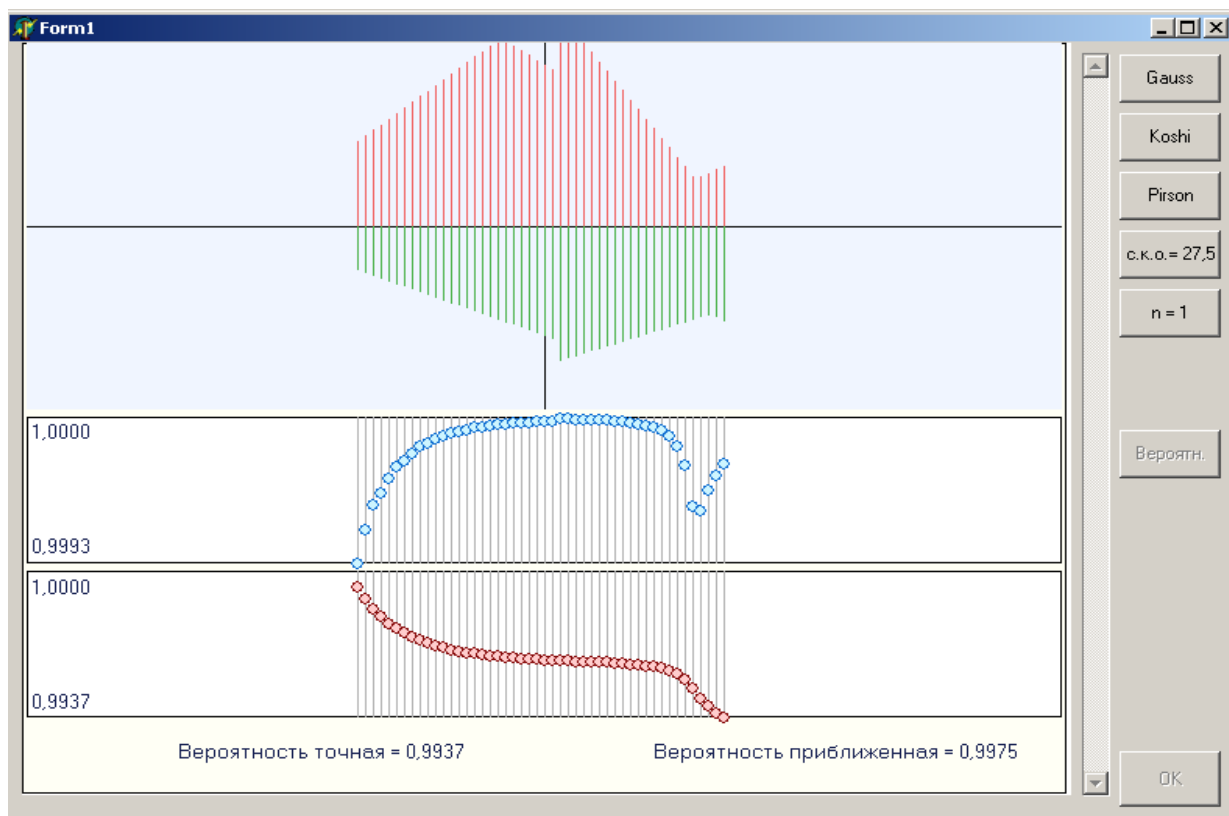


Рисунок 4.24-Інформація про вірогідність P і $P_{пр}$ змішаного закону 2-го типу

У всіх випадках наближена оцінка вірогідності перевершує точну оцінку, а вірогідність P не є достатньою для безпечної провідки.

Також був проведений аналіз безпеки плавання другим маршрутом, який показаний на рис. 4.11, а розподіл його нормальної ширини - на рис. 4.25. Для різних законів розподілу похибки бічного відхилення за допомогою комп'ютерної програми одержані значення точної і наближеної вірогідності безпечного проходження другого маршруту. На рис. 4.26 показана інформація про вірогідність безпечного плавання другим маршрутом у разі розподілу похибок бічного відхилення по нормальному закону. У разі розподілу похибок по цьому закону з прийнятою дисперсією плавання другим маршрутом неможливе, оскільки вірогідність його безпечного проходження рівна 0. Більш того, вірогідність P обертається в 0 при проходженні тільки 20% маршруту.

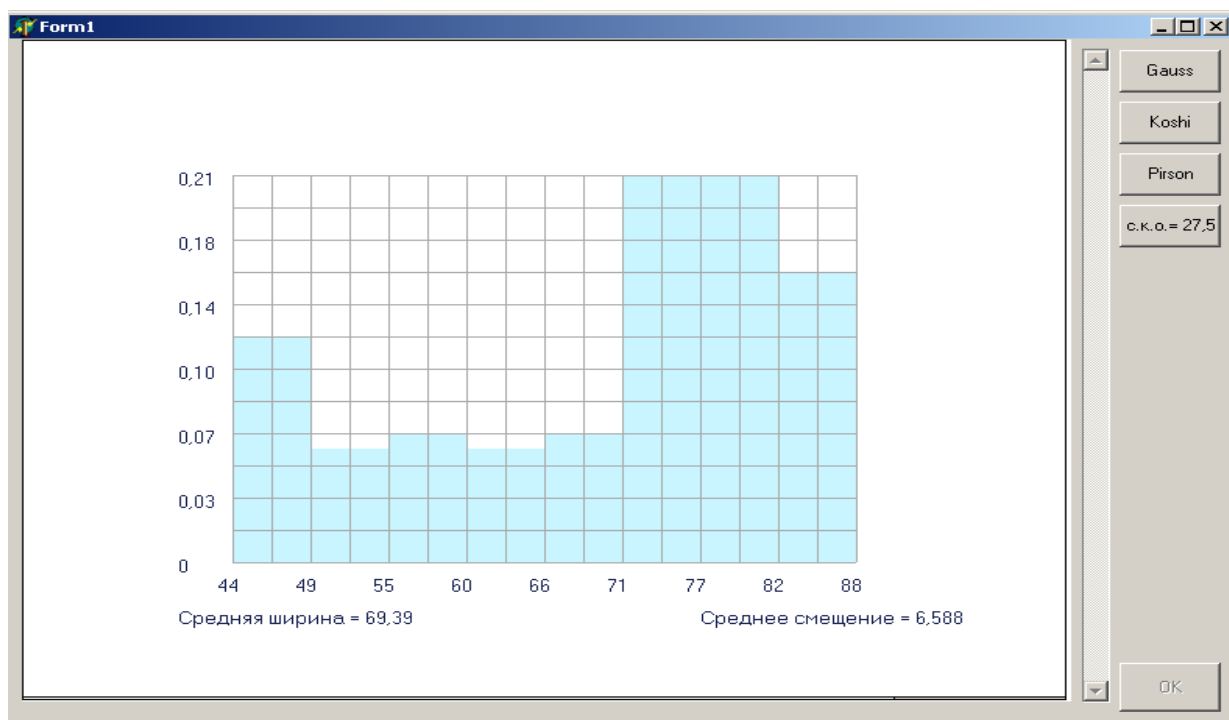


Рисунок 4.25 - Початок аналізу безпеки плавання другим маршрутом

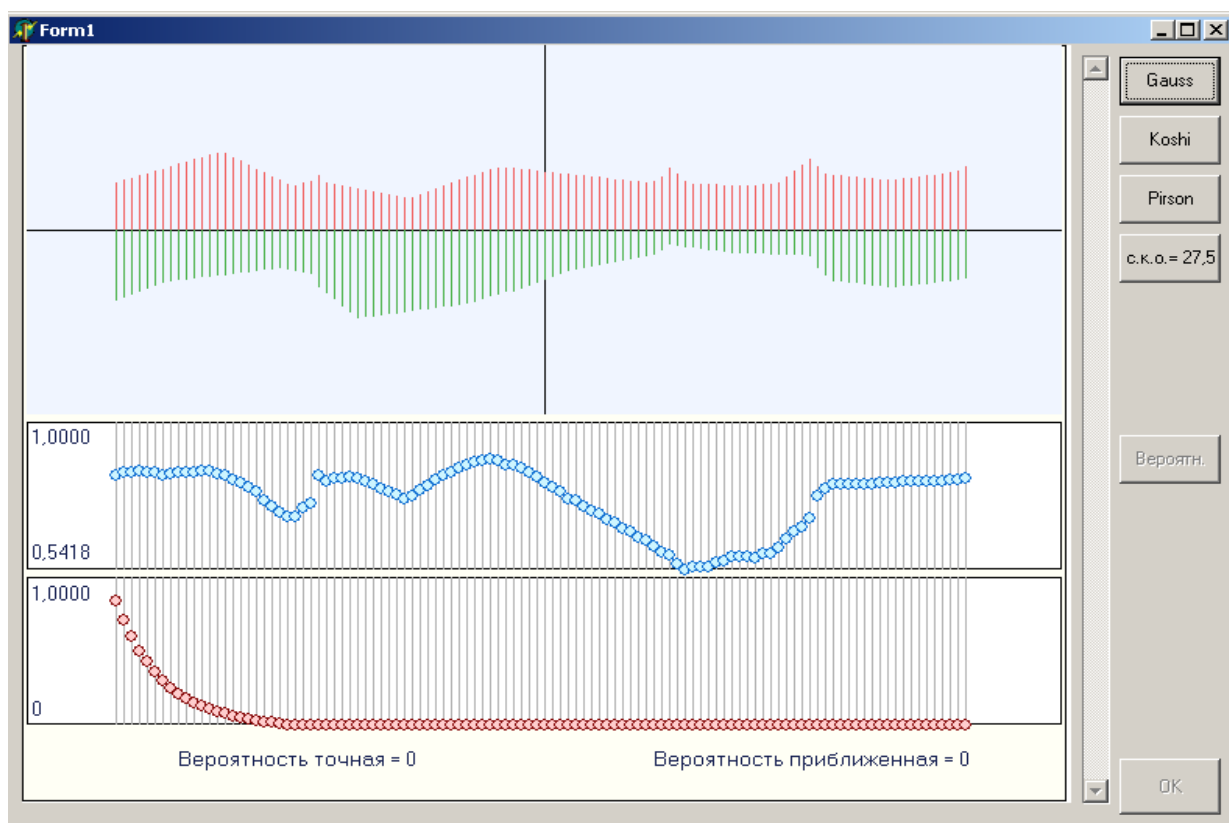


Рисунок 4.26 - Інформація по безпеці при нормальному законі розподілу

У разі розподілу похибок бічного відхилення по змішаному закону першого типу точна вірогідність безпечного проходження першого маршруту $P = 0,6967$, як впливає з рис. 4.27. Ця вірогідність також дуже низька, що пояснюється великою обмеженістю маршруту і низькою точністю контролю місця судна. На рис. 4.28 представлена інформація по безпеці плавання першим маршрутом для випадку, коли похибки бічного відхилення підкоряються змішаному закону другого типу. В цьому випадку точна вірогідність складає $P = 0,7439$, що також недостатньо для безпечної проводки судна цим маршрутом. При аналізі безпеки проводки судна обома маршрутами виявилось, що при прийнятій точності визначення бічного відхилення з $\sigma = 27,5$ екранних одиниць відстані безаварійна проводка судна незалежно від закону розподілу похибок бічного відхилення неможлива.

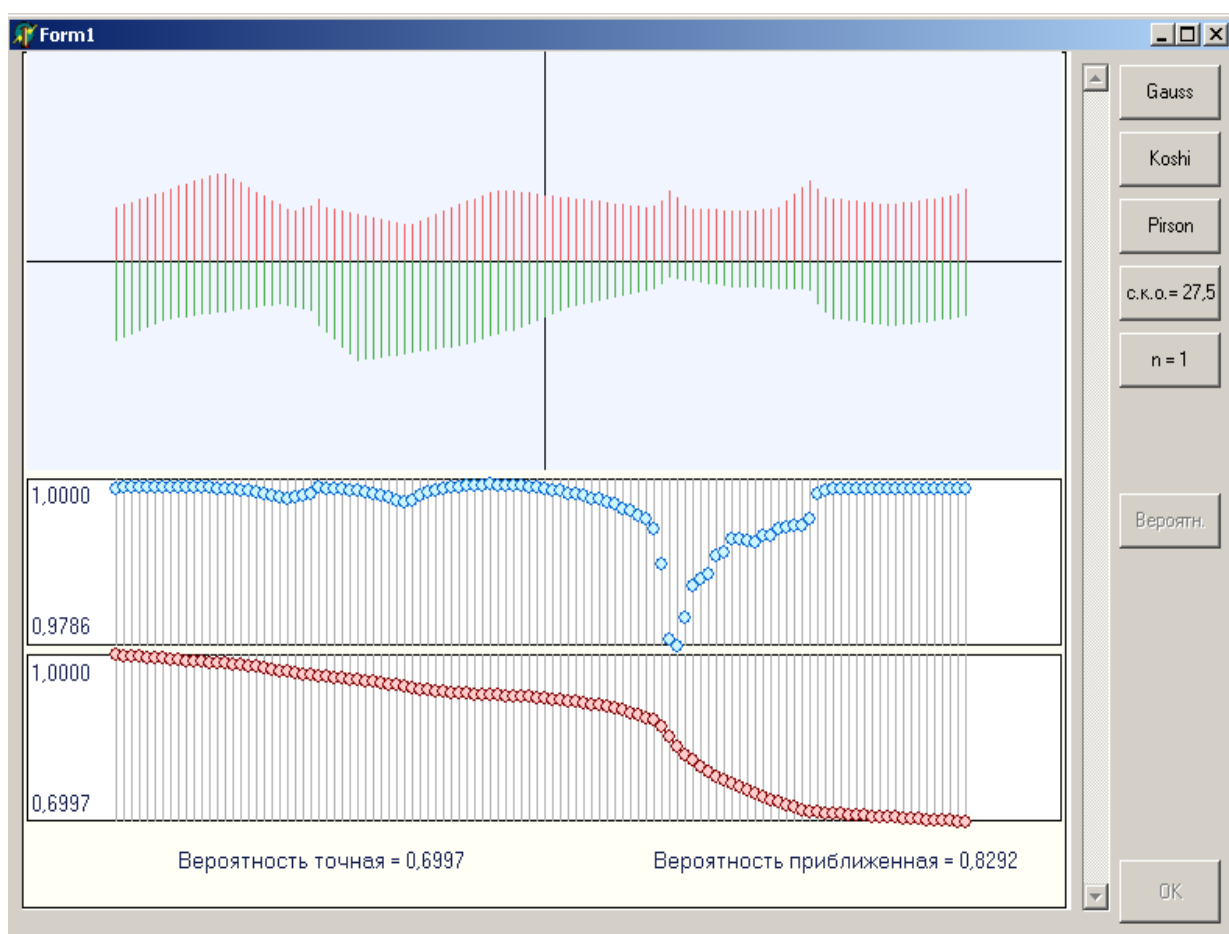


Рисунок 4.27 - Інформація по безпеці при змішаному законі 1-го типу

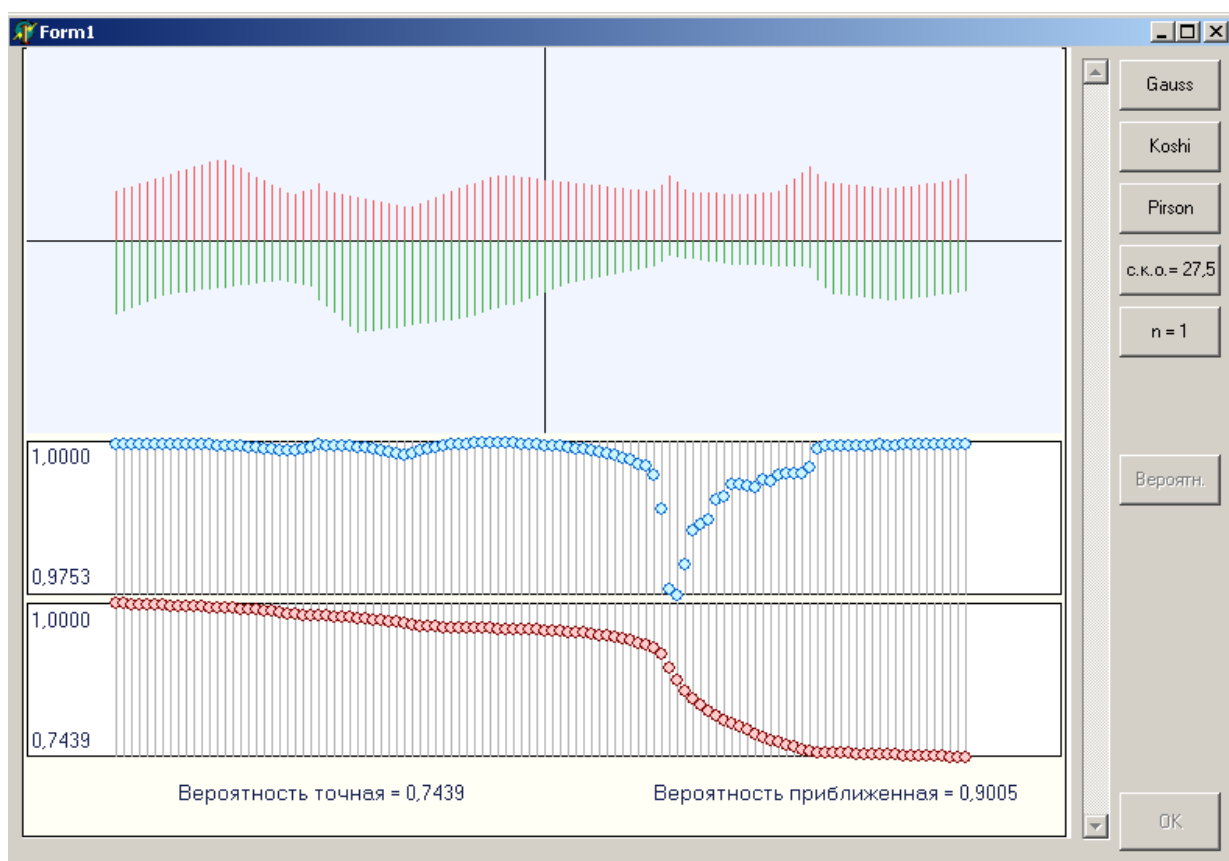


Рисунок 4.28 - Інформація по безпеці при змішаному законі 2-го типу

Для обох маршрутів був проведений аналіз необхідної точності визначення бічного відхилення, при якій вірогідність безпечної проводки судна не повинна бути менше 0,999. Для першого маршруту при розподілі похибки бічного відхилення по нормальному закону, як впливає з рис. 4.29, вірогідність $P = 0,9999$ забезпечується при $\sigma \leq 5$. Якщо ж похибки бічного відхилення підкоряються змішаному закону першого типу, то вірогідність досягається при істотному параметрі $n = 3$ у випадку, що видно з рис. 4.30. У випадку, якщо закон розподілу похибки бічного відхилення відноситься до сімейства змішаних законів другого типу, то при $\sigma \leq 10$ і $n = 2$ вірогідність безпечної проводки $P = 0,9999$ (рис. 4.31).

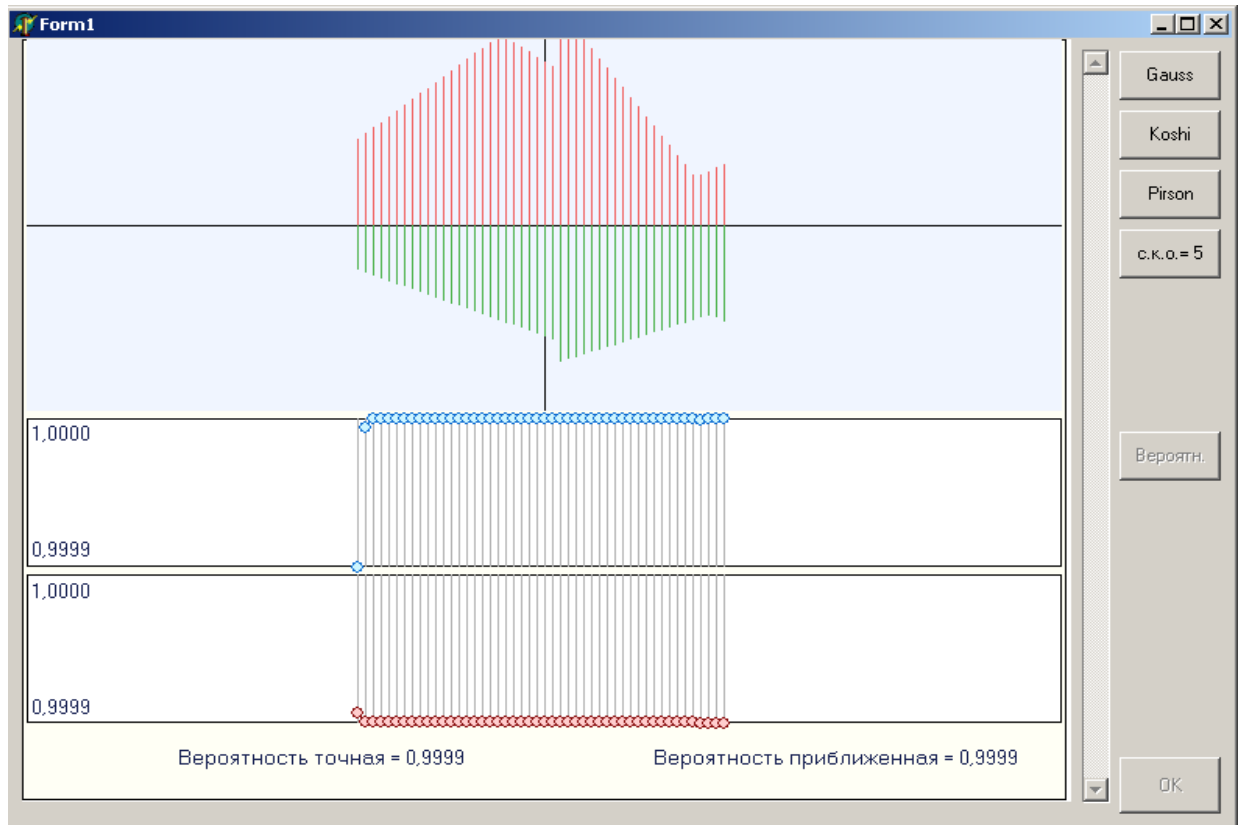


Рисунок 4.29 - Необхідна точність для закону Гауса (перший маршрут)

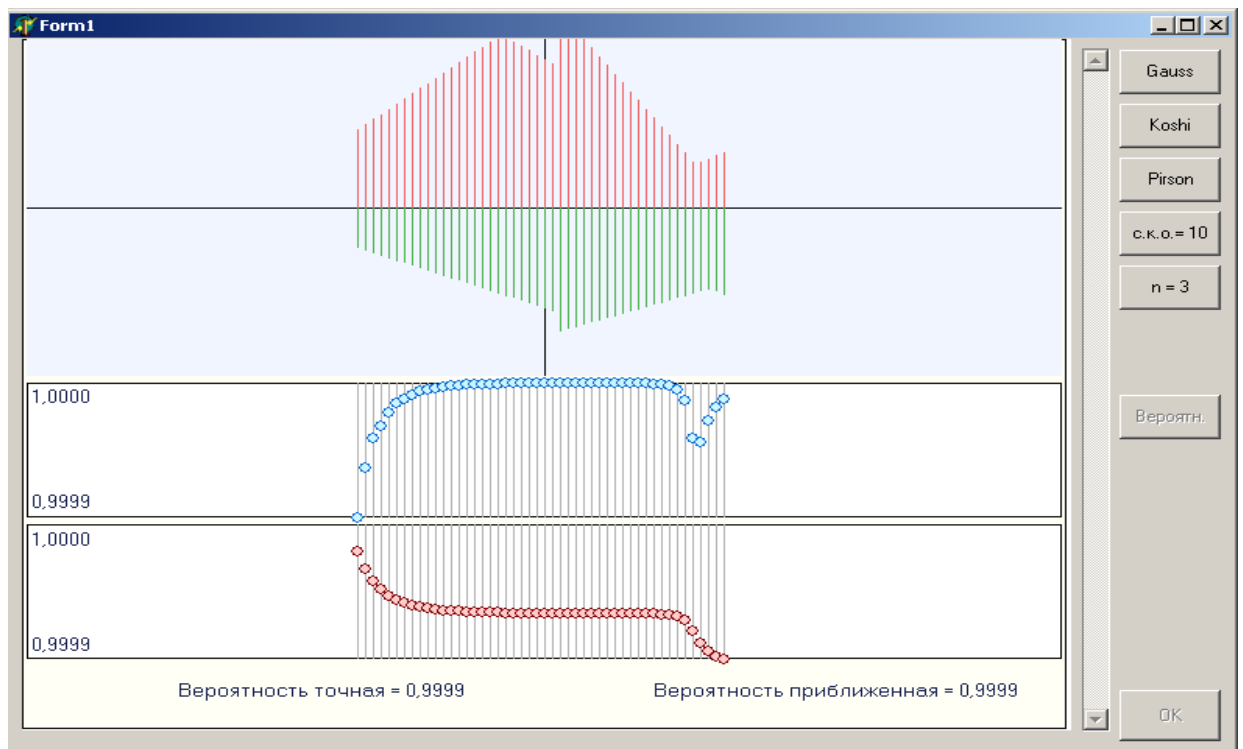


Рисунок 4.30 - Необхідна точність для змішаного закону 1 типу (маршрут 1)

При аналізі другого маршруту для згаданих трьох законів розподілу похибок бічного відхилення знаходилися граничні значення, які забезпечують вірогідність безпечної проводки судна не менше 0,999. При розподілі похибок за законом Гаусу, як показано на рис. 4.32, вірогідність $P = 0,9994$ має місце при $\sigma \leq 3$, а з рис. 4.33 виходить, що вірогідність $P = 0,9996$ і не гірше забезпечується у разі розподілу похибок по змішаному закону першого типу з параметром $n = 6$ і $\sigma \leq 5$. При такій же точності $\sigma \leq 5$ у разі розподілу похибок по змішаному закону другого типу з параметром $n = 5$ досягається вірогідність P не гірше 0,9995, що видно з рис. 4.34.

Для дослідження впливу закону розподілу похибок бічного відхилення і точності їх визначення на вірогідність безпечної проводки судна по обох маршрутах були вироблені розрахунки вірогідності P змішаних законів обох типів з різними істотними параметрами n і значеннями σ від 20 до 50.

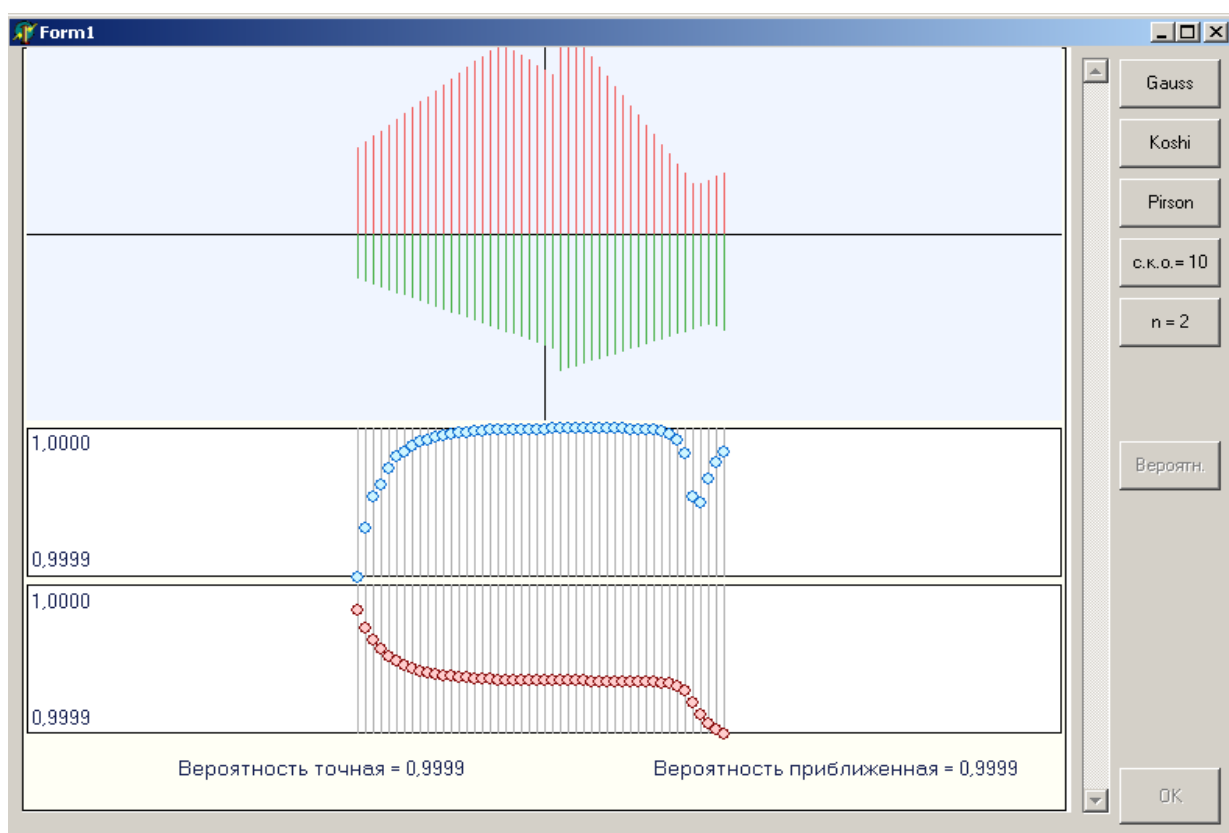


Рисунок 4.31 - Необхідна точність для змішаного закону 2 типу (маршрут 1)

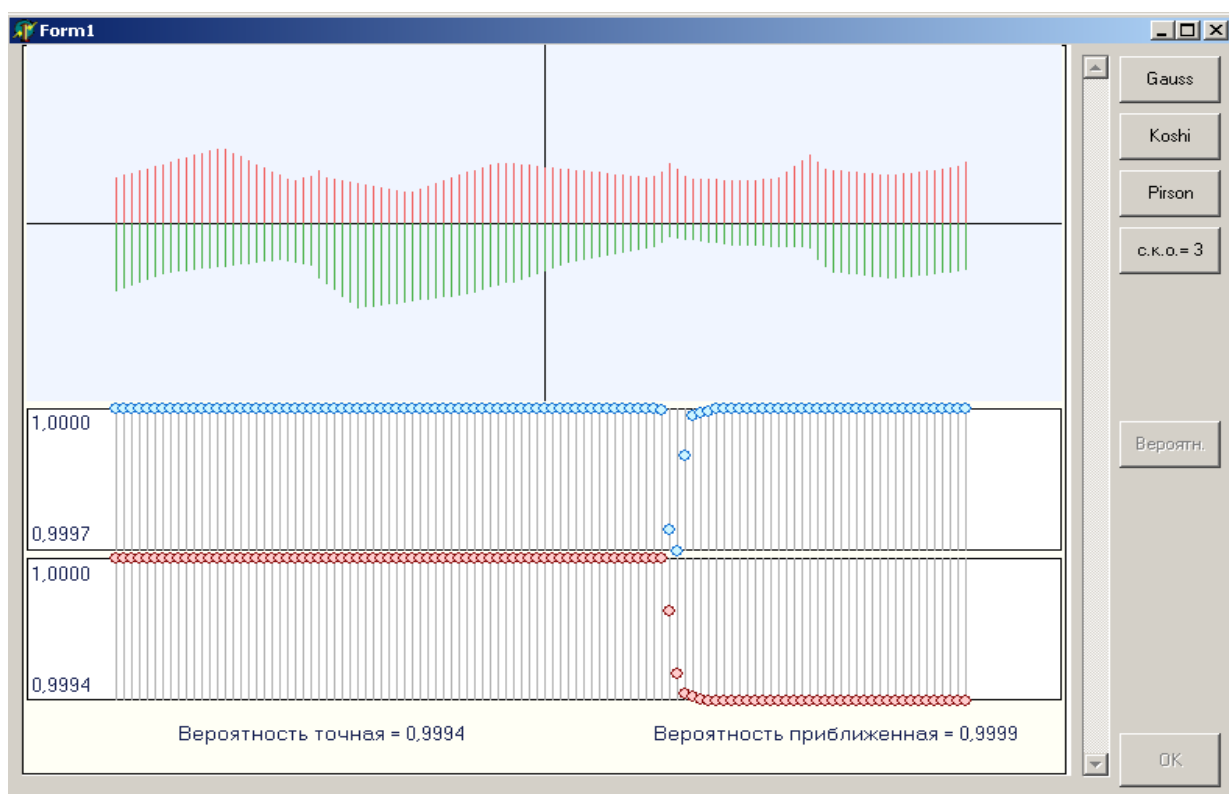


Рисунок 4.32 - Необхідна точність для закону Гауса (другий маршрут)

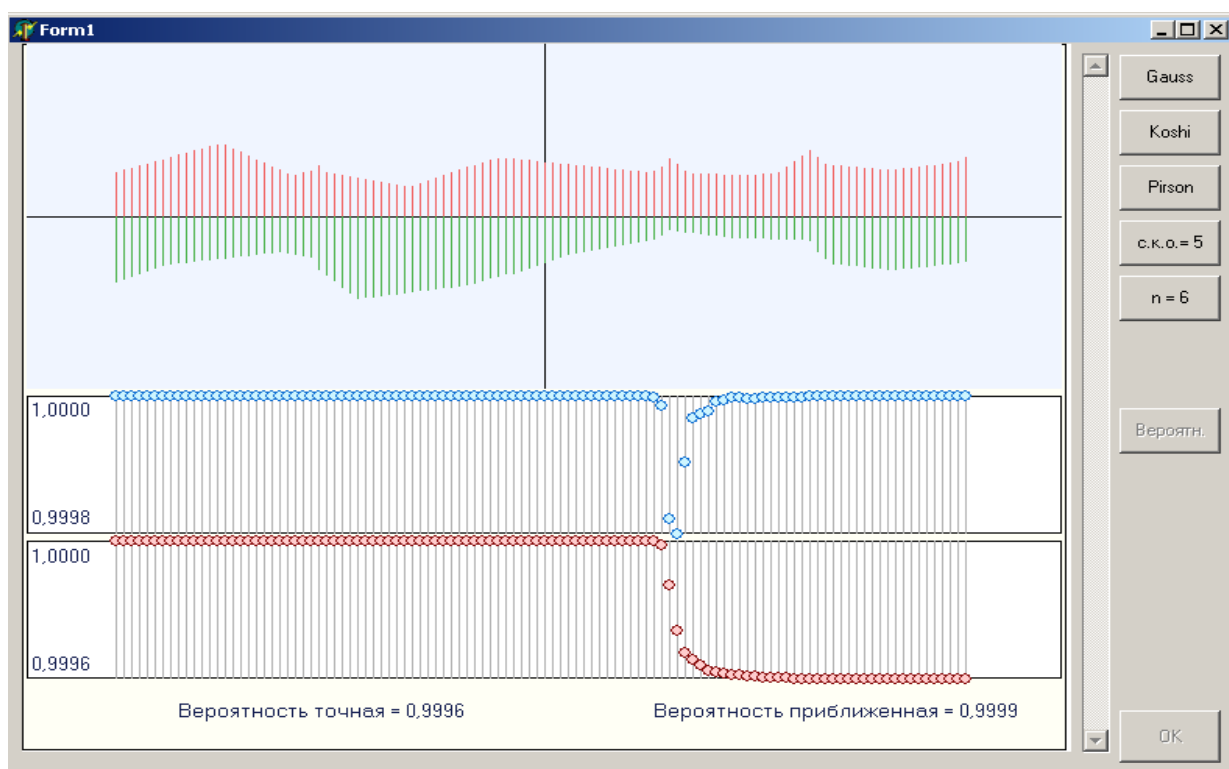


Рисунок 4.33 - Необхідна точність для змішаного закону 1 типу (маршрут 2)

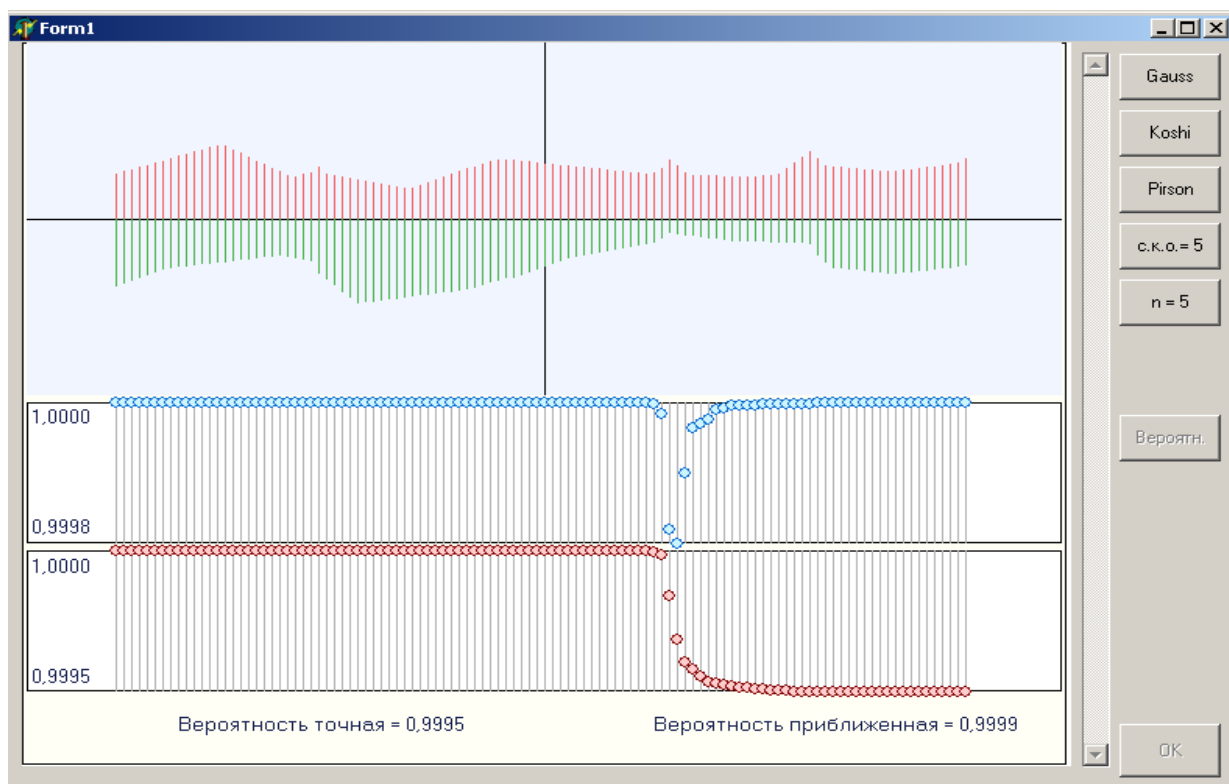


Рисунок 4.34 - Необходима точність для змішаного закону 2 типу (маршрут 2)

Результати розрахунку для першого маршруту приведені в табл. 4.5.

Таблица 4.5 - Залежність вірогідності Р для першого маршруту

Закон	$\sigma=20$	$\sigma=30$	$\sigma=40$	$\sigma=50$
Перший тип $n_1=1$	0,9903	0,9825	0,9733	0,9632
Другий тип $n_2=1$	0,9966	0,9925	0,9871	0,9803
Перший тип $n_1=2$	0,9987	0,9966	0,9934	0,9890
Другий тип $n_2=2$	0,9994	0,9983	0,9963	0,9933
Перший тип $n_1=3$	0,9997	0,9991	0,9978	0,9956
Другий тип $n_2=3$	0,9998	0,9994	0,9985	0,9970
Перший тип $n_1=4$	0,9999	0,9996	0,9990	0,9978

Проводження табл. 4.5.

Другий тип $n_2=4$	0,9999	0,9997	0,9993	0,9983
Перший тип $n_1=5$	0,9999	0,9998	0,9994	0,9987
Другий тип $n_2=5$	0,9999	0,9999	0,9996	0,9989
Перший тип $n_1=6$	0,9999	0,9999	0,9997	0,9991

Аналіз даної таблиці показує, що вірогідність P збільшується із зростанням істотного параметра, і при плаванні першим маршрутом вірогідність $P \geq 0,999$ при точності $\sigma = 20$ забезпечується у разі розподілу похибки по змішаному закону першого типу при $n_1 > 3$ і другого типу при $n_2 > 2$. При середньому квадратичному відхиленні $\sigma = 30$ вірогідність $P \geq 0,999$ досягається при $n_1 > 3$ і, для $\sigma = 40$ та ж вірогідність має місце, якщо і $n_2 > 4$. Для $\sigma = 50$ тільки при $n_1 = 6$ вірогідність $P \geq 0,999$. Результати розрахунку вірогідності P для другого маршруту представлені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Залежність вірогідності P для другого маршруту

Закон	$\sigma=20$	$\sigma=30$	$\sigma=40$	$\sigma=50$
Перший тип $n_1=1$	0,7962	0,6682	0,5491	0,4446
Другий тип $n_2=1$	0,8429	0,7100	0,5772	0,4570
Перший тип $n_1=2$	0,8761	0,7477	0,6115	0,4843
Другий тип $n_2=2$	0,8966	0,7732	0,6367	0,5069
Перший тип $n_1=3$	0,9098	0,7906	0,6545	0,5221
Другий тип $n_2=3$	0,9189	0,8030	0,6675	0,5349
Перший тип $n_1=4$	0,9255	0,8121	0,6772	0,5430
Другий тип $n_2=4$	0,9305	0,8191	0,6847	0,5500
Перший тип $n_1=5$	0,9344	0,8247	0,6906	0,5555
Другий тип $n_2=5$	0,9375	0,8292	0,6954	0,5601
Перший тип $n_1=6$	0,9400	0,8329	0,6994	0,5638

З табл. 4.6 витікає, що при значеннях при плаванні другим маршрутом незалежно від закону розподілу похибки бічного відхилення вірогідність $P \geq 0,999$ взагалі не досягається. Аналіз табл. 4.5 і табл. 4.6 показує, що вірогідність зменшується із зростанням σ , а при незмінному значенні σ збільшується із зростанням значення істотного параметра розподілів n_1 або n_2 .

4.3. Висновки за четвертим розділом.

У четвертому розділі розроблені процедури формалізації основних параметрів з метою оцінки вірогідності безаварійної проводки судна в заданому обмеженому районі. Одержані аналітичні вирази для оцінки обмеженості і зсуву маршруту, заданого масивами точок безпечних меж і програмної траєкторії руху судна. Одержані процедури реалізовані в комп'ютерній програмі і приведені два приклади маршрутів, для яких за допомогою програми одержані необхідні характеристики.

Розглянуто вплив законів розподілу похибки бічного відхилення на вірогідність безпечної проводки судна обмеженим маршрутом. У дослідженні використані нормальний закон розподілу і змішані закони першого і другого типів. Показано, що вірогідність безпечної проводки зменшується із збільшенням дисперсії похибки бічного відхилення і збільшується із зростанням істотного параметра змішаних законів розподілу.

РОЗДІЛ 5.

ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ БЕЗПЕЧНОГО ПЛАВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.

5.1. Опис імітаційної комп'ютерної програми.

Для перевірки коректності одержаних процедур оцінки вірогідності безпечної проводки судна заданим маршрутом при відомій точності контролю місця судна була розроблена комп'ютерна імітаційна програма, що складається з декількох модулів. За допомогою першого модуля проводиться формування маршруту проводки судна в стислому районі плавання, другим модулем здійснюється оцінка вірогідності безпечної проводки судна сформованим маршрутом з урахуванням законів розподілу похибок навігаційних вимірювань. Вибір маршруту проводки судна за допомогою електронної карти проводиться за допомогою третього модуля імітаційної програми.

Розглянемо перший модуль імітаційної програми, інтерфейс якого показаний на рис. 5.1. Для початку роботи з програмою ініціалізуються клавіші "Створити" і "Маршрут", за допомогою яких можливі альтернативні варіанти завдання обмеженого маршруту проводки судна. Клавішею "Створити" передбачено формування довільного маршруту. При її використанні активізуються п'ять верхніх клавіш і клавіша "ОК", як показано на рис. 5.2. Клавішами "Ліва" і "Права" забезпечується введення меж області безпечного плавання, а клавішею "Траєкторія" - завдання програмної траєкторії руху судна. За допомогою клавіш "X" і "Y" вибираються координати точок зламу меж безпечної області і траєкторії руху. Вибір лівої межі області показаний на рис. 5.3, а на рис. 5.4 за допомогою лінійки прокрутки демонструється введення координат крапки із значеннями $X=58$ і $Y=80$.

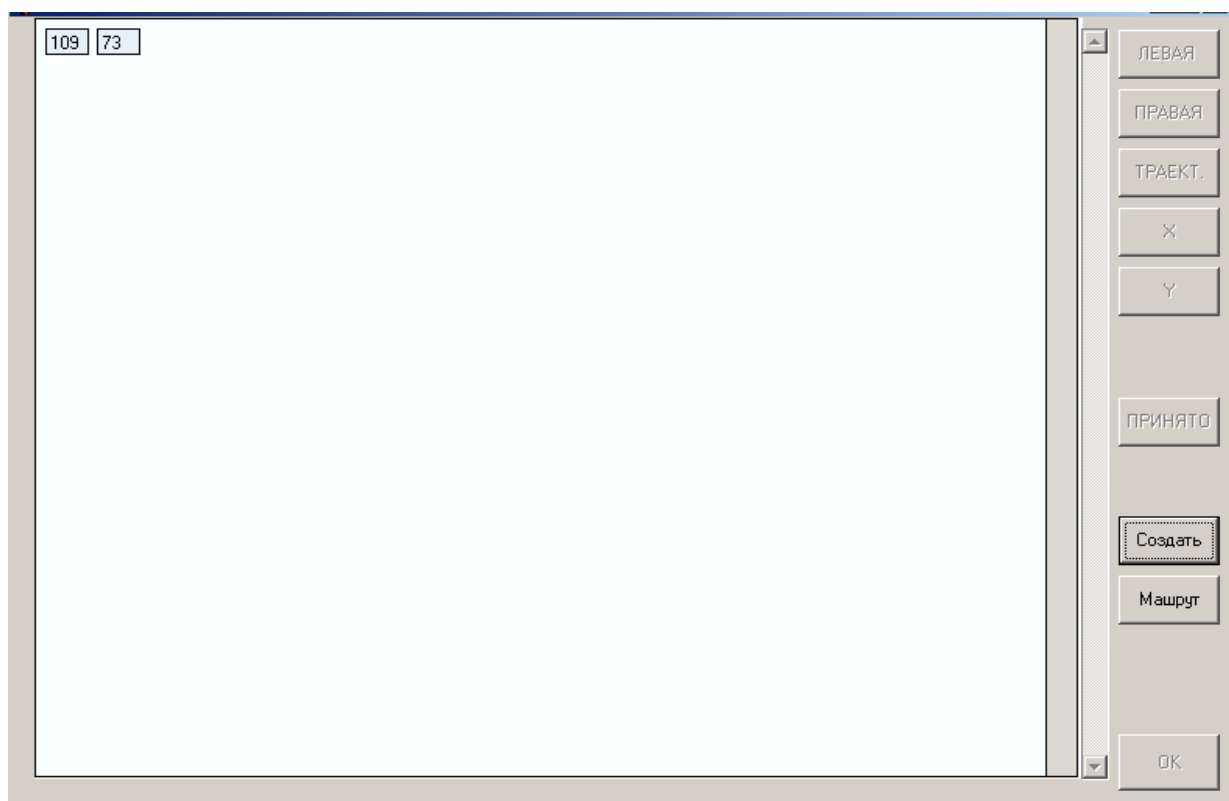


Рисунок 5.1 - Интерфейс первого модуля программы

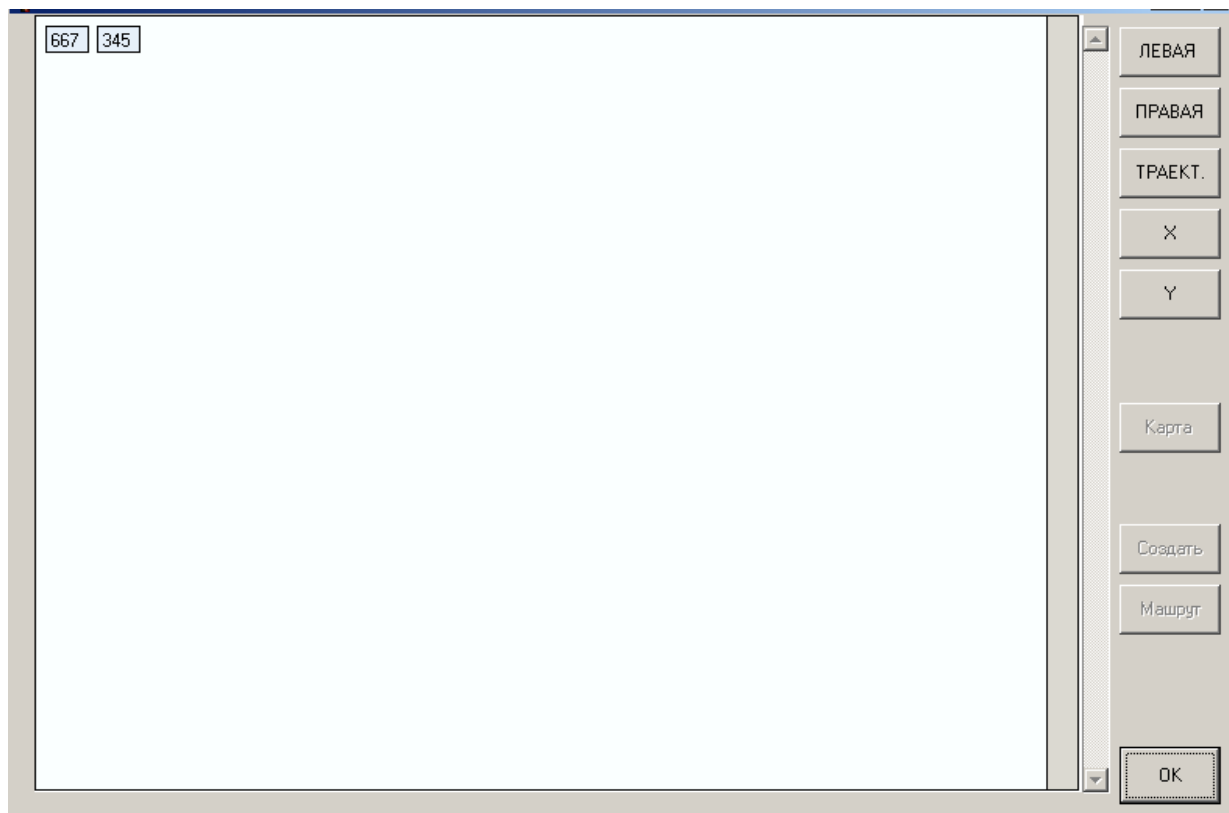


Рисунок 5.2 - Выбор режима формирования маршрута проводки

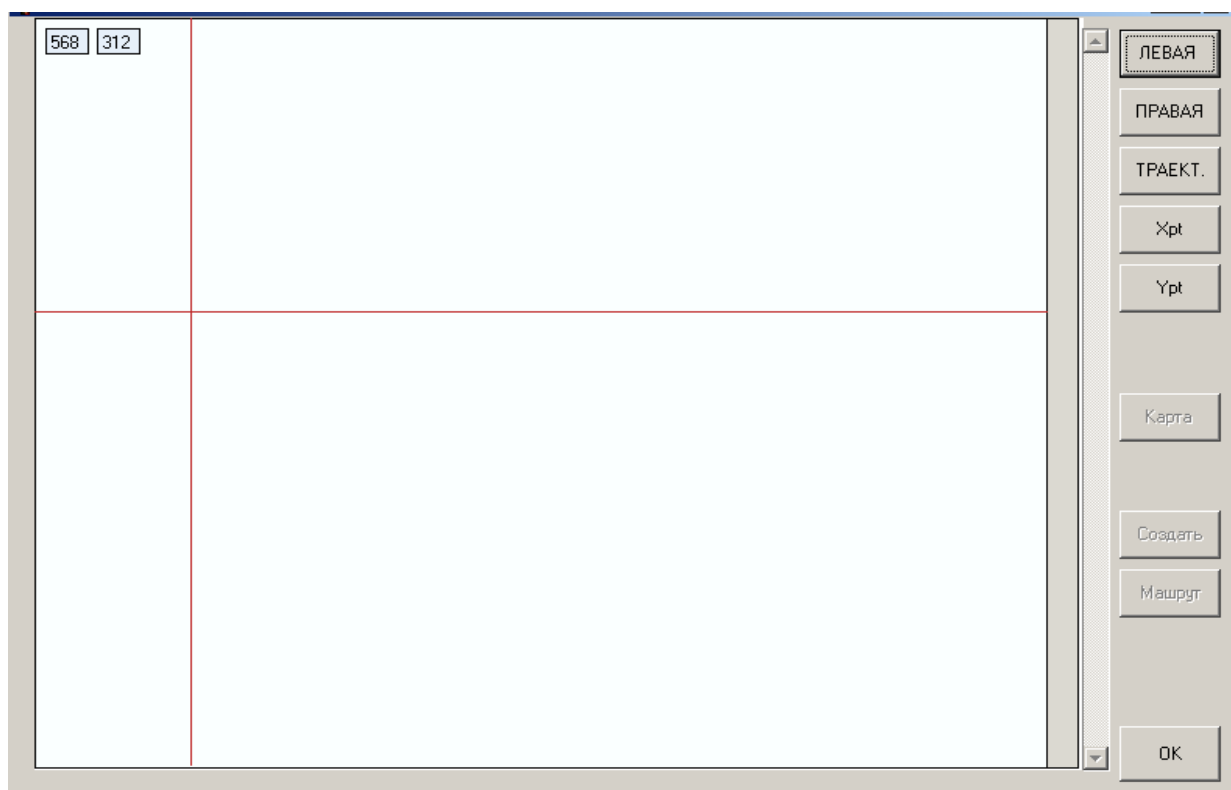


Рисунок 5.3 - Вибір лівої межі безпечної області

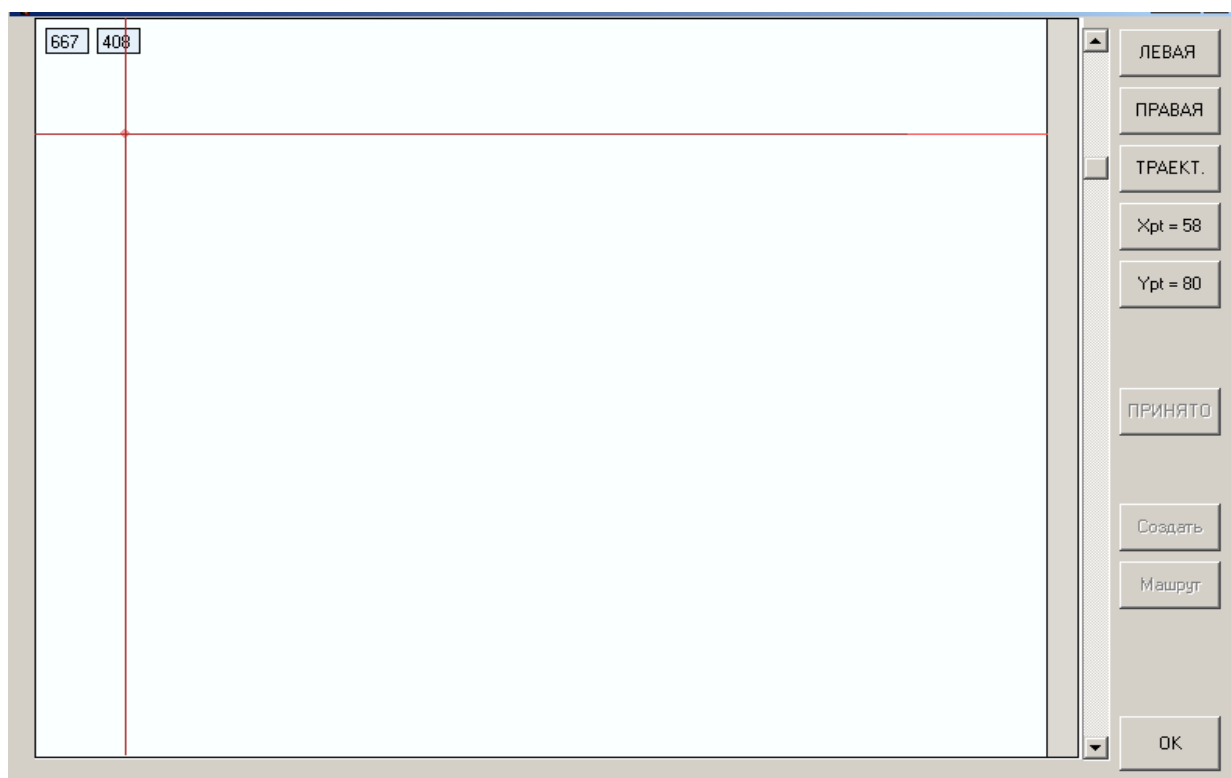


Рисунок 5.4 - Введення координат лівої межі

Повторюючи послідовне введення точок зламу, формується ліва межа безпечної області маршруту проводки судна, що представлено на рис. 5.5. З рисунку видно, що ліва межа складається з семи послідовних ділянок. Для формування правої межі області необхідно "кликнути" клавішу "Права", після чого виводиться маркер зеленого кольору для завдання точок зламу правої межі, що проілюстроване на рис. 5.6. Напря́м переміщення маркера для введення координат точок зламу проводиться клавішами "Xst" і "Yst", а величина переміщення здійснюється лінійкою прокрутки. З приведенного рисунку видно, що для формування правої межі безпечної області маршруту проводки судна обмеженим районом використано вісім послідовних ділянок. Введені лівою і правою межами сформована безпечна область плавання судна, яка показана на рис. 5.7.

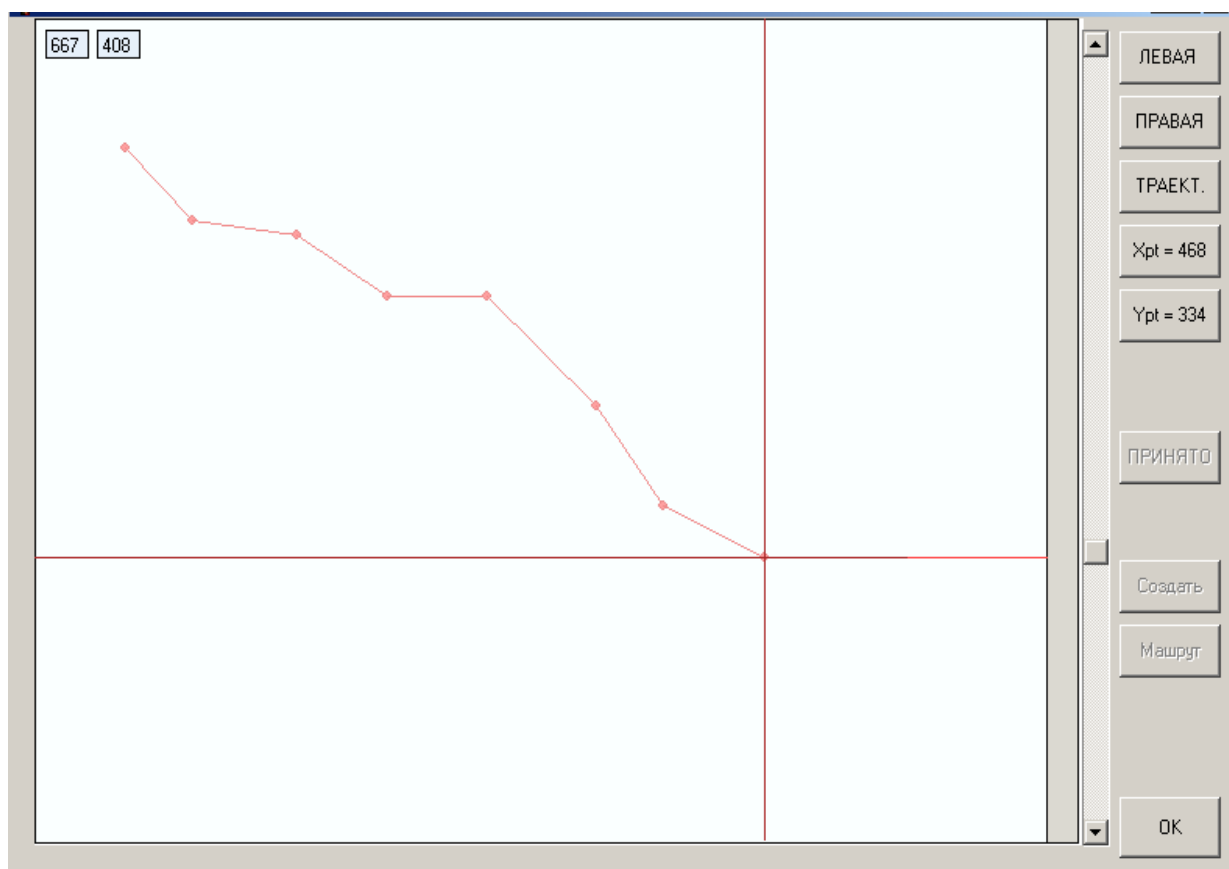


Рисунок 5.5 - Формування лівої межі безпечної області

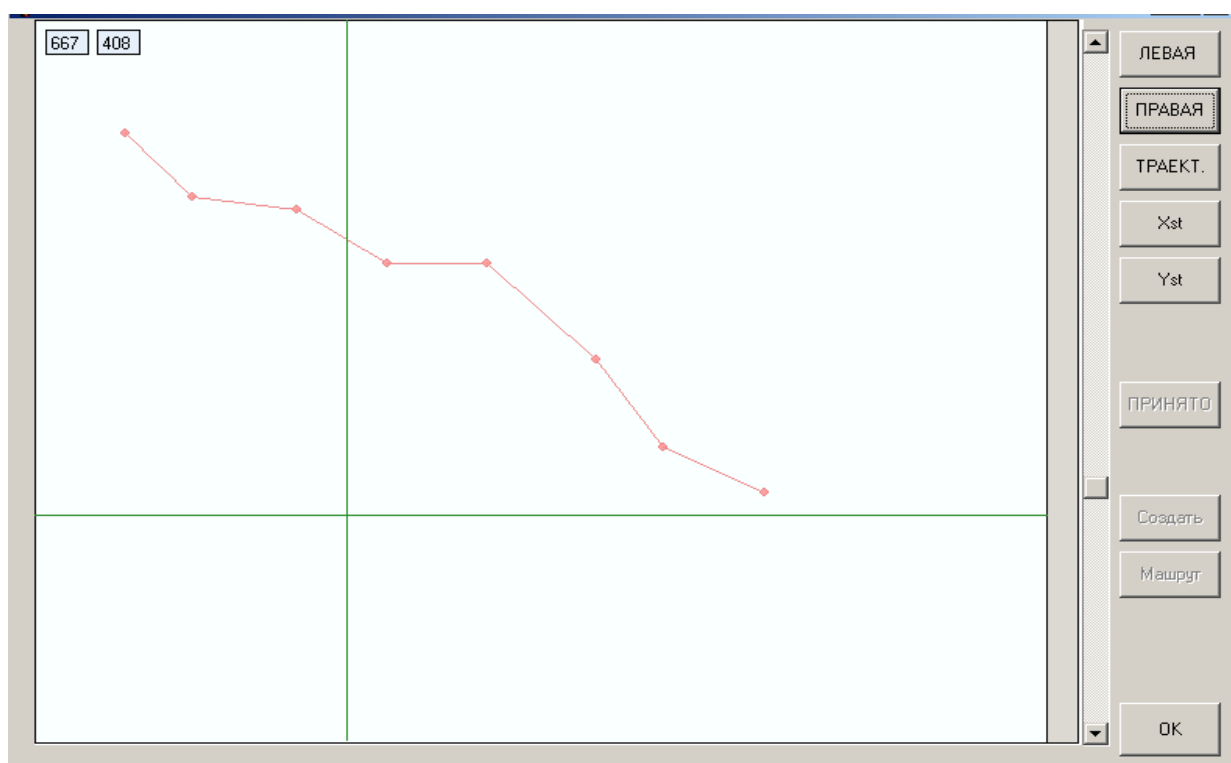


Рисунок 5.6 - Вибір режиму введення правої межі області

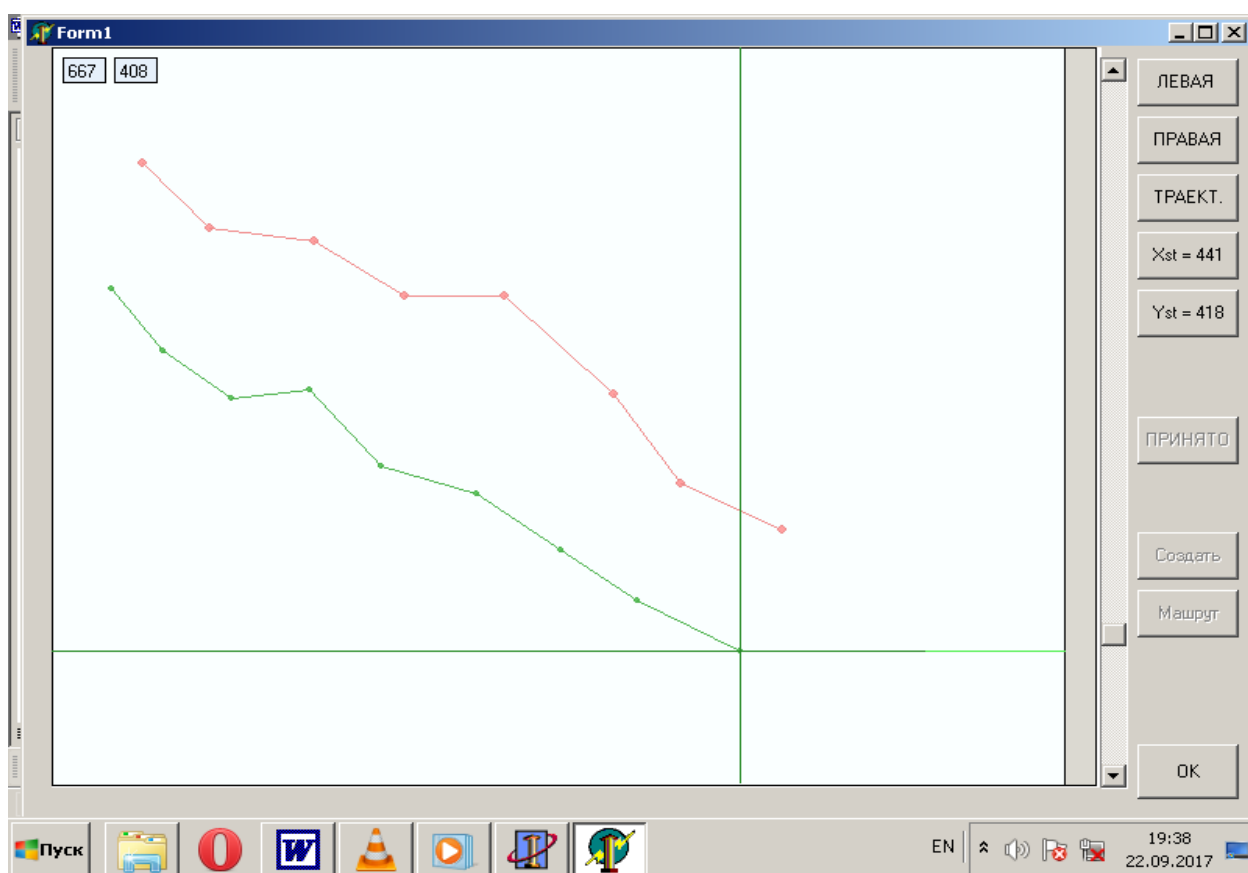


Рисунок 5.7 - Завершення введення правої межі

Для закінчення формування маршруту проводки необхідно ввести програмну траєкторію руху судна в безпечній області плавання. Для цього вибирається клавіша "Траєкт.", яка забезпечує появу маркера введення програмної траєкторії. За допомогою клавіш "Xtr" і "Ytr", а також лінійки прокрутки вибирається початкова точка програмної траєкторії руху судна, як показано на рис. 5.8. Для підтвердження введення кожної вибраної точки зламу використовується клавіша "Прийнято".

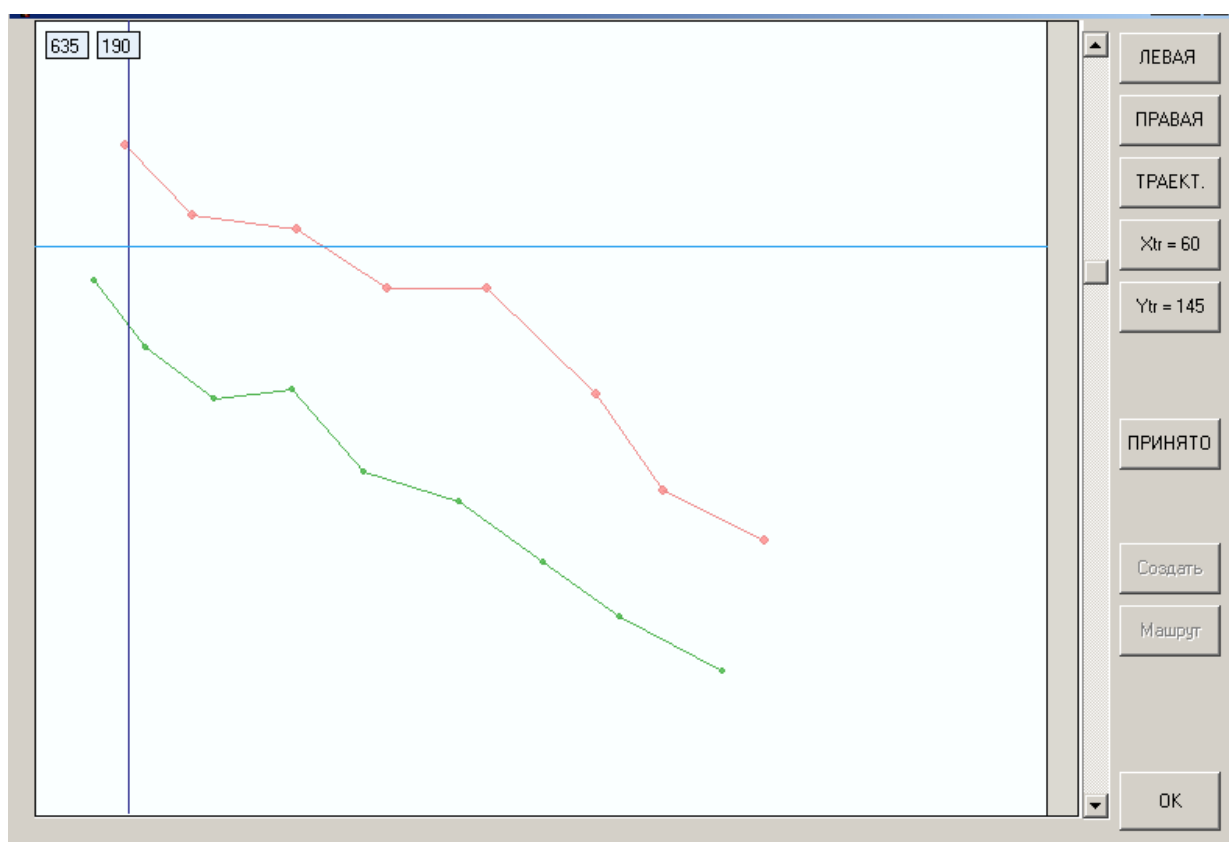


Рисунок 5.8 - Вибір початкової точки програмної траєкторії руху судна

На рис. 5.9 показане завершення введення програмної траєкторії руху судна, що складається з трьох ділянок, після чого слід використати клавішу "ОК", що забезпечує відображення на екрані монітору введеного маршруту проводки судна, що складається з безпечної області плавання і програмної траєкторії плавання, як показано на рис. 5.10.

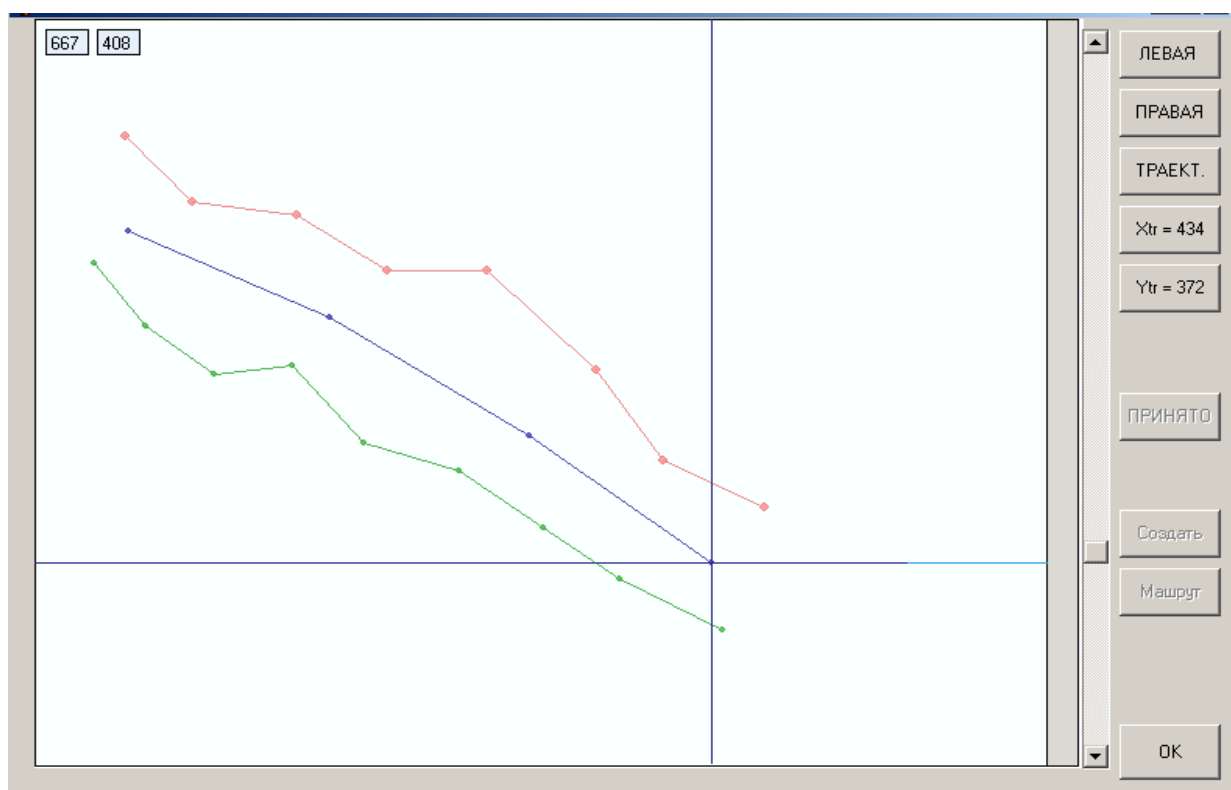


Рисунок 5.9 - Завершення введення програмної траєкторії руху судна

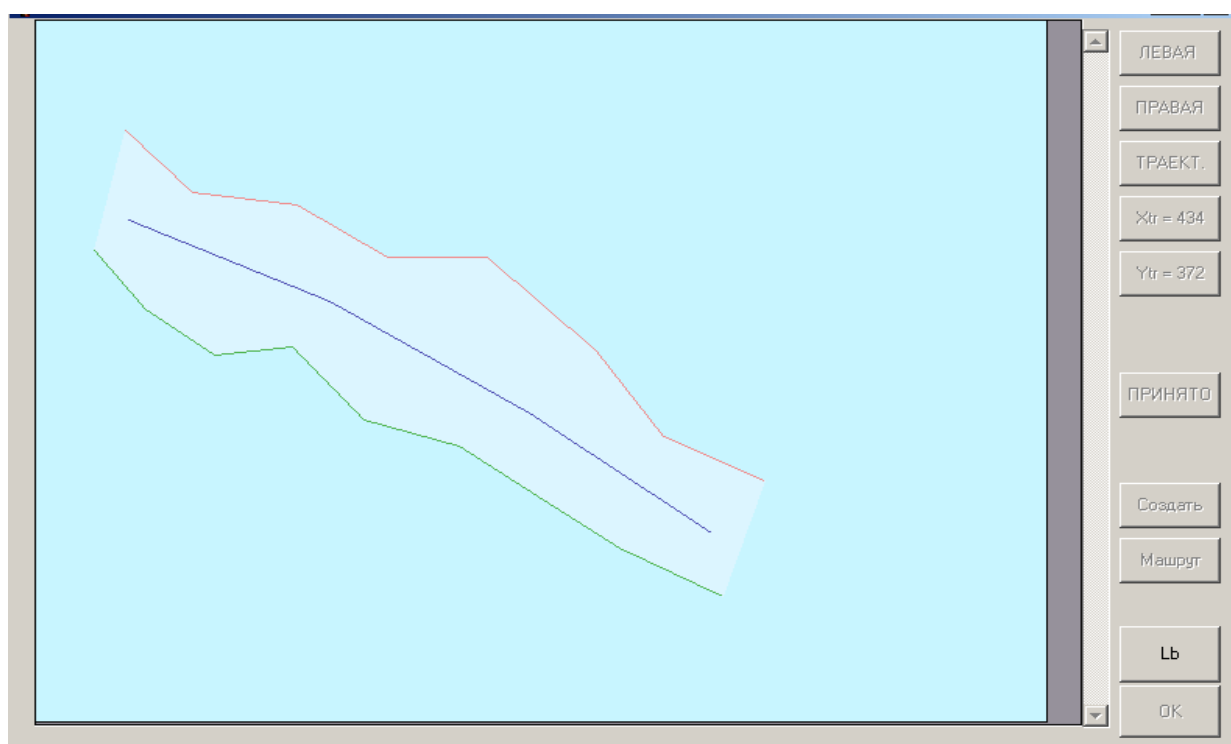


Рисунок 5.10 - Відображення заданого маршруту проводки судна

Використання клавіші "Lb", що з'явилася, веде до визначення характеристик введеного маршруту, для чого перш за все визначається масив нормальних відстаней до меж безпечної області плавання з метою обчислення обмеженості і зсуву маршруту проводки судна. Як впливає з рис. 5.11, нормальні відстані від програмної траєкторії до лівої і правої меж безпечної області виводяться на екран монітора, причому з кожної опорної точки програмної траєкторії визначається пара нормальних відстаней до кожної з меж безпечної області. Опорні точки програмної траєкторії розташовані на мінімальній відстані. Повторними натисканнями клавіші

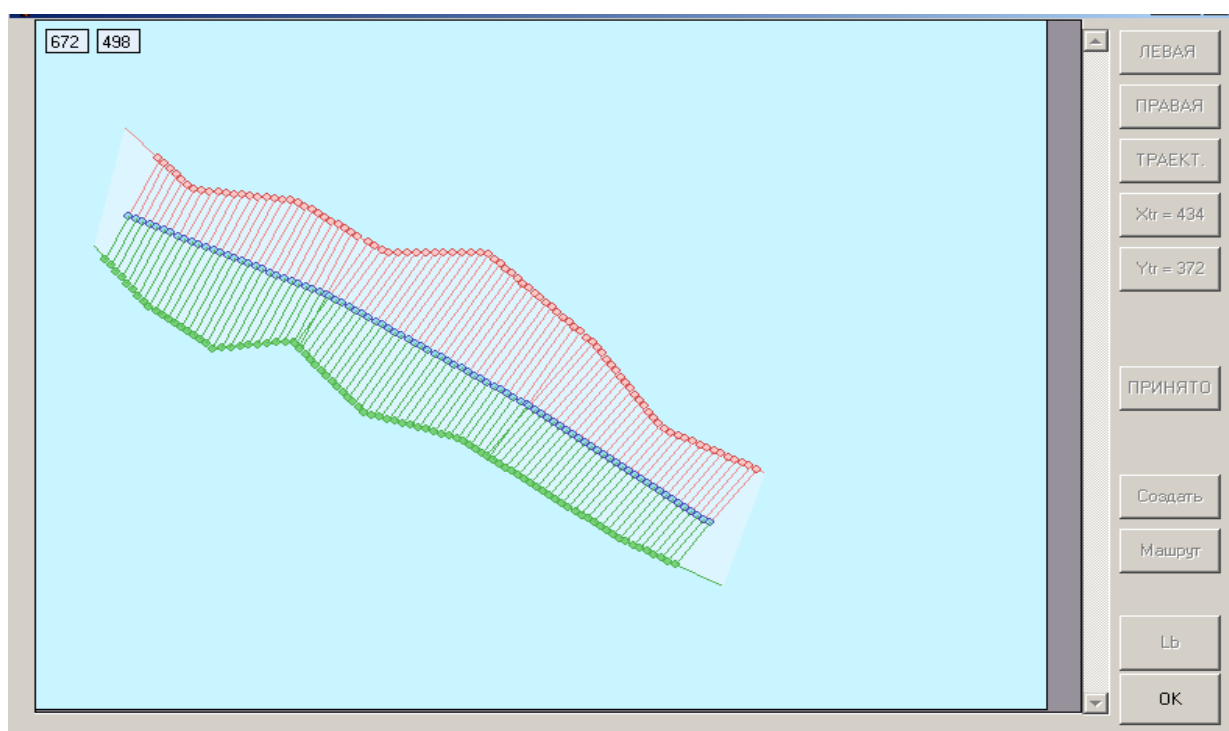


Рисунок 5.11 - Відображення масиву нормальних відстаней

"ОК" виводиться масив нормальних значень ширини маршруту (рис. 5.12), а також зсуву траєкторії програмного руху судна, як показано на рис. 5.13. Чергове використання клавіші "ОК" веде до появи графіку розподілу частот значень нормальної ширини, який характеризує обмеженість маршруту,

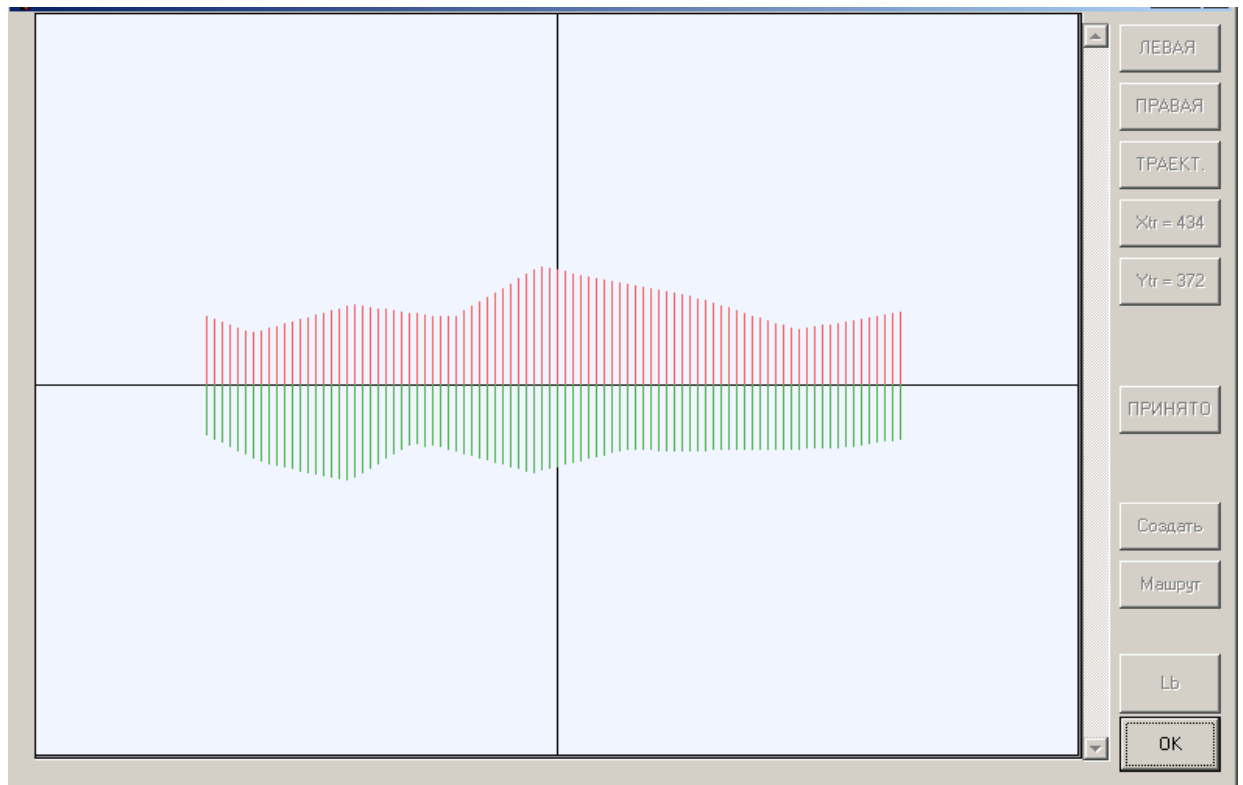


Рисунок 5.12 - Графічне представлення масиву нормальної ширини

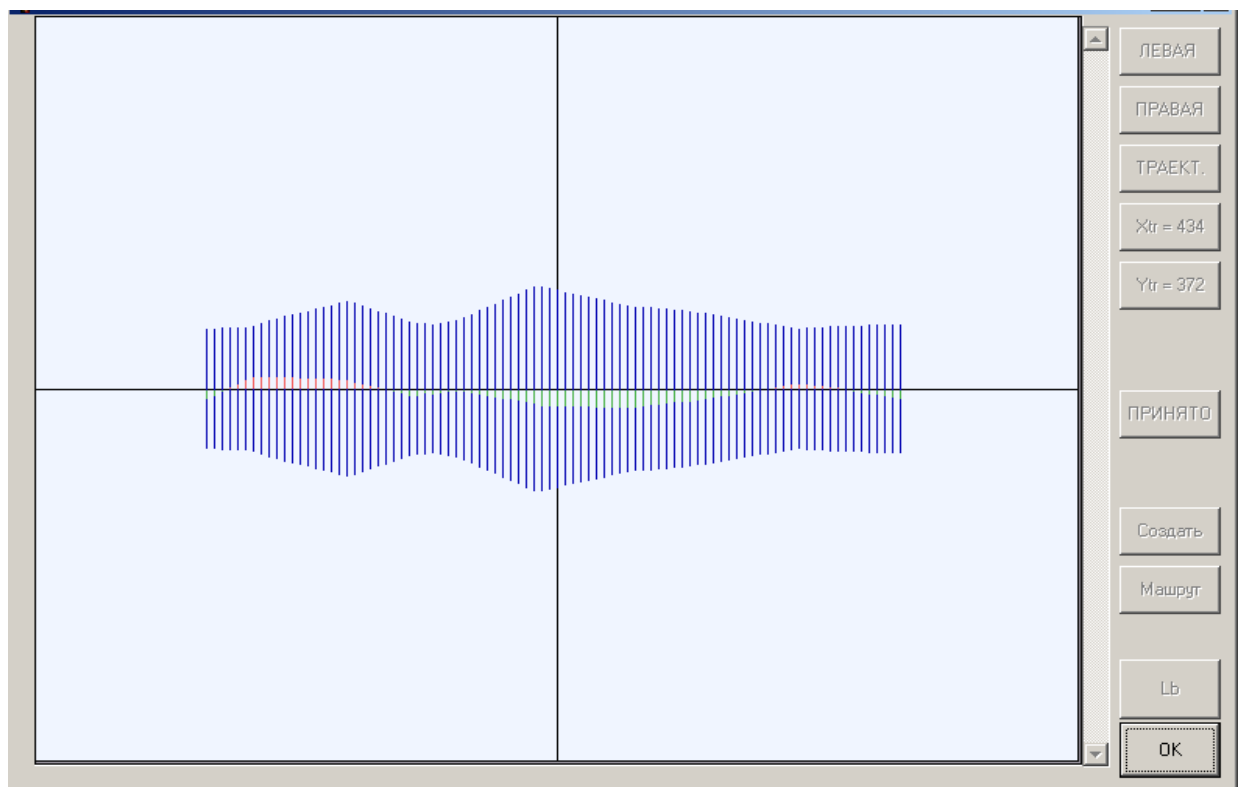


Рисунок 5.13 - Відображення зсуву траєкторії маршруту

що приведено на рис. 5.14, на якому вказуються також середні значення нормальної ширини, рівне близько 103, і зсуву, який становить 5,42 одиниць екранних відстаней.

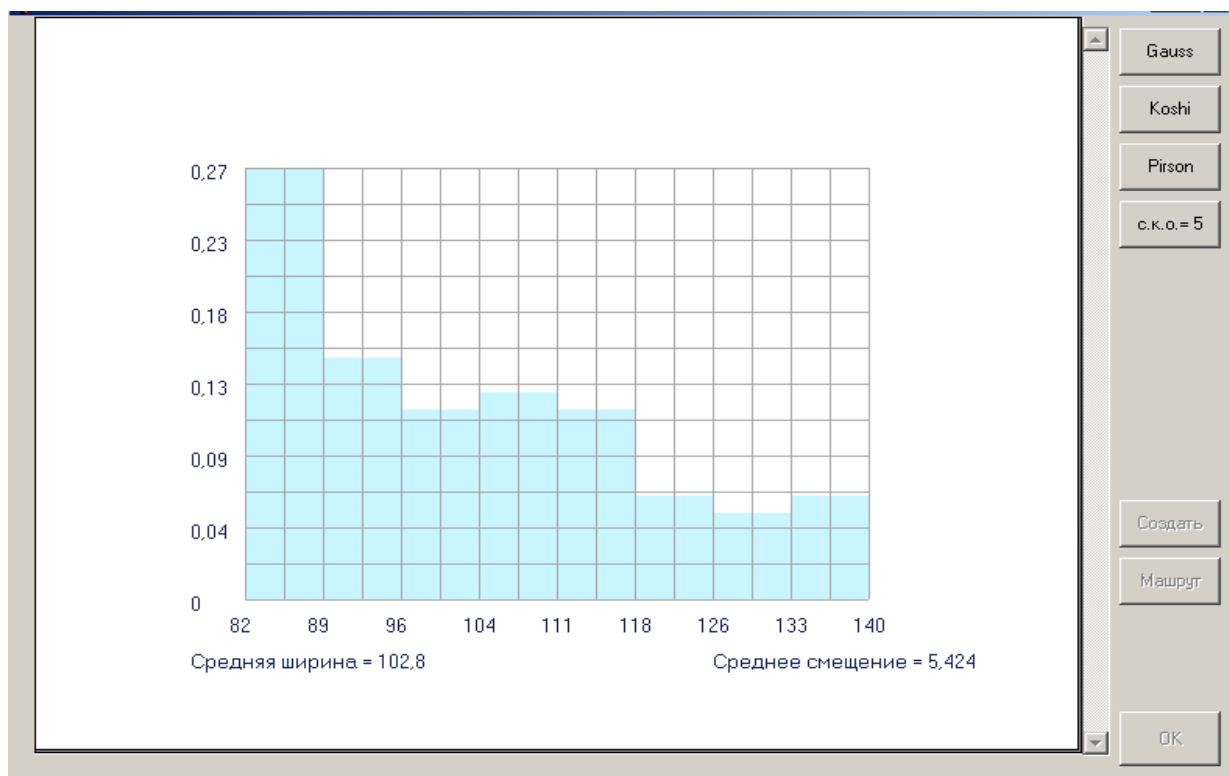


Рисунок 5.14 - Розподіли частот значень нормальної ширини

При цьому включається модуль оцінки вірогідності безпечної проводки судна по заданому маршруту, про що свідчить активізація клавіш по вибору закону розподілу похибки бічного відхилення. На рис. 5.15 показаний вибір закону Гауса з $\sigma=45$, а після використання клавіші "Вероятн." виводиться результат оцінки вірогідності безпечної проводки, значення якої, як впливає з рис. 5.16, рівне 0. Причому така вірогідність настає після проходження десятиї частини маршруту.

На рис. 5.17 показаний вибір за допомогою клавіші "Koshi" змішаного закону розподілу вірогідності першого типу з істотним параметром $n=1$ для стохастичного опису похибки бічного відхилення. За допомогою цього

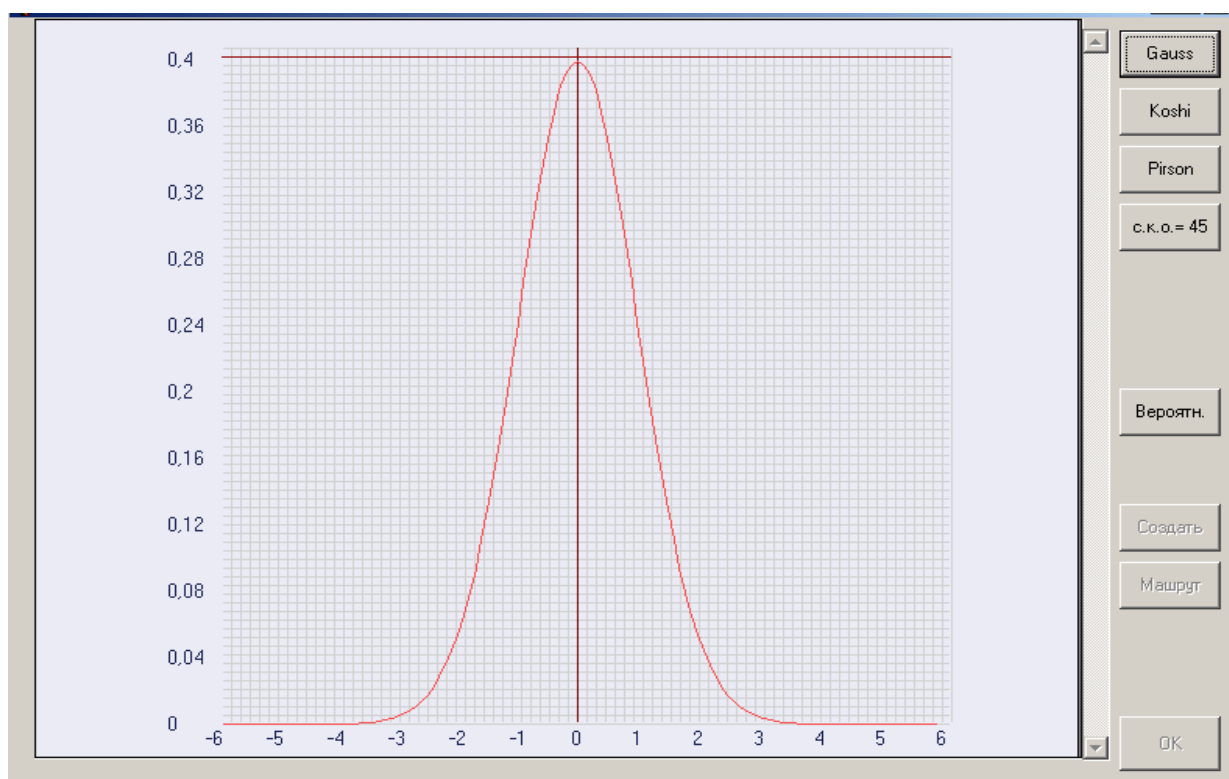


Рисунок 5.15 - Вибір нормального закону розподілу похибки

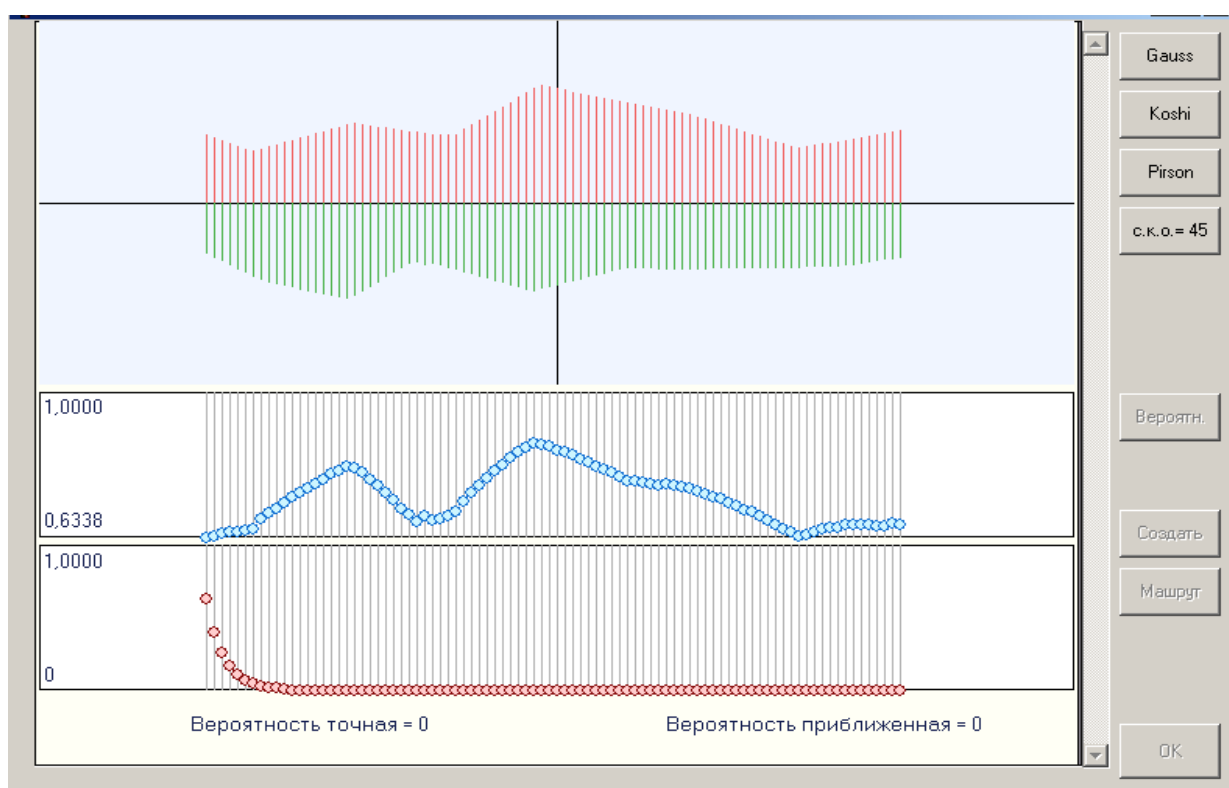


Рисунок 5.16 - Оцінка вірогідності при нормальному законі розподілу

закону розподілу проводиться розрахунок вірогідності безаварійної проводки судна по введеному маршруту, причому точність проводки визначається с.к.в. похибки бічного відхилення, яка вибрана рівною 15. В результаті оцінки одержана вірогідність безаварійної проводки судна обмеженим

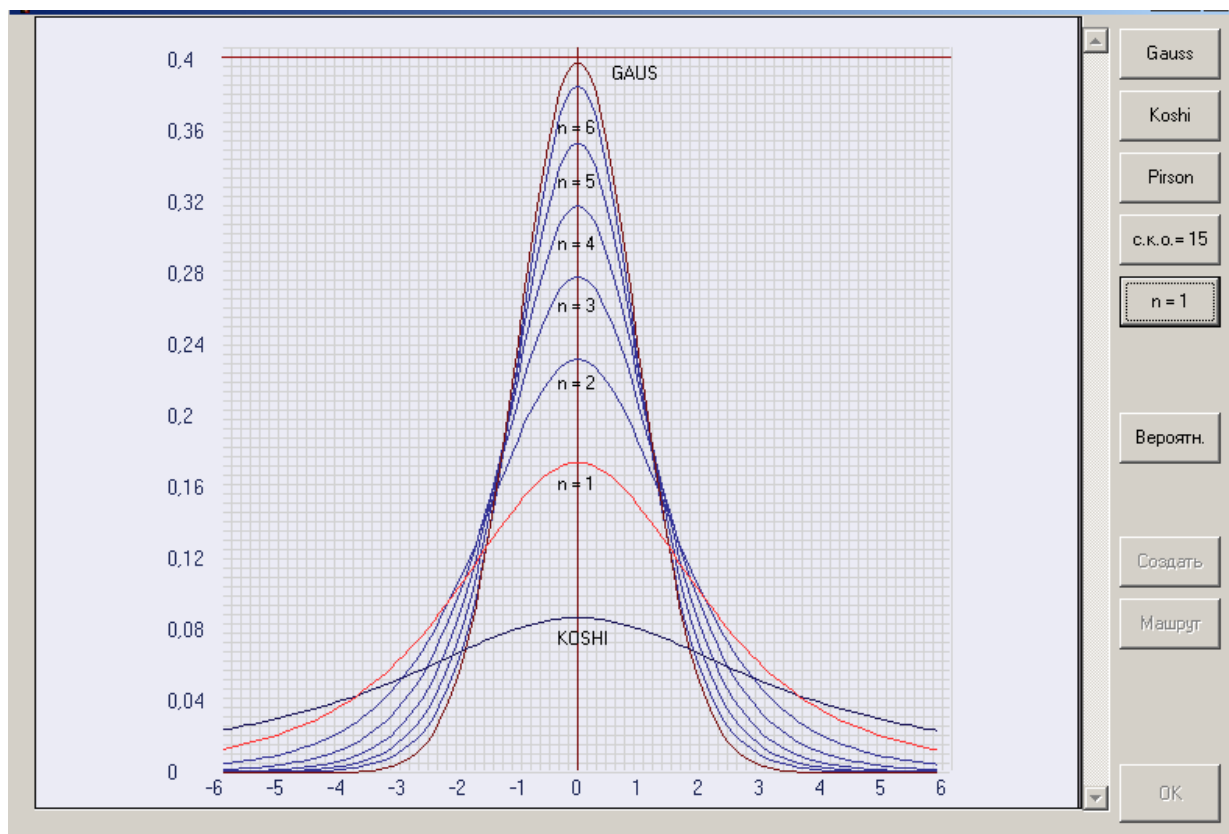


Рисунок 5.17 - Вибір змішаного закону розподілу першого типу з $n=1$

маршрутом. Як впливає з рис. 5.18, значення вірогідності безпечної проводки судна рівне 0,9804, причому на рисунку приведено два графіки, на яких показані значення вірогідності відсутності аварії в при даному значенні нормальної ширини і вірогідність безпечної проводки, що реалізувалася, до цього часу (нижній графік). На рис. 5.19 показаний вибір клавішею "Pirson" змішаного закону другого типу з істотним параметром $n=2$ як закон розподілу похибки бічного відхилення при тій же точності контролю місця судна в процесі його проводки заданим маршрутом. Результати оцінки

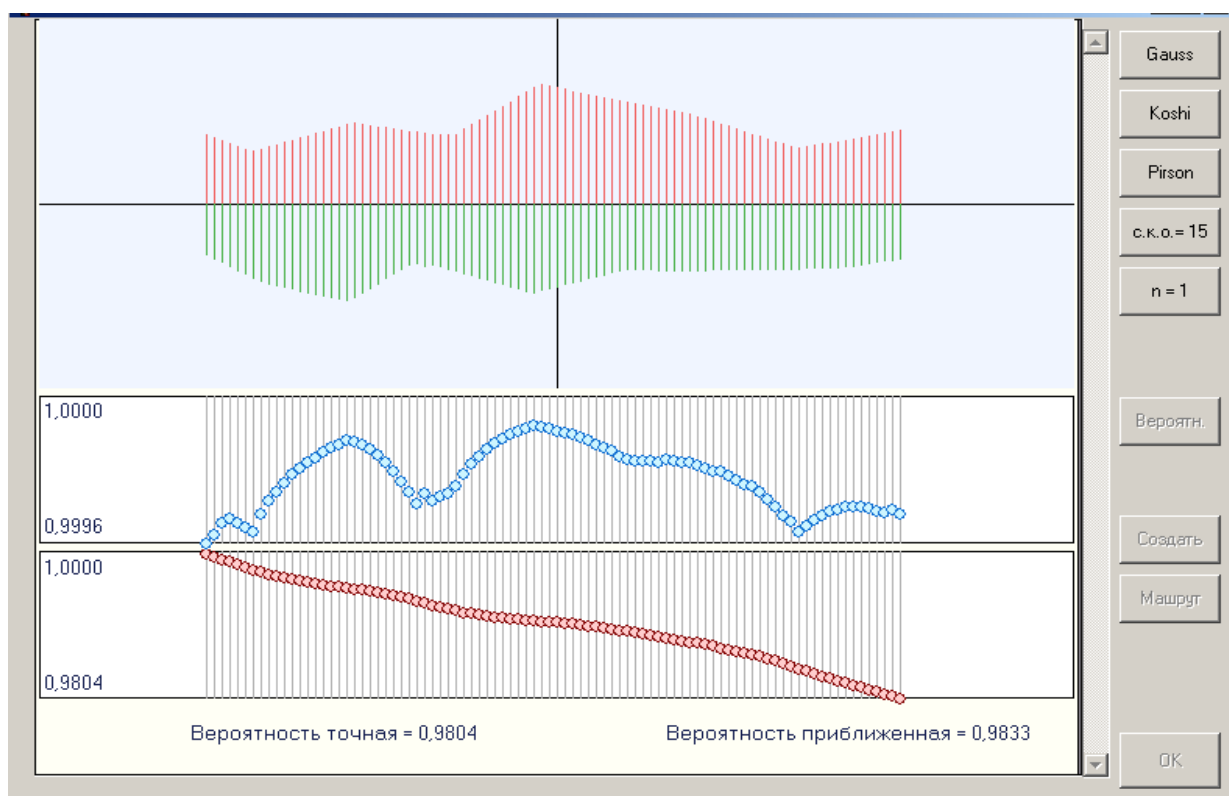


Рисунок 5.18 - Визначення вірогідності при змішаному законі першого типу

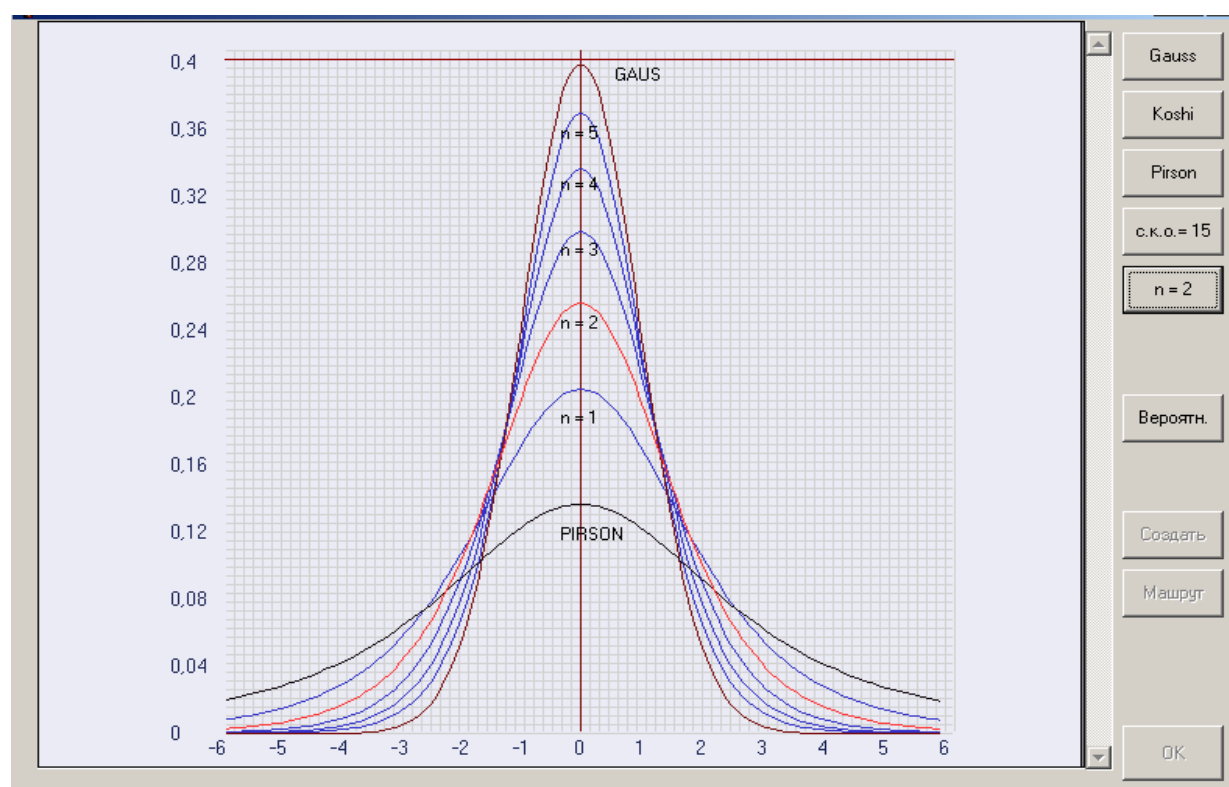


Рисунок 5.19 - Вибір змішаного закону другого типу з $n=2$

вірогідності безпечної проводки представлені на рис. 5.20, причому її значення в даному випадку складає 0,9994, що є достатньо високим і практично можна припускати безпечну проводку судна заданим маршрутом.

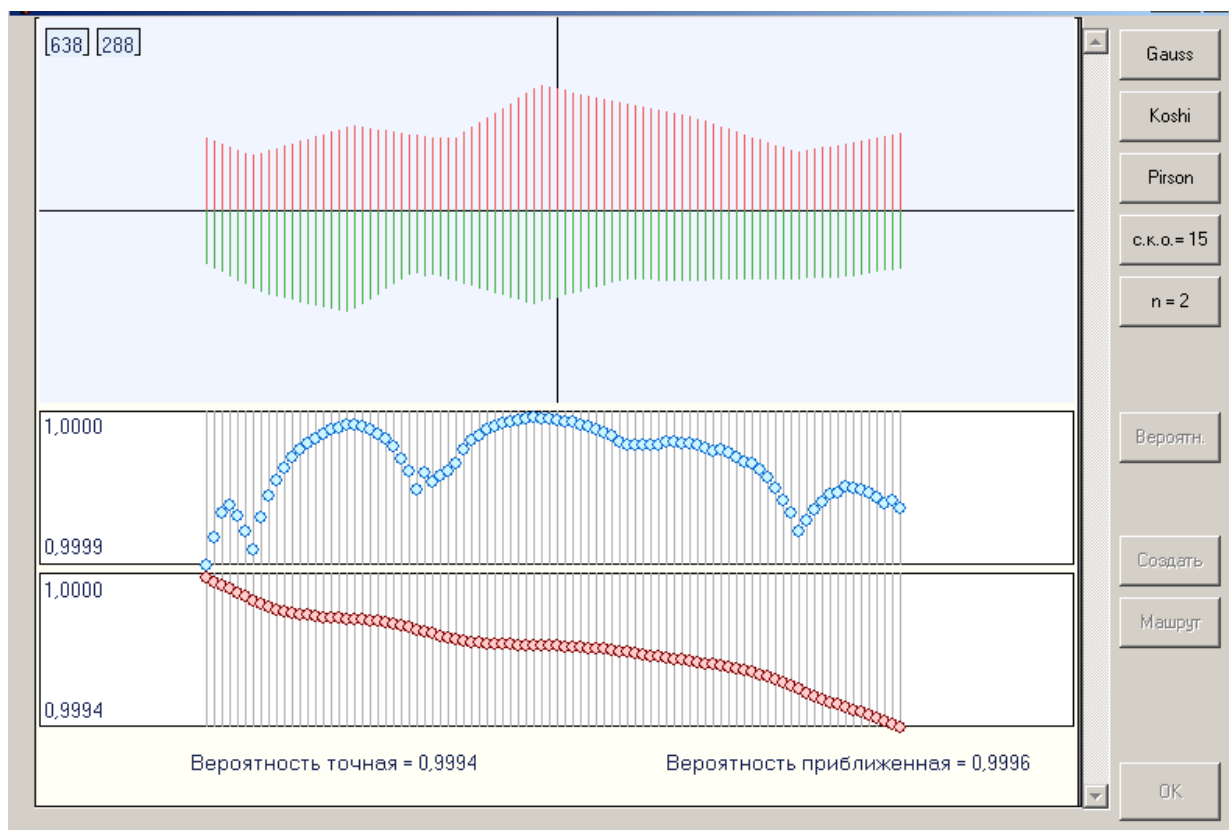


Рисунок 5.20 - Оцінка вірогідності при змішаному законі другого типу

У імітаційній програмі передбачений вибір п'яти маршрутів, межі і програмні траєкторії судна яких знаходяться в базі даних. Вибір здійснюється використанням клавіші "Маршрут", на якій з'являється номер стандартного маршруту. На рис. 5.21 вибраний маршрут 5. Надалі оцінка вірогідності проводиться, як показано вище.

У імітаційній програмі передбачений модуль формування маршруту плавання судна за допомогою електронної карти. Для цього в базі даних програми є растрові електронні карти, які можуть бути використані при

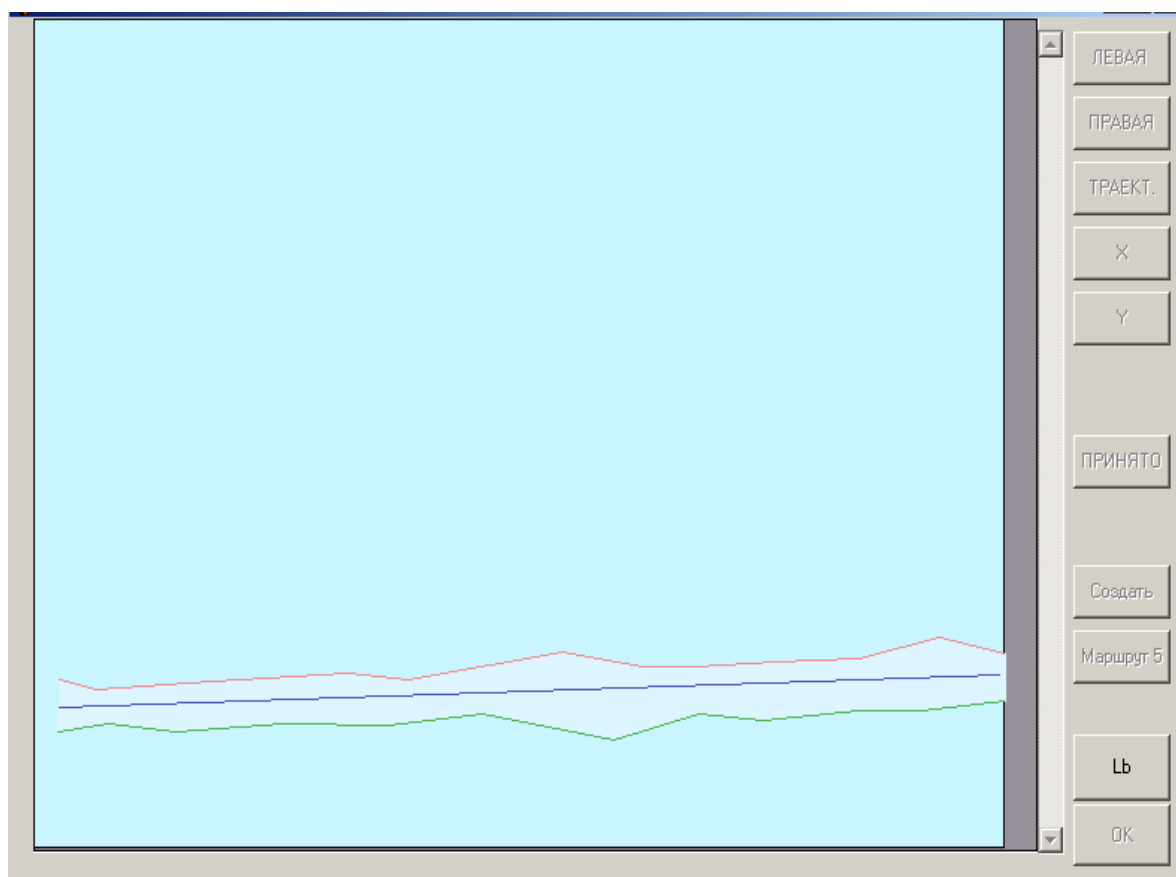


Рисунок 5.21 - Відображення стандартного маршруту 5

роботі з програмою. За допомогою клавіші "Карта" проводиться вибір електронної карти. У імітаційній програмі є можливість роботи з чотирма картами. При використанні клавіші "Карта" на екран монітора виводиться зменшене зображення електронної карти. На рис. 5.22 показаний вибір карти 3404 "Чорне море. Річка південний Буг". Під номером 2 значиться карта 3201 " Чорне море. Західне побережжя. Від Одеси до Сулінського гирла", вибір якої показаний на рис. 5.23. Карта 3605 " Чорне море. Північно-західний берег. Порт Південний" в базі імітаційної програми числиться номером 3, а її вибір представлений на рис. 5.24. Вибір останньої карти в базі під номером 4 показаний на рис. 5.25, - це карта 2623 "Азовське море. Керченська протока. Від бухти Комиш-Бурунська до Керченського підхідного каналу".

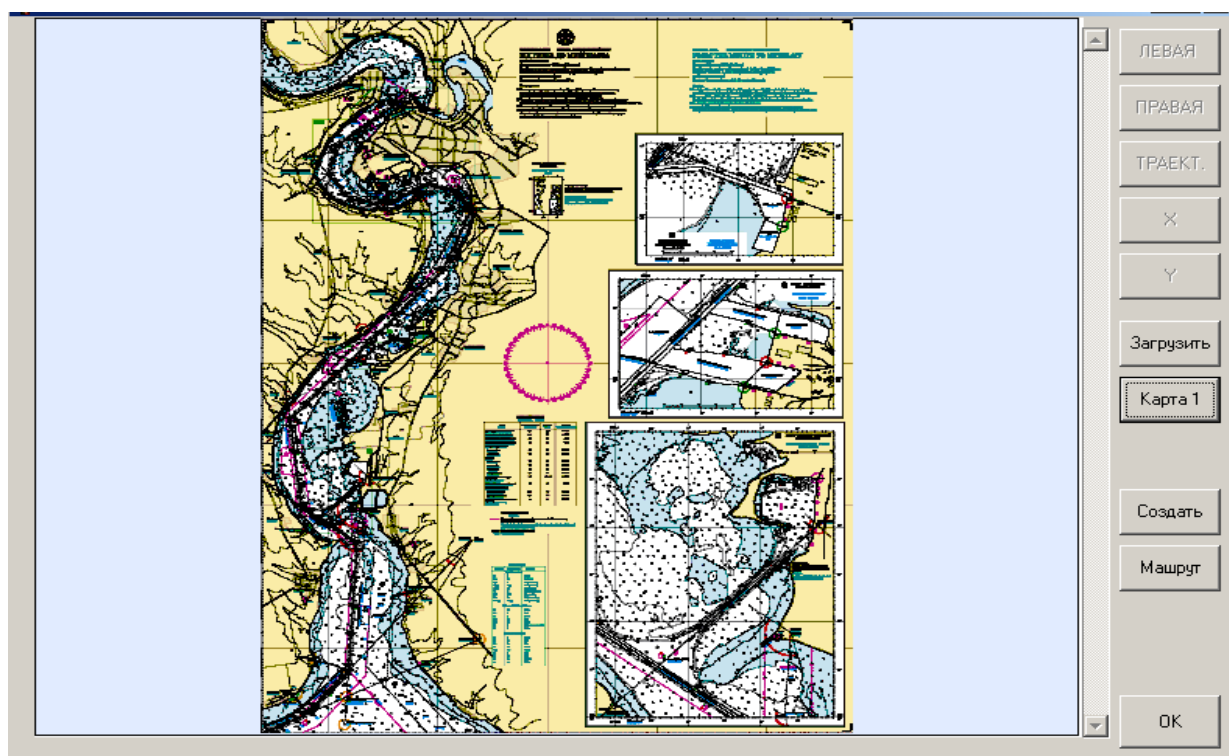


Рисунок 5.22 - Вибір карти 3404

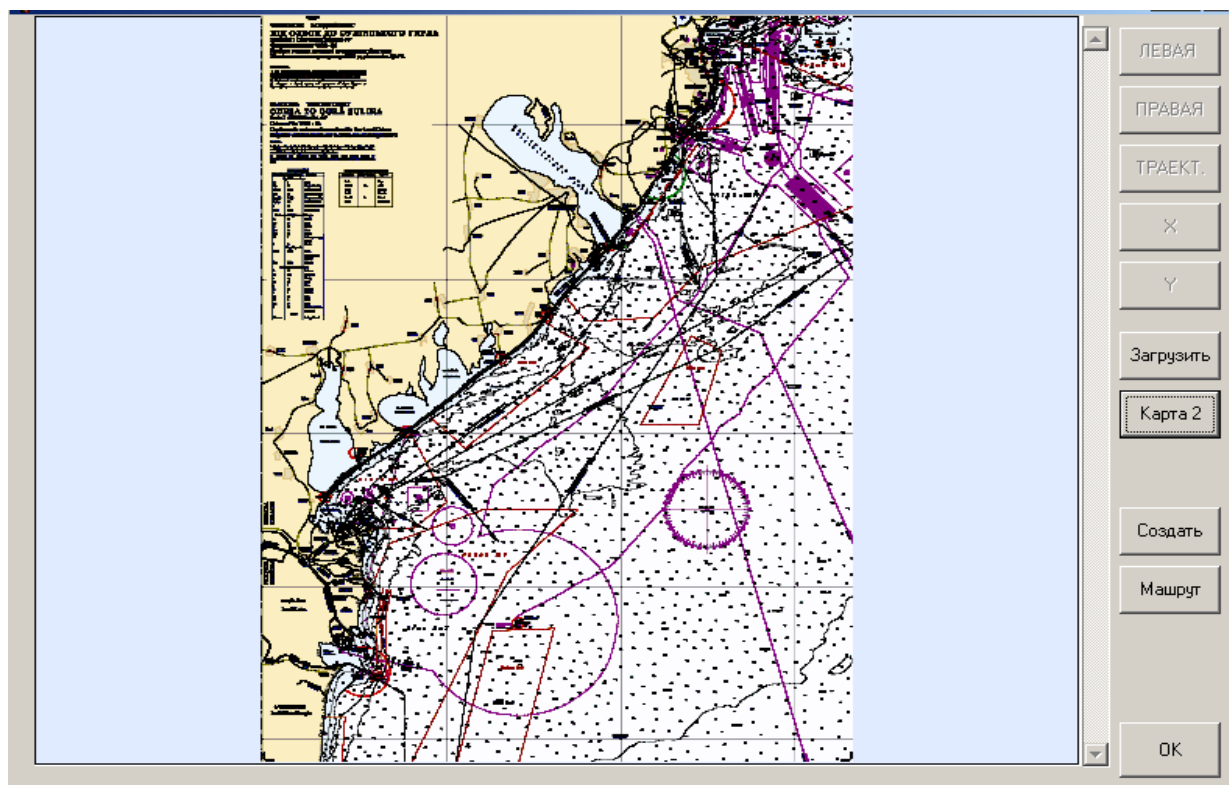


Рисунок 5.23 - Вибір карти 3201

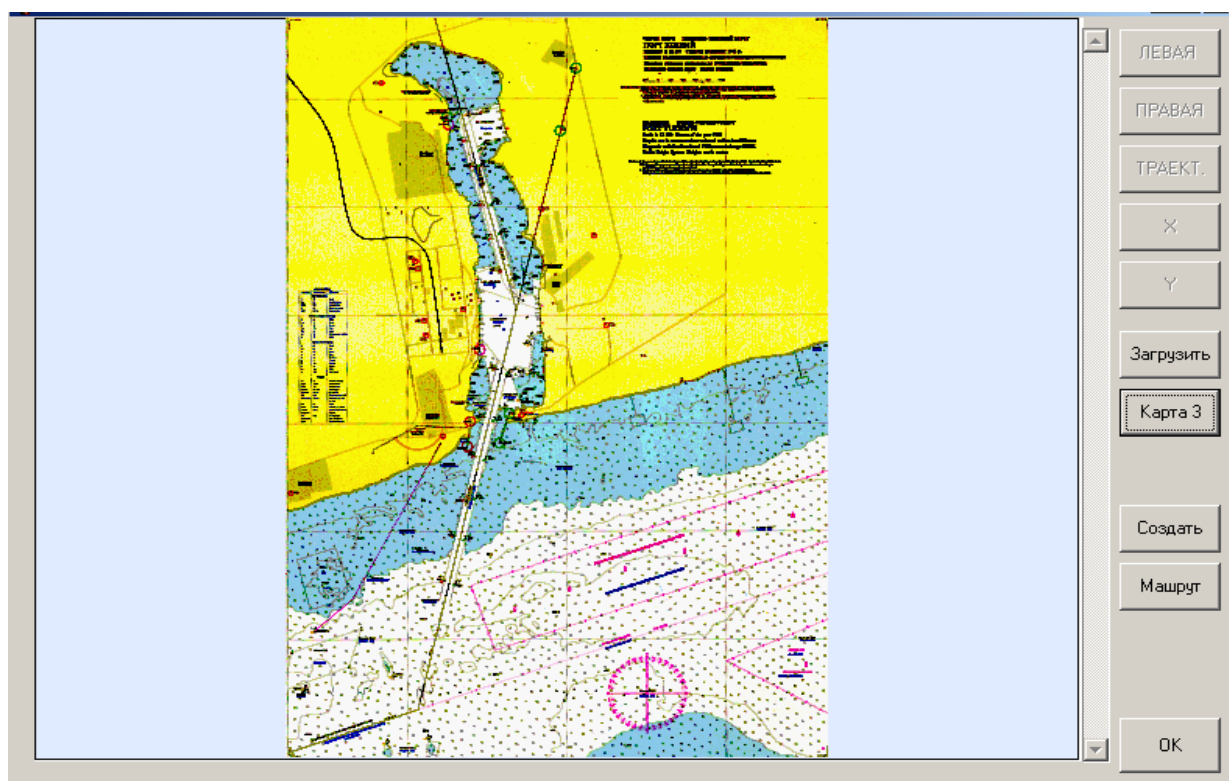


Рисунок 5.24 - Вибір карти 3605

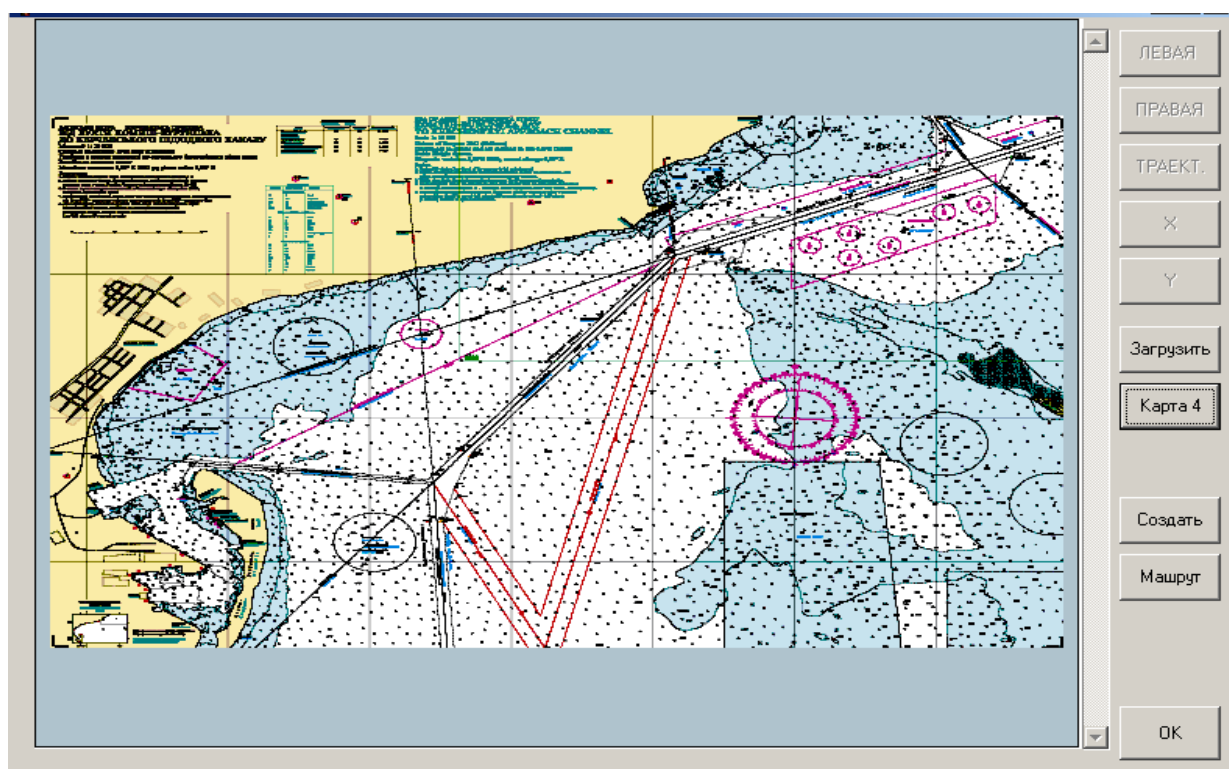


Рисунок 5.25 - Вибір карти 2623

Після вибору однієї з електронних карт її завантаження для формування маршруту проводки здійснюється за допомогою клавіші "Завантажити". Була вибрана карта 3201 і поведене її завантаження, що показано на рис. 5.26. При

цьому активізуються клавіші "X" і "Y", за допомогою яких можна проглядати всі частини електронної карти. Після вибору необхідної ділянки карти, яка показана на рис. 5.27, є можливість змінити масштаб ділянки перегляду за допомогою клавіш "<" і ">". Клавішею ">" зменшується зображення ділянки перегляду, збільшуючи район огляду, на рис. 5.28 показана ділянка перегляду після десятиразового натиснення клавіші ">". Збільшення зображення ділянки перегляду досягається клавішею "<", так, на рис. 5.29 приведені збільшені зображення ділянки перегляду після того, як клавіша "<" використувалася п'ять разів. Вказаними діями можна вибрати необхідну ділянку електронної карти і підібрати масштаб зображення, зручний для формування маршруту проводки судна в обмеженому районі.

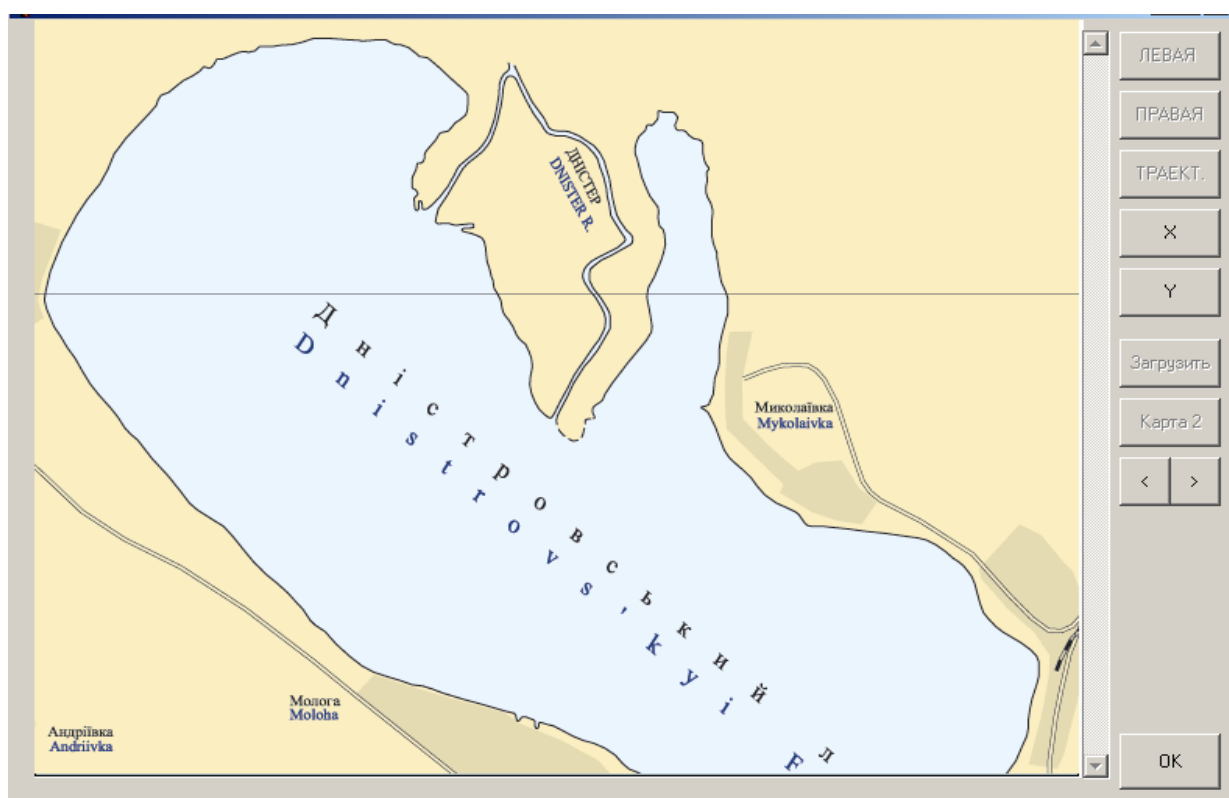


Рисунок 5.26 - Завантаження карти 3201

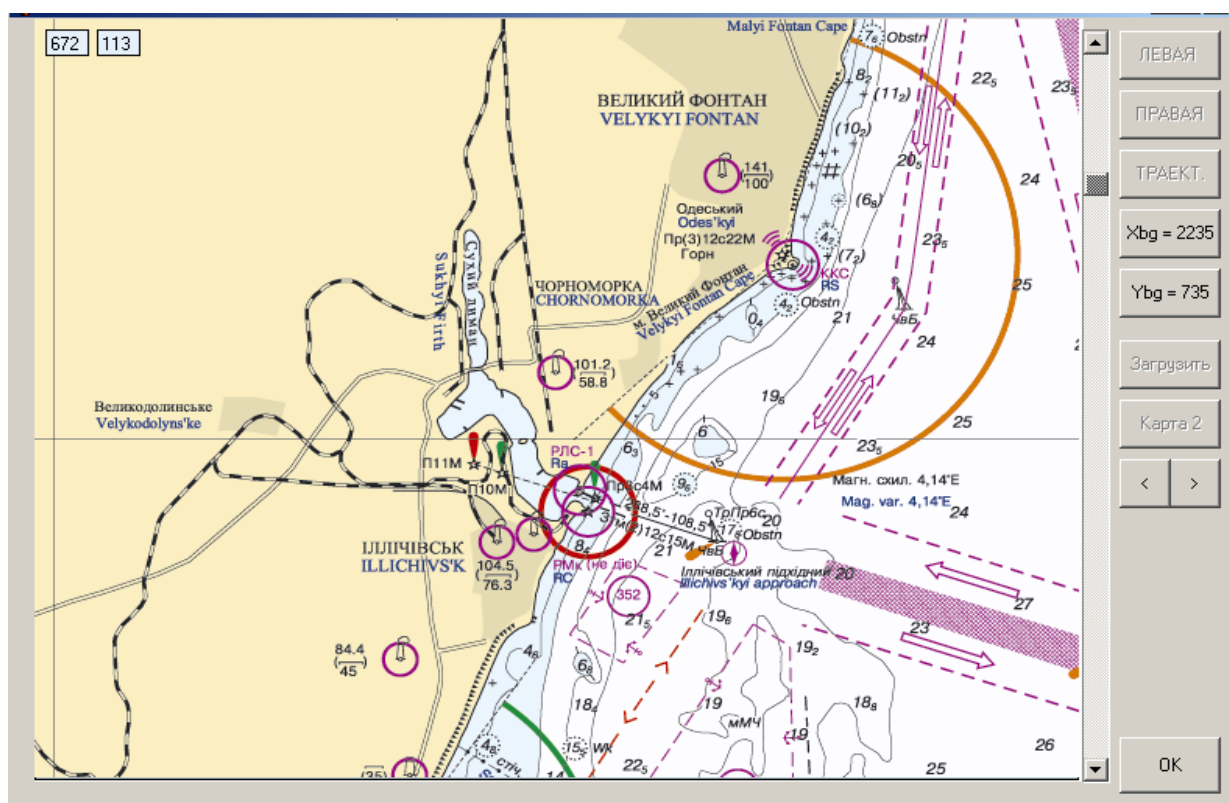


Рисунок 5.27 - Вибір необхідної ділянки електронної карти 3201

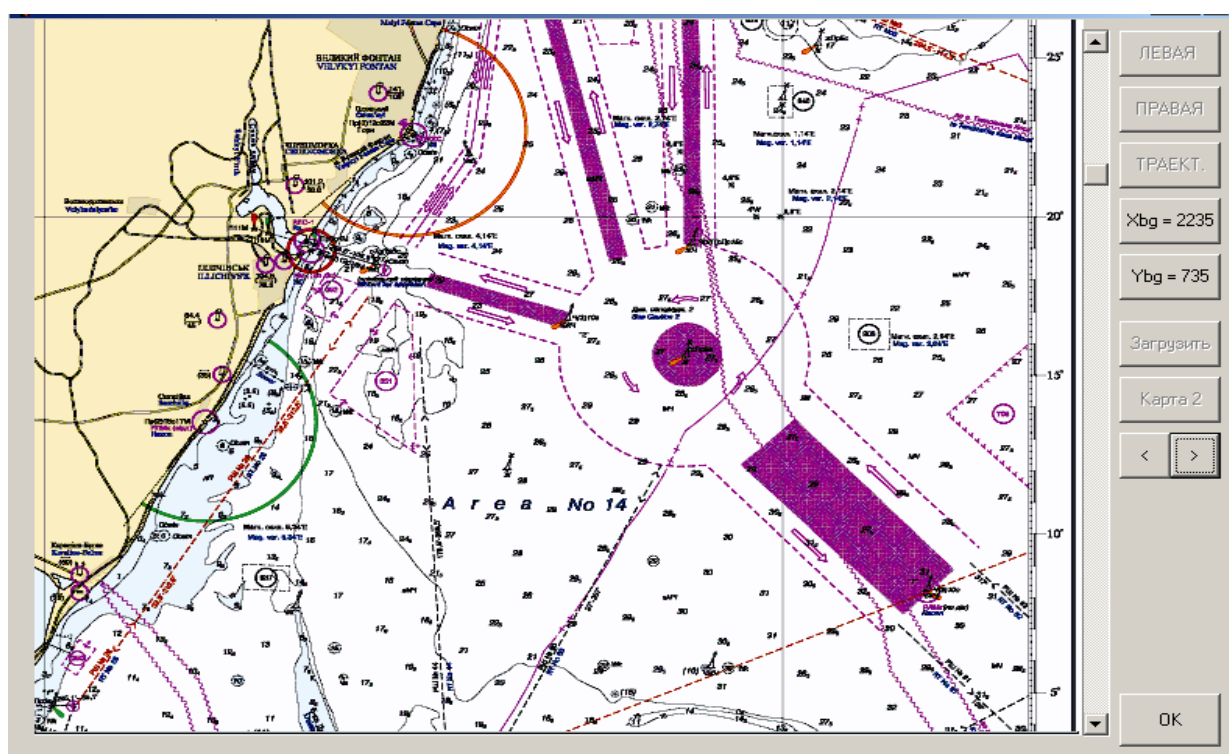


Рисунок 5.28 - Зменшення зображення ділянки перегляду

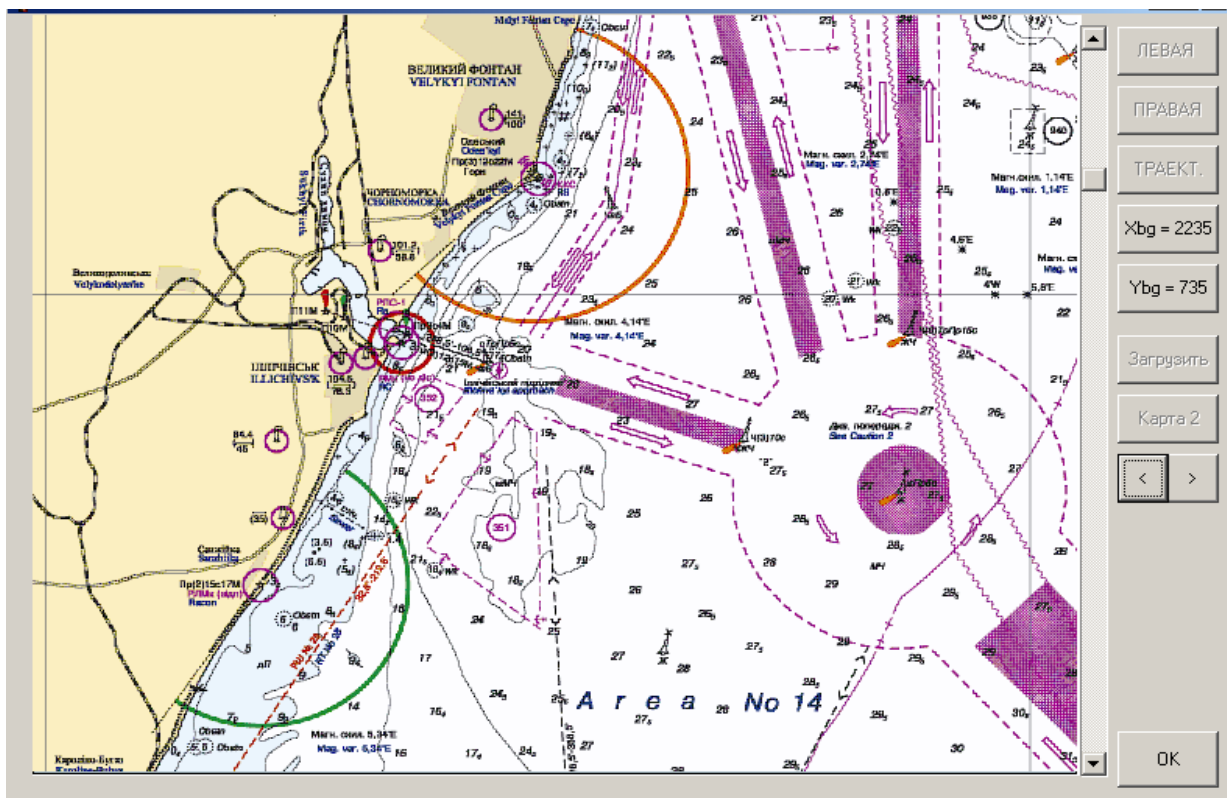


Рисунок 5.29 - Збільшення зображення ділянки перегляду

Таким чином, за допомогою імітаційної комп'ютерної програми є можливість вибору заданого маршруту проводки судна обмеженим районом декількома альтернативними способами. Перш за все, можна скористатися маршрутами з бази даних, сформувавши його по заданому масиву крапок або, використовуючи електронну карту.

5.2. Використання імітаційного моделювання для порівняння двовимірної і одновимірної моделей оцінки вірогідності проводки судна заданим маршрутом.

У попередніх розділах розглянуті дві альтернативні моделі оцінки вірогідності безпечної проводки судна заданим обмеженим маршрутом, в першій з яких використана двовимірна щільність розподілу вірогідності векторіальної

похибки і двовимірні масиви шматково-лінійної апроксимації меж безпечної області плавання. У другій моделі застосовувалася одновимірна щільність похибки бічного відхилення і одновимірні масиви нормальної ширини і зсуву. Для одного і того ж маршруту плавання, що включає межі безпечної області плавання і програмну траєкторію руху судна, проводився розрахунок вірогідності безпечної проводки судна заданим маршрутом по обох моделях і одержані результати порівнювалися. Позначимо вірогідність, одержану по моделі одновимірної щільності, через P_1 , а по моделі двовимірної щільності – через P_2 . За допомогою комп'ютерної програми спочатку формувався обмежений маршрут 1 плавання судна, для чого вводилися масиви меж області безпечного плавання і програмна траєкторія плавання судна, які показані на рис. 5.30. Для даного маршруту 1 вибиралося значення с. к. о. рівне 5 і припускалося, що похибки підкоряються нормальному закону розподілу. Потім проводився розрахунок оцінки вірогідності P_2 безпечної проводки обмеженим

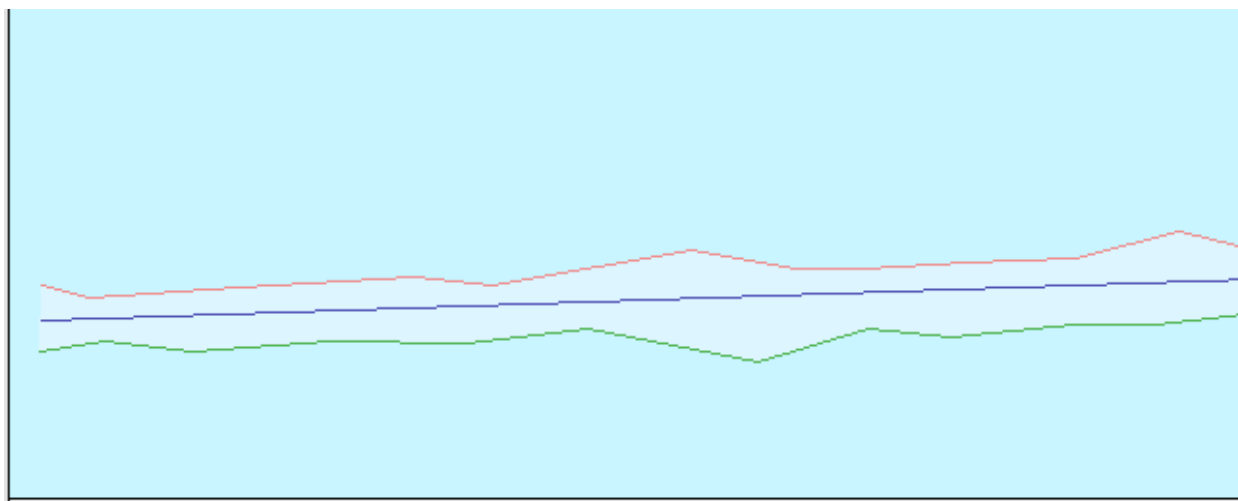


Рисунок 5.30 - Відображення маршруту 1

маршрутом 1, що показано на рис. 5.31, при цьому набуто значення вірогідності $P_2=0,484$.

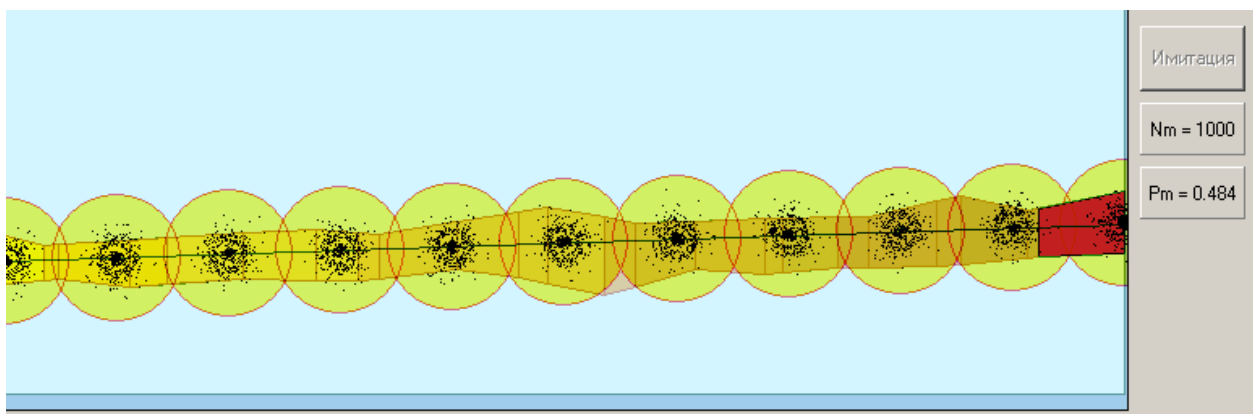


Рисунок 5.31 - Оцінка вірогідності P_2 проводки маршрутом 1

За допомогою комп'ютерної програми, розглянутої в першому підрозділі даного розділу, були визначені одновимірні характеристики маршруту 1, до яких відносяться його обмеженість і зсув програмної траєкторії, які дозволили провести точну оцінку вірогідності безпечного плавання P_1 по одновимірній моделі, причому, як впливає з рис. 5.32, $P_1 = 0,487$.

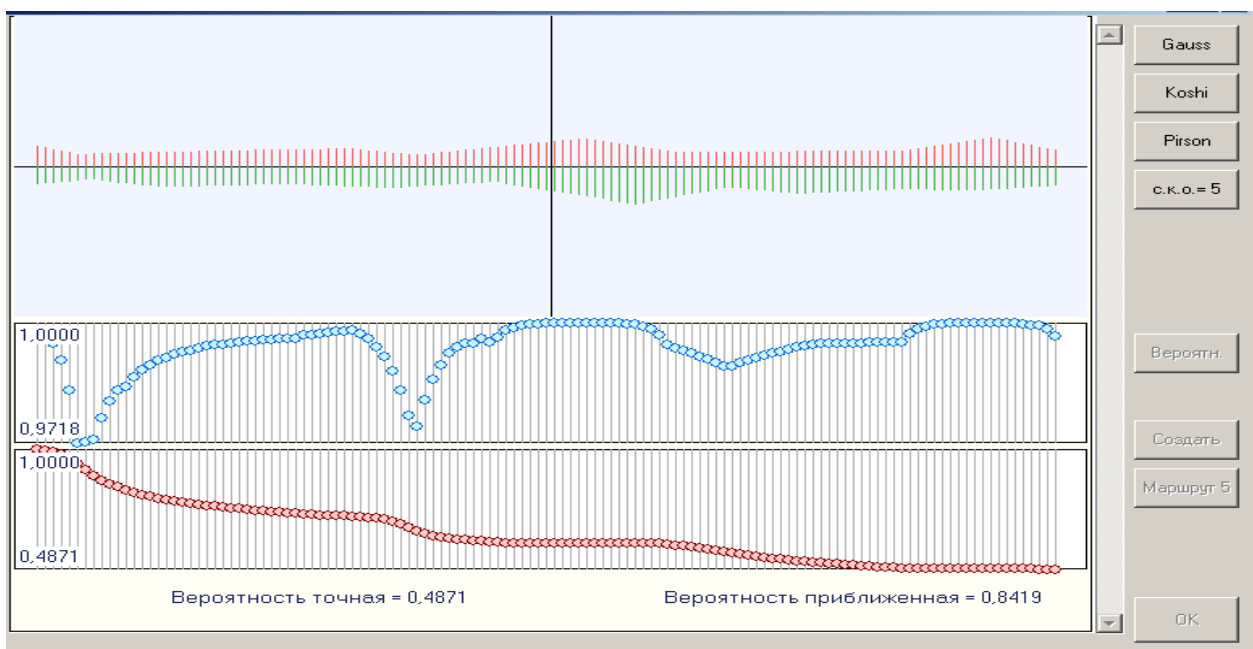


Рисунок 5.32 - Оцінка вірогідності P_1 проводки судна маршрутом 1

Аналогічно був сформований маршрут 2 вибором двовимірних масивів правої і лівої меж області безпечного плавання, а також програмної траєкторії руху судна, які показані на рис. 5.33. Результати визначення вірогідності $P_2 = 0,546$ при точності місця судна с. к. о. $\sigma = 2,42$ представлені

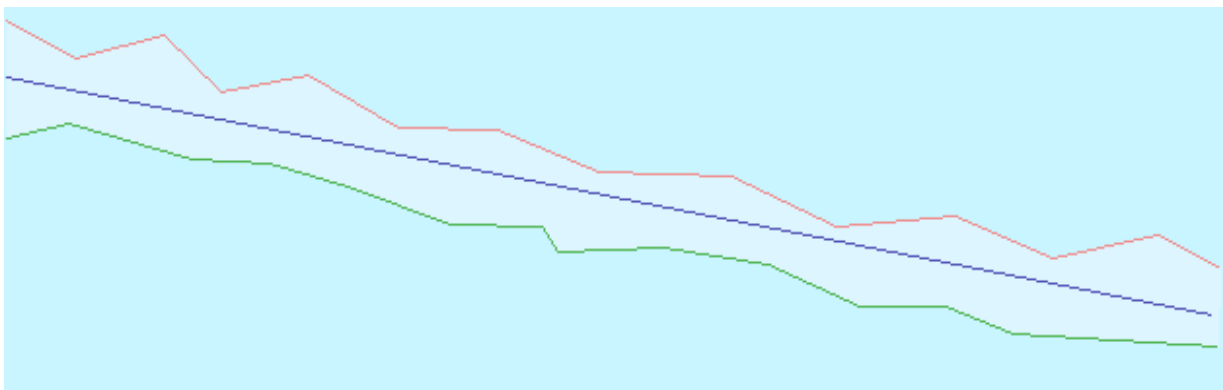


Рисунок 5.33 - Маршрут 2 плавання судна

на рис. 5.34. У свою чергу, результати розрахунку значення вірогідності $P_1 = 0,543$ безпечної проводки судна маршрутом 2, виконаного імітаційною програмою показані на рис. 5.35.

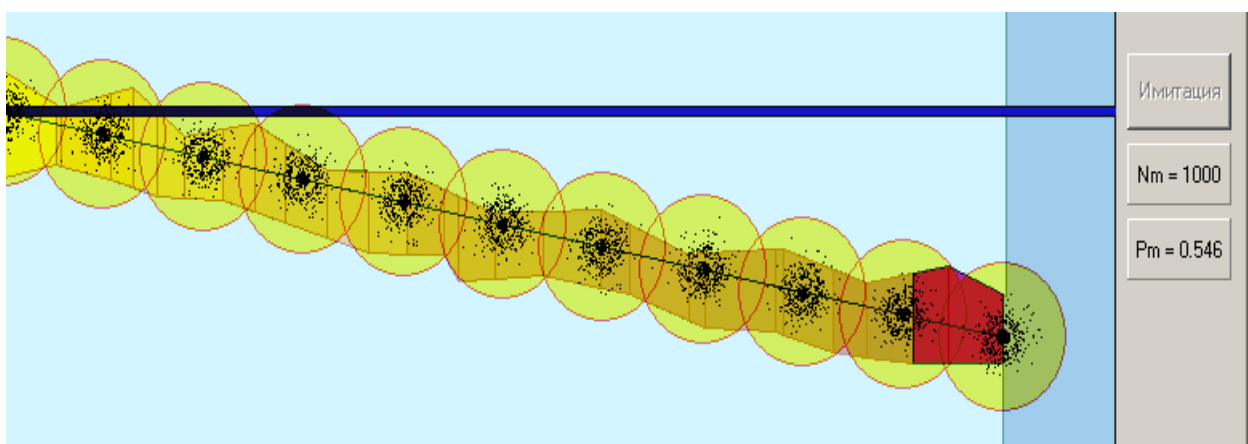


Рисунок 5.34 - Визначення вірогідності P_2 безпечної проводки маршрутом 2

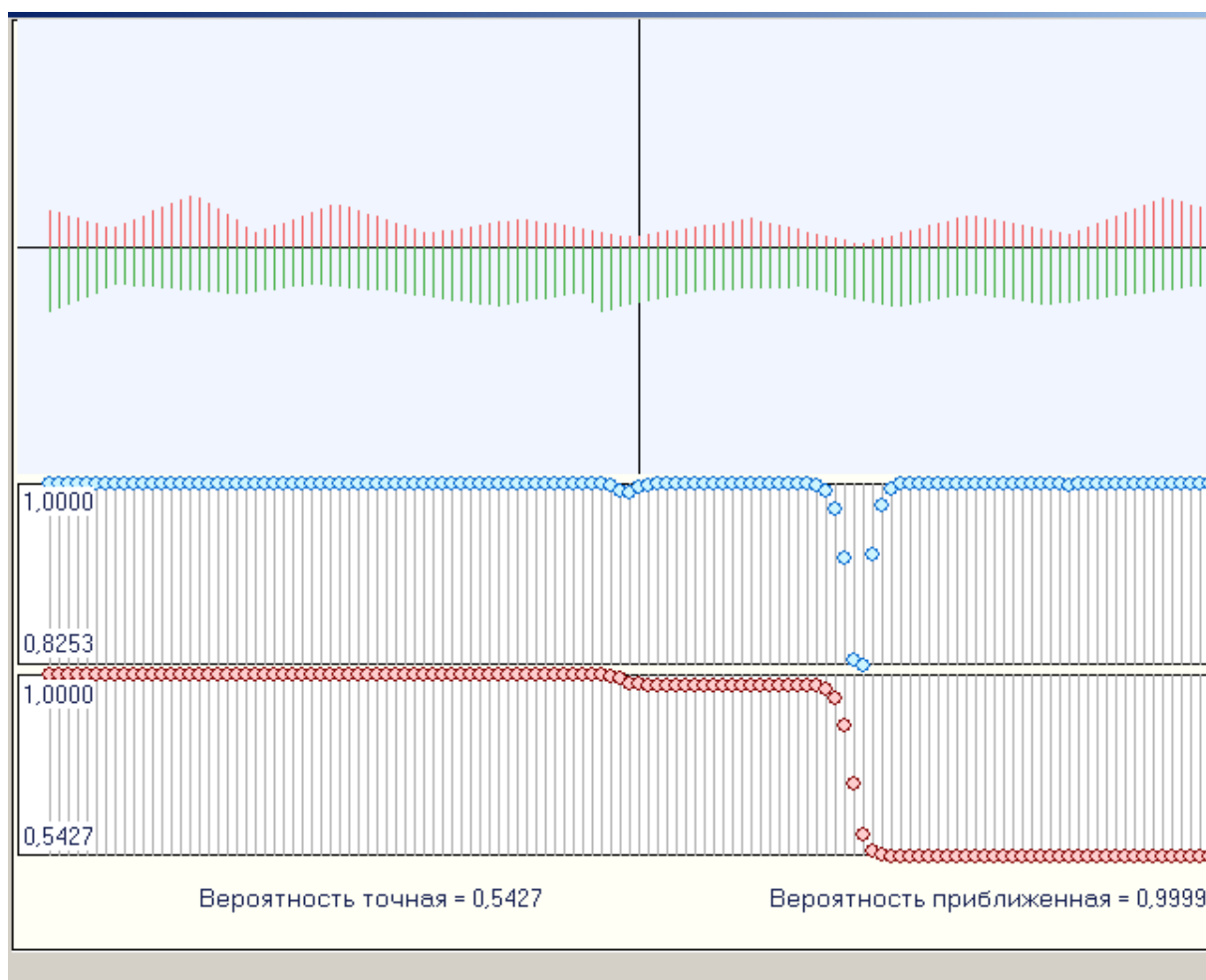


Рисунок 5.35 - Визначення вірогідності P_1 безпечного плавання маршрутом 2

Маршрут 3 плавання судна в обмеженому районі представлений на рис. 5.36, особливістю якого є менший ступінь обмеженості щодо колишніх маршрутів. Для розрахунку вірогідності безпечної проходки судна по даному маршруту приймалася точність $\sigma=4,3$. Вірогідність оцінювалася моделлю з двовимірною щільністю векторіальної похибки P_2 і склала 0,982 (рис. 5.37).

Альтернативна оцінка безпеки плавання маршрутом 3 за допомогою вірогідності P_1 моделлю одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення, як показано на рис. 5.38, склала $P_1 = 0,9818$, яка практично співпадає з вірогідністю P_2 для цього випадку.

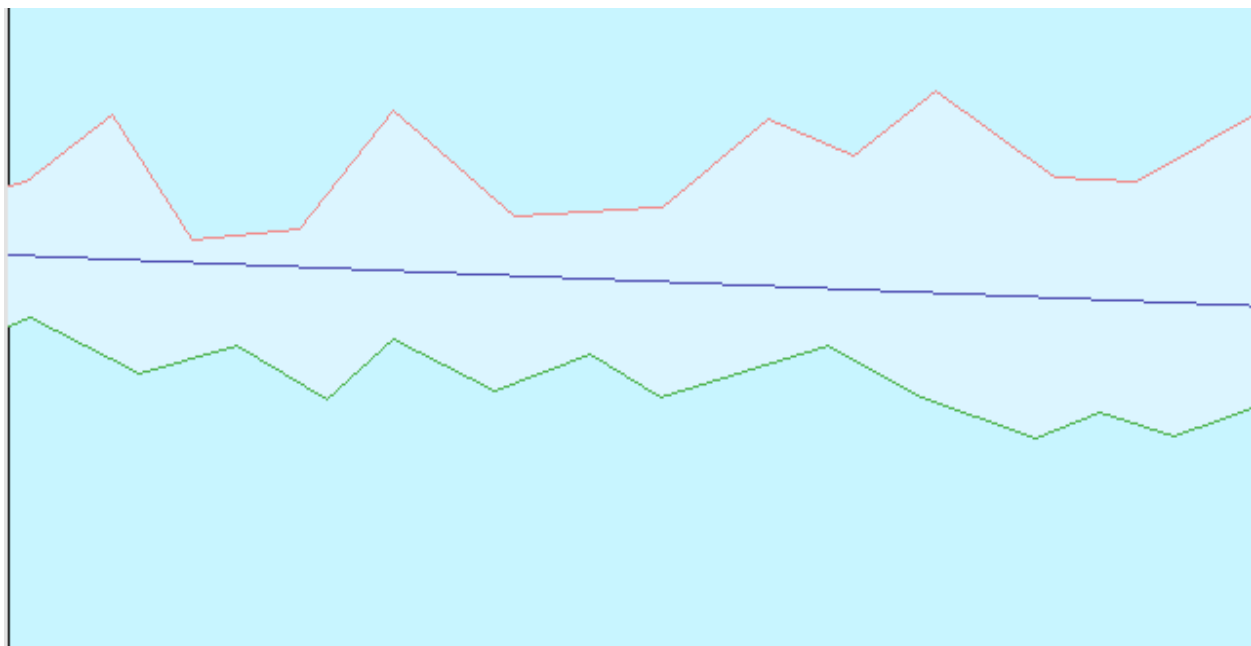


Рисунок 5.36 - Маршрут 3 плавання судна в обмеженому районі

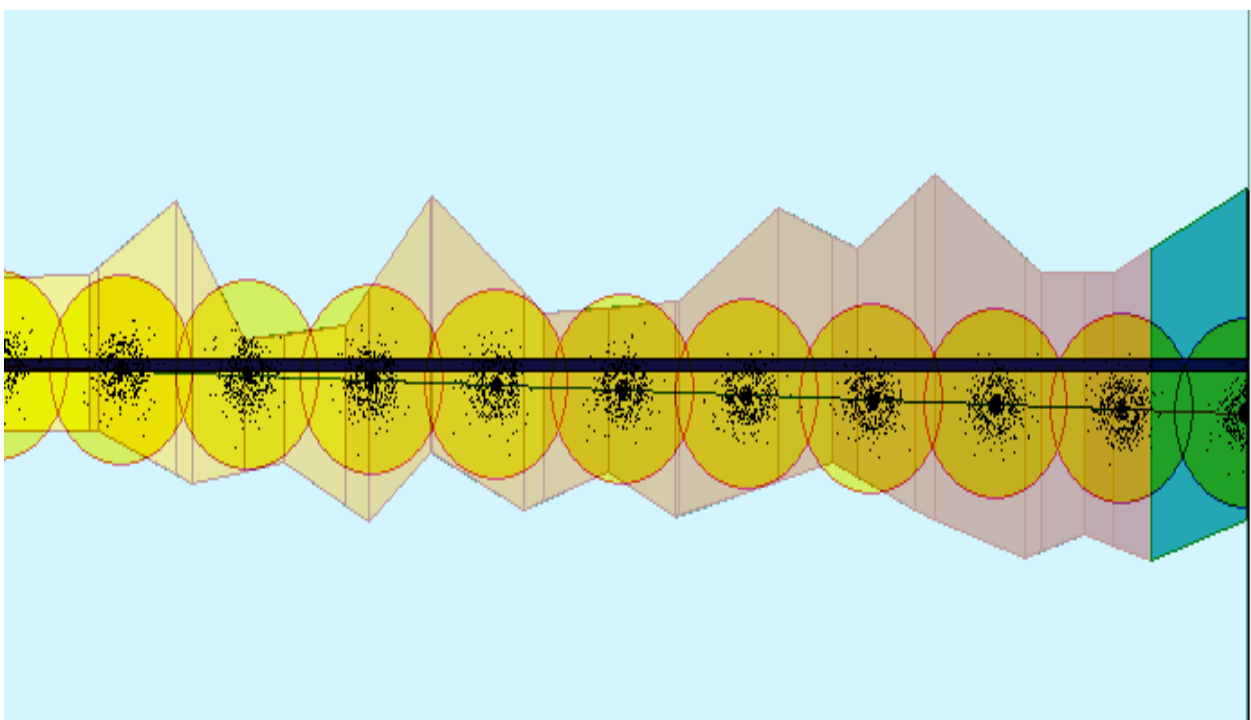


Рисунок 5.37 - Оцінка вірогідності P_2 при плаванні судна маршрутом 3

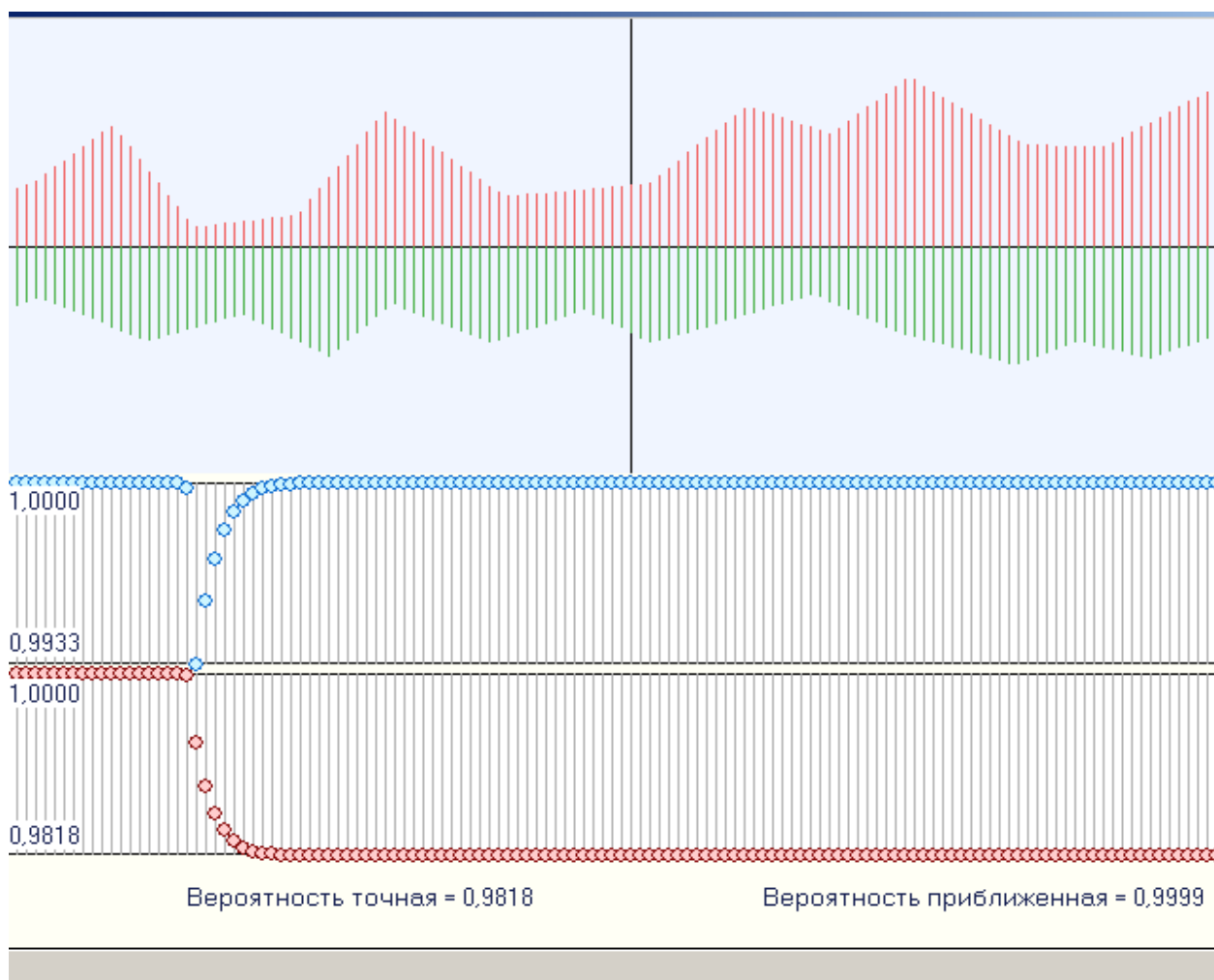


Рисунок 5.38 - Оцінка вірогідності P_1 безпечної проводки судна маршрутом 3

На рис. 5.39 представлений маршрут 4 плавання судна в обмеженому районі, для якого характерний зсув програмної траєкторії руху судна до лівої межі області безпечного плавання. Для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна по маршруту 4 точність контролю місця судна приймалася рівною с. к. о. $\sigma=5,8$. На рис. 5.40 показане розсіяння місця судна у разі оцінки вірогідності безпечної проводки P_2 судна при плаванні маршрутом 4. В результаті розрахунку значення вірогідності склало $P_2 = 0,916$.

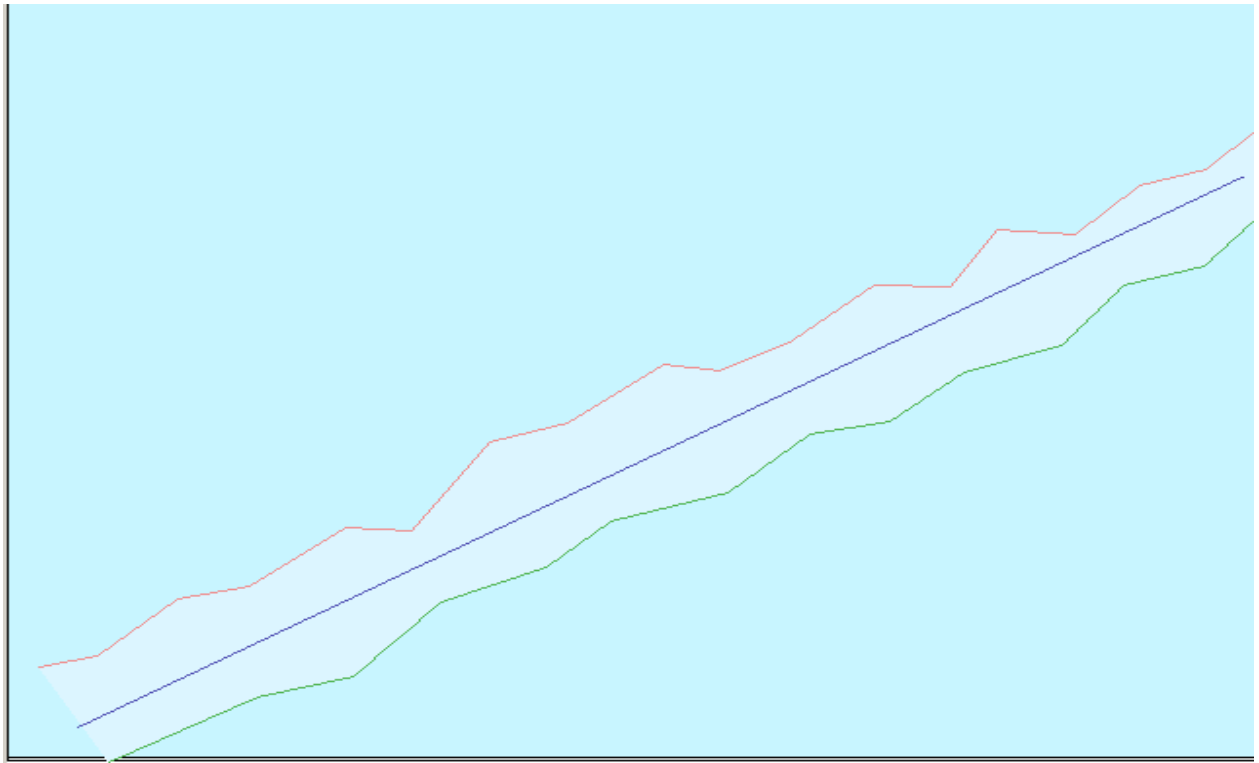


Рисунок 5.39 - Маршрут 4 проводки судна в обмеженому районі плавання

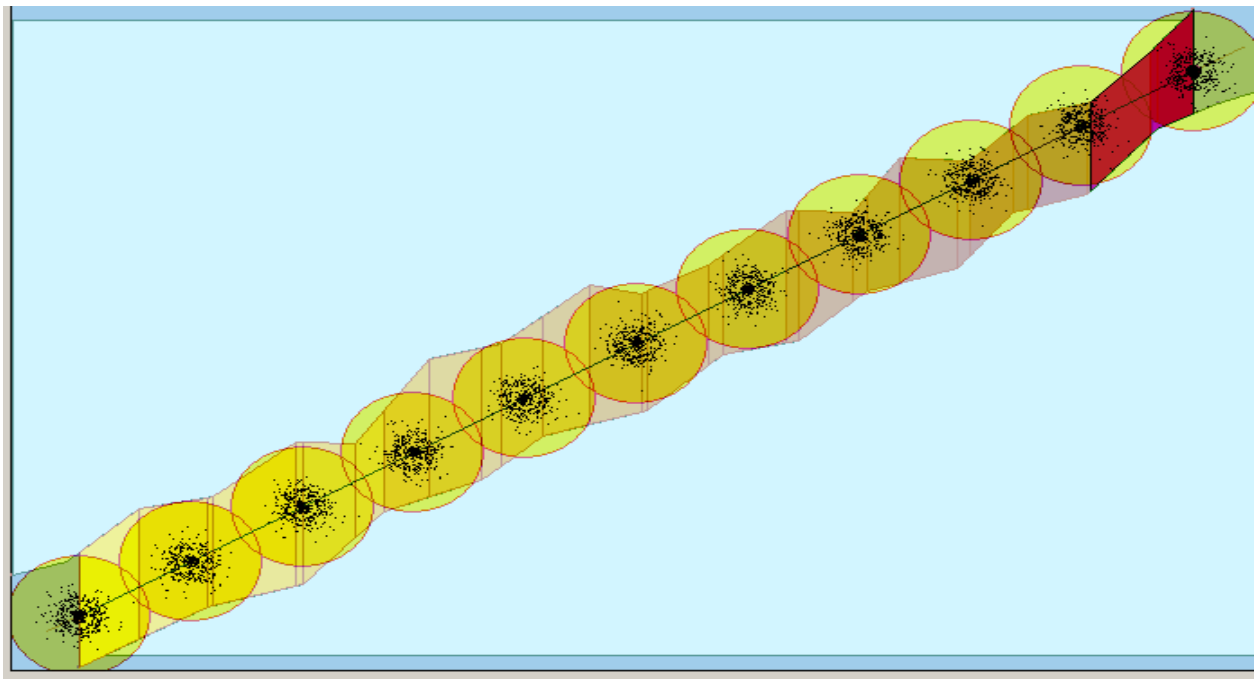


Рисунок 5.40 - Визначення вірогідності P_2 при проведенні судна маршрутом 4

Вірогідність безпечного плавання також оцінювалася по одновимірній щільності і одержано, як впливає з рис. 5.41, відповідне значення $P_1 = 0,9179$.

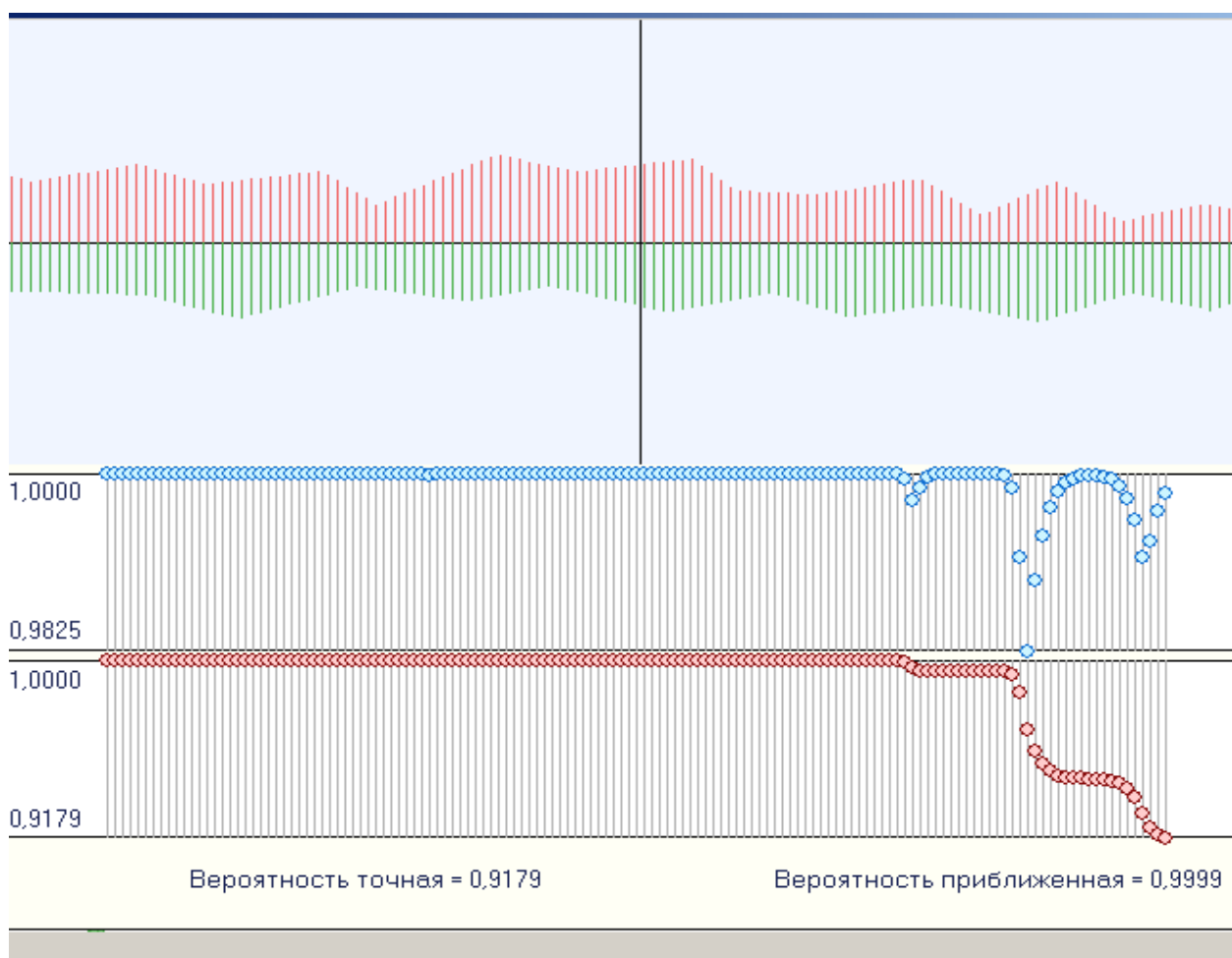


Рисунок 5.41 - Оцінка вірогідності P_1 безпечної проводки судна маршрутом 4

На закінчення розглянемо проводку судна маршрутом 5, який показаний на рис. 5.42. Обмеженість цього маршруту більше, ніж попереднього, причому програмна траєкторія руху судна в двох місцях небезпечно близько розташовується до меж безпечної області плавання. При плаванні судна цим маршрутом вибрана вище точність контролю місця судна, с. к. о. якої $\sigma=4,6$.

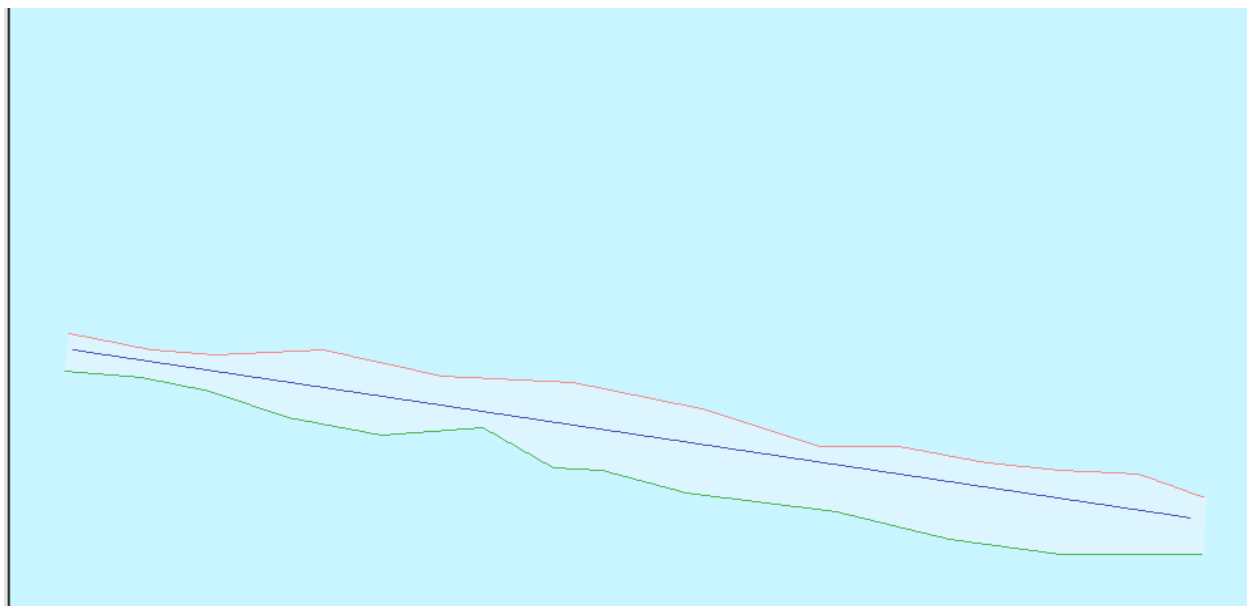


Рисунок 5.42 - Маршрут 5 плавання судна в обмеженому районі

Як показано на рис. 5.43, оцінка вірогідності безпечного плавання моделлю двовимірної щільності складає $P_2 = 0,817$ з урахуванням припущення про нормальний розподіл векторіальної похибки. Також була визначена вірогідність з допомогою моделі одновимірної щільності розподілу похибки

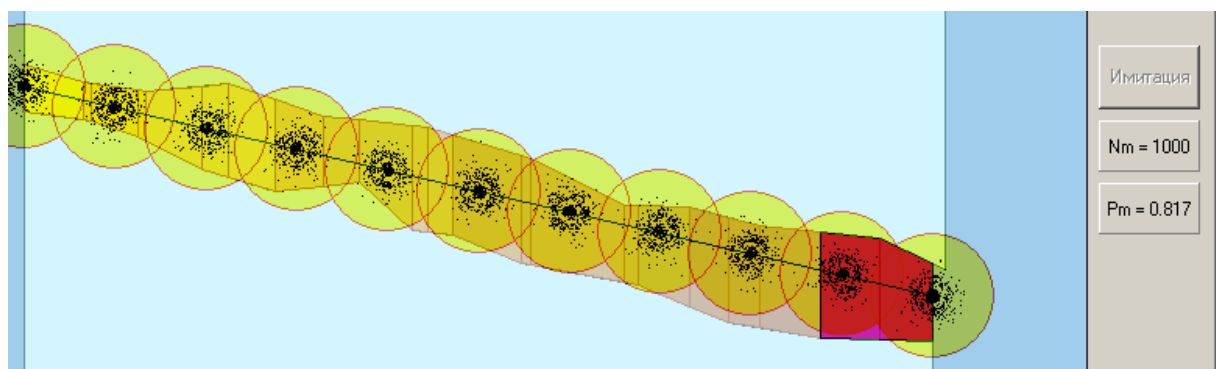


Рисунок 5.43 - Визначення вірогідності P_2 при плаванні судна маршрутом 5

бічного відхилення. Розрахунок вірогідності P_1 показав, що вона рівна 0,8149 (рис. 5.44).

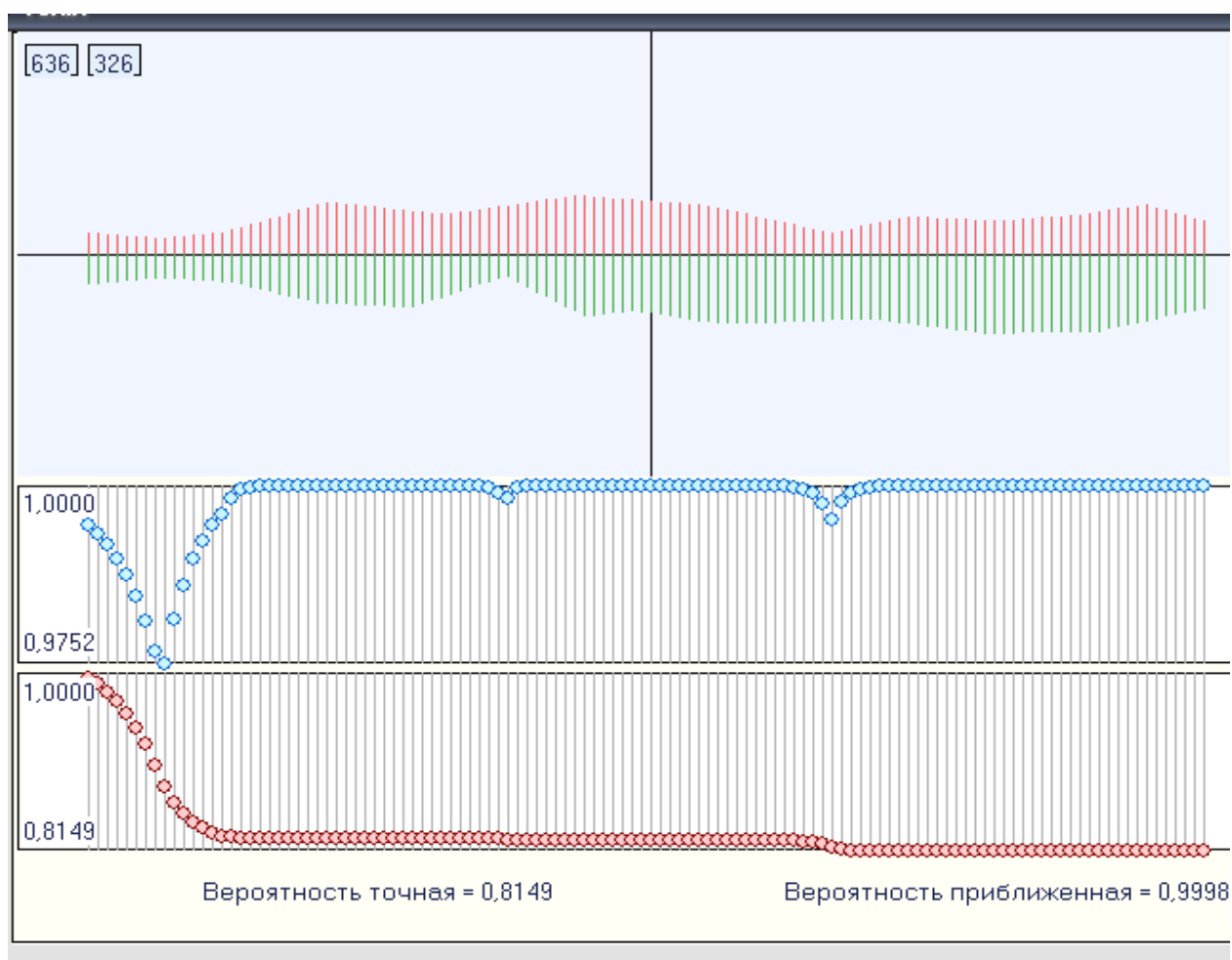


Рисунок 5.44 – Вірогідність P_1 безпечного плавання судна маршрутом 5

Узагальнимо одержані результати оцінки вірогідності безпечної проводки судна по всіх п'яти маршрутах за допомогою обох моделей і приведемо їх в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты оценки вероятности безопасной проводки судна

Маршрут	1	2	3	4	5
P_1	0,487	0,543	0,9818	0,9179	0,8149
P_2	0,484	0,546	0,982	0,916	0,817
δP (%)	0,6	0,5	0,02	0,2	0,3

Як впливає з табл. 5.1, середня відносна різниця між оцінками вірогідності проводки судна по обох моделях складає 0,3 %, що підтверджує правомірність оцінки вірогідності проводки судна по обмеженому маршруту моделлю із застосуванням одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення.

5.3. Формування заданого маршруту за допомогою електронної карти.

Як раніше наголошувалося, для практичного застосування запропонованого способу оцінки вірогідності безпечної проводки судна необхідно формувати реальний маршрут проводки судна в обмеженому районі плавання, для чого необхідне використання електронних карт, що розглянемо в даному підрозділі. На рис. 5.45 показано, що для формування маршруту вибрана електронна карта 3605 і після її завантаження (рис. 5.46)

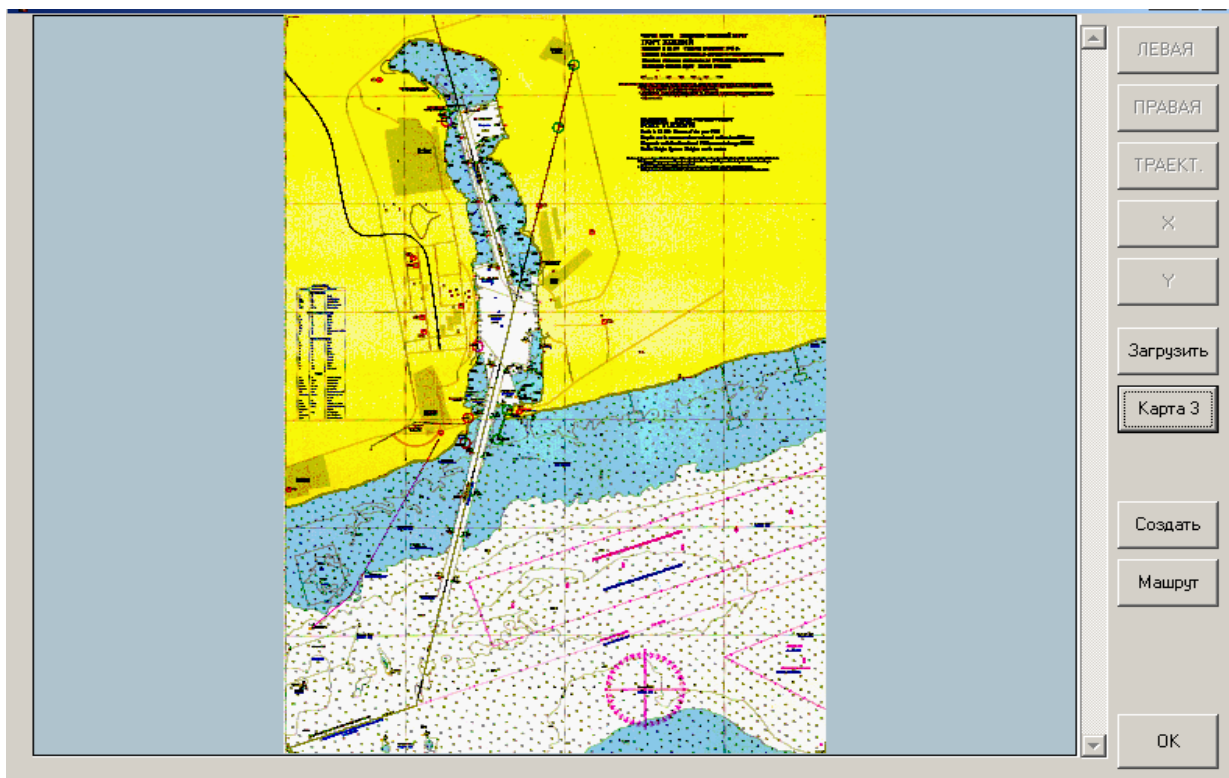


Рисунок 5.45 - Вибір карти для формування маршруту

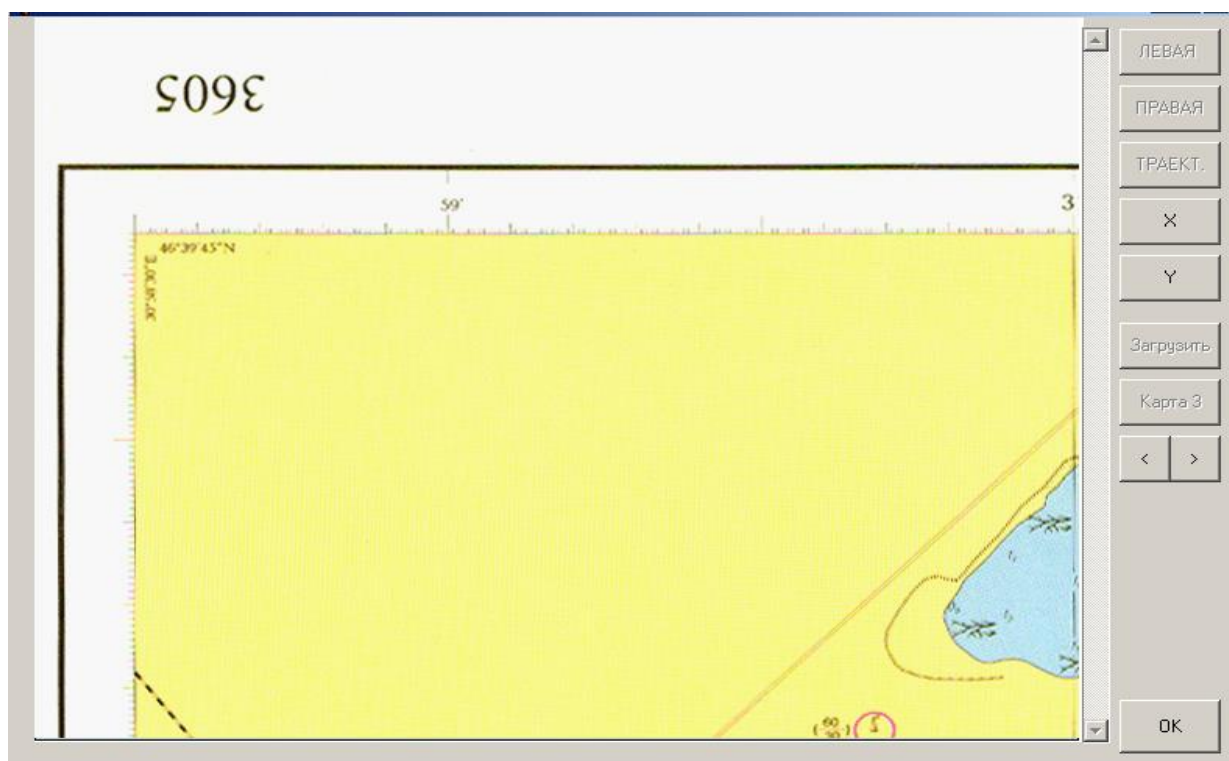


Рисунок 5.46 - Завантаження електронної карти 3605

клавішами "X" і "Y" вибрана ділянка електронної карти, що містить обмежену ділянку плавання, де необхідно вибрати маршрут плавання судна і провести оцінку вірогідності безпечної проводки ним судна. Вибрана обмежена ділянка містить підхідний канал в порт Південний і показаний на рис. 5.47. При цьому активізуються клавіші "<" і ">" зміни масштабу вибраного зображення, за допомогою яких вибирається необхідний масштаб зображення, що дозволяє відобразити весь маршрут проводки судна. Вибрана ділянка з необхідним масштабом відображення представлена на рис. 5.48. Відмітною особливістю передбачуваного маршруту проводки є його прямолінійні межі і єдина ділянка програмної траєкторії руху судна, симетрично розташований щодо меж маршруту. Після використання клавіші "OK" завантажується модуль формування маршруту проводки судна при його плаванні в обмеженому районі, про що свідчить активізація клавіш



Рисунок 5.47 - Вибір обмеженої ділянки плавання судна



Рисунок 5.48 - Підбір необхідного масштабу зображення

"ЛЕВАЯ", "ПРАВАЯ" и "ТРАЕКТ." у верхній правій частині екрану монітора, як показано на рис. 5.49. Після вибору клавіші "ЛІВА", використовуючи клавіші "X" і "У", а також лінійку прокрутки, вводиться масив точок зламу лівої межі, яка показана червоним кольором на тому ж рис. 5.49. Потім вибираємо клавішу "ПРАВАЯ" для введення точок зламу правої межі безпечної області.

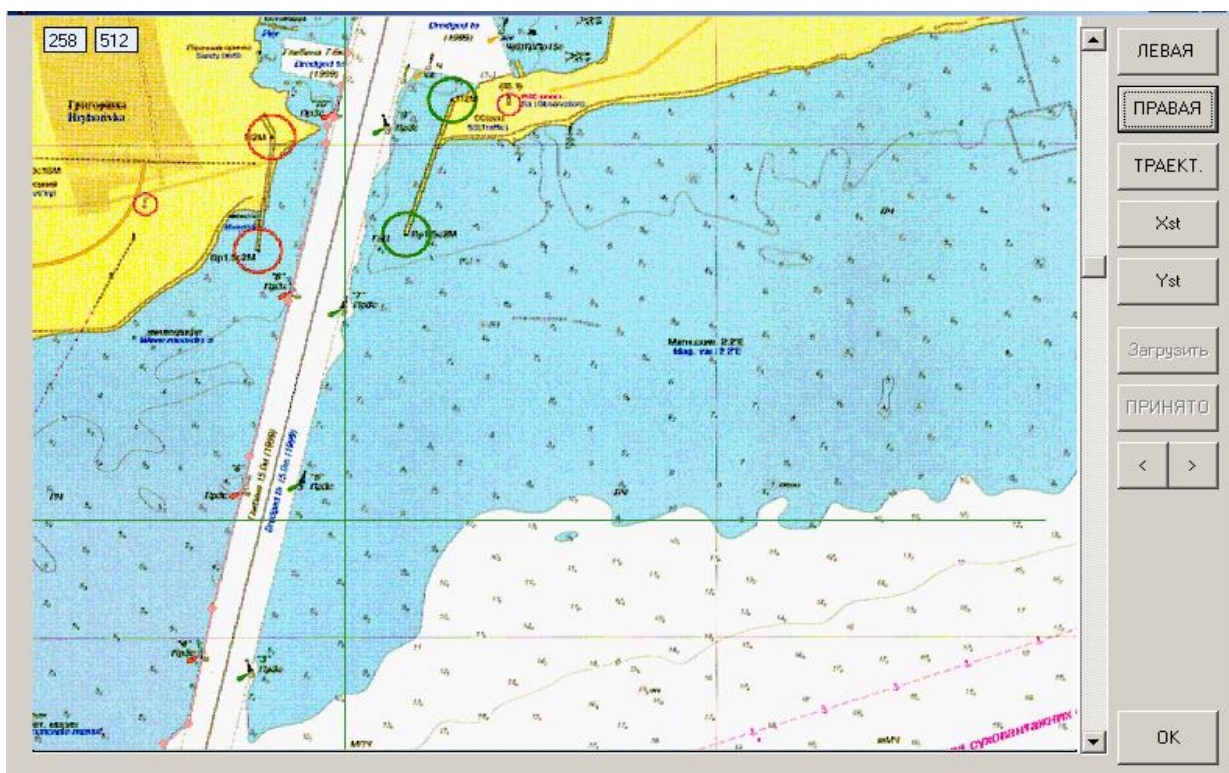


Рисунок 5.49 - Формування лівої межі безпечної області плавання

Результати формування правої межі маршруту проводки судна показані на рис. 5.50, де вона показана зеленим кольором. На закінчення процесу формування маршруту проводки судна вибирається клавіша "ТРАЕКТ." для введення програмної траєкторії руху судна. Вибір координат точок зламу програмної траєкторії здійснюється клавішами "Xst", "Yst" і лінійкою прокрутки. На рис. 5.51 показана програмна траєкторія руху судна, зображена синім кольором.

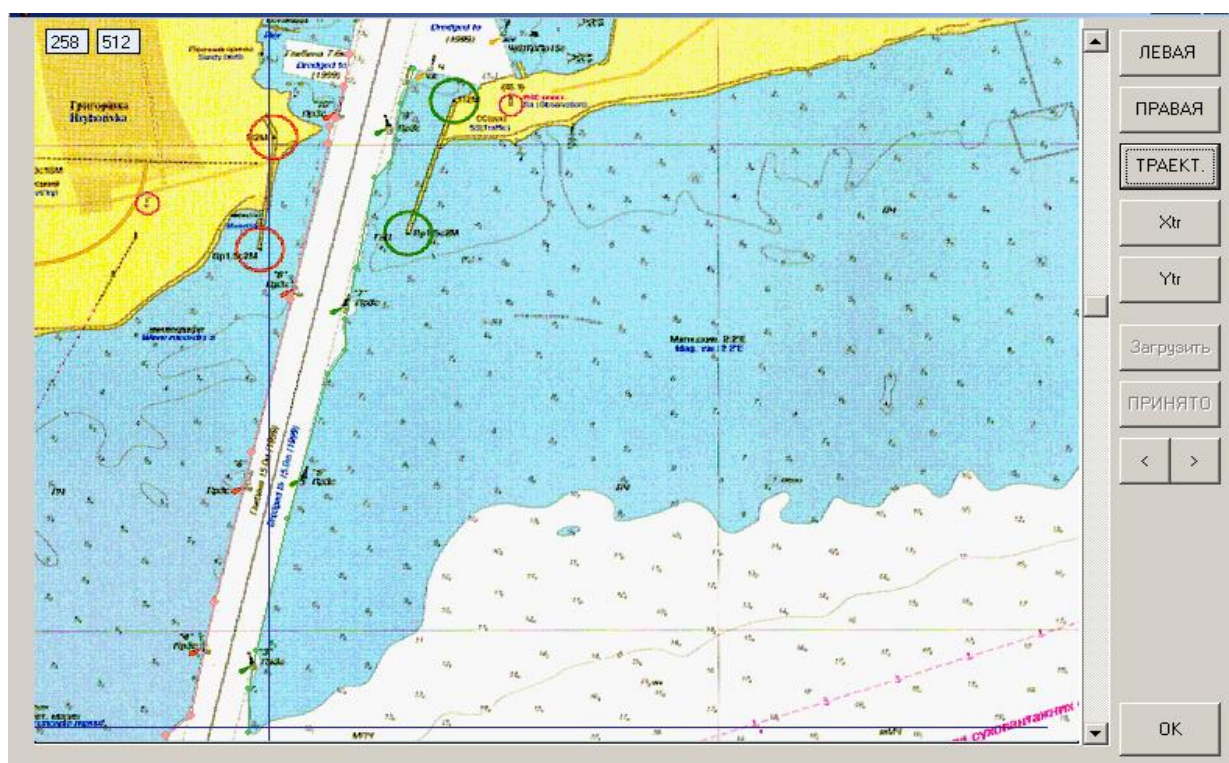


Рисунок 5.50 - Права межа маршруту безпечної проводки судна

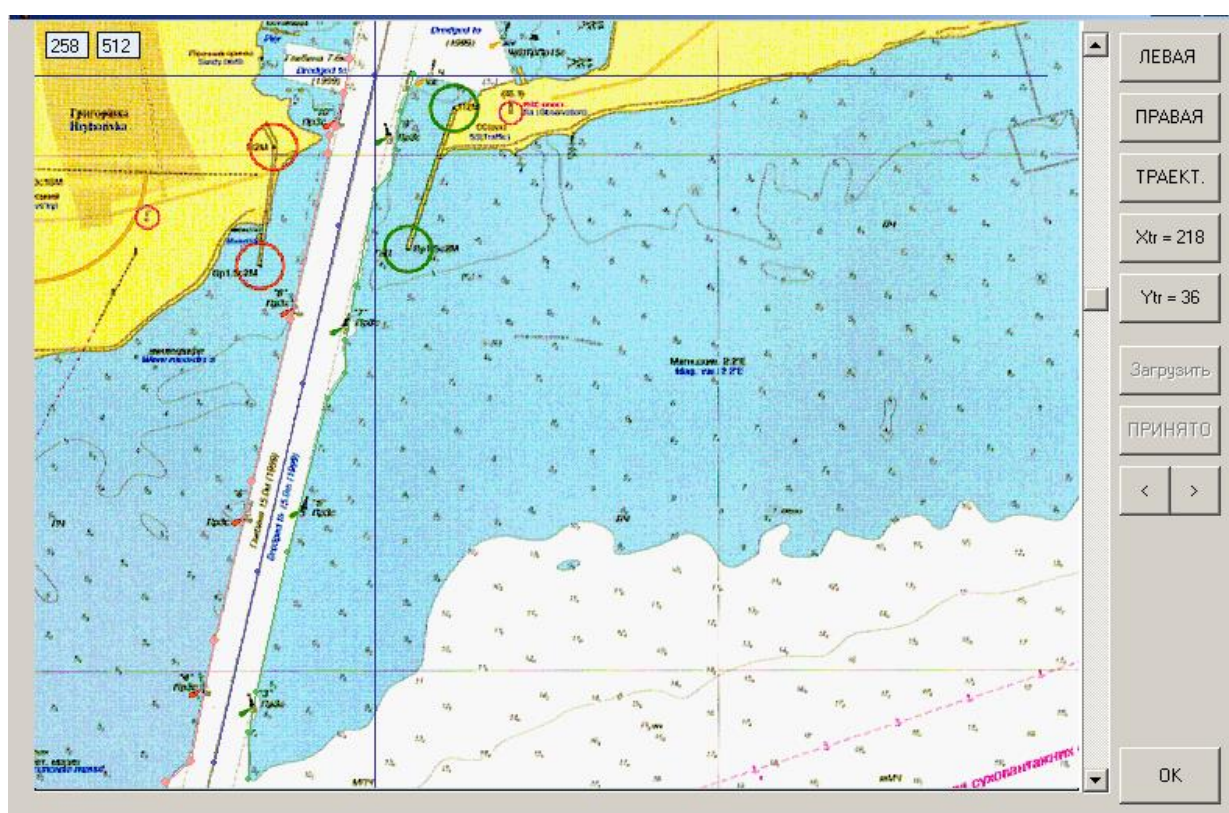


Рисунок 5.51 - Завершення введення програмної траєкторії руху судна

Після введення маршруту проводки судна слід скористатися клавішею "ОК", після чого на екран монітора виводиться його зображення, як показано на рис. 5.52. В результаті застосування клавіші "Lb" проводиться розрахунок нормальних відстаней від програмної траєкторії руху судна до меж безпечної області плавання. Розрахований масив нормальних бічних відстаней в графічному вигляді виводиться по довжині програмної траєкторії руху судна, що видно з рис. 5.53. Крім розрахунку бічних відстаней імітаційною програмою визначаються нормальні значення ширини маршруту проводки судна і його характеристики (маршруту). Масив значень нормальних відстаней маршруту проводки судна в лінійному вигляді представлений на рис. 5.54, причому на сторону бічного відхилення вказаний колір його зображення.

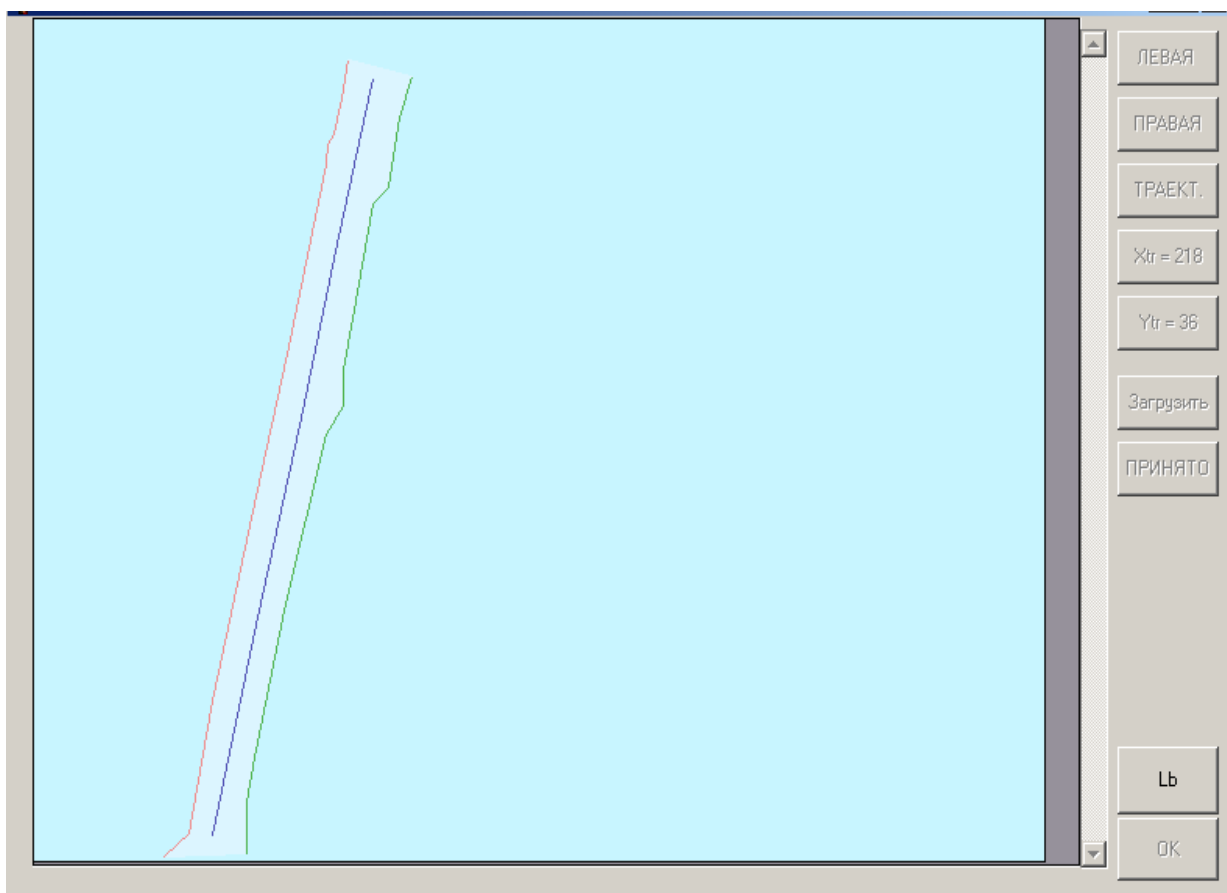


Рисунок 5.52 - Графічне зображення маршруту проводки судна

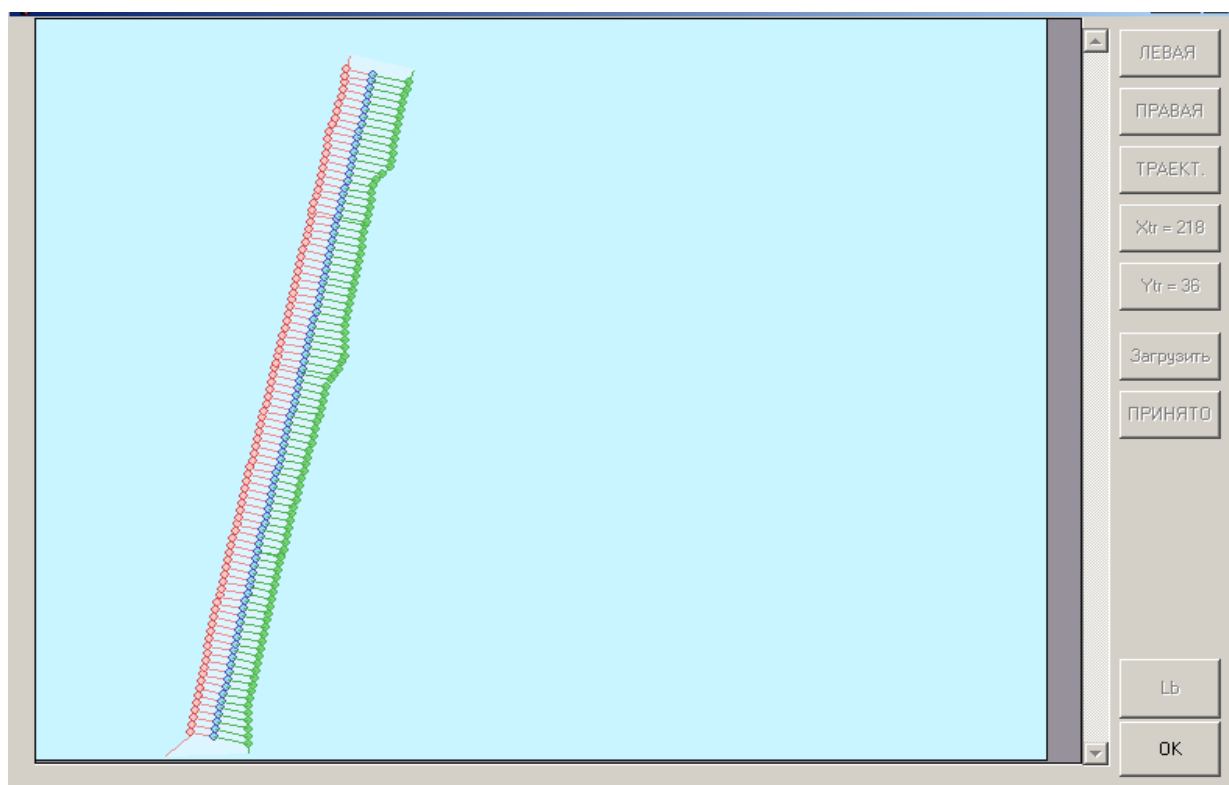


Рисунок 5.53 - Массив нормальных відстаней по довжині маршруту

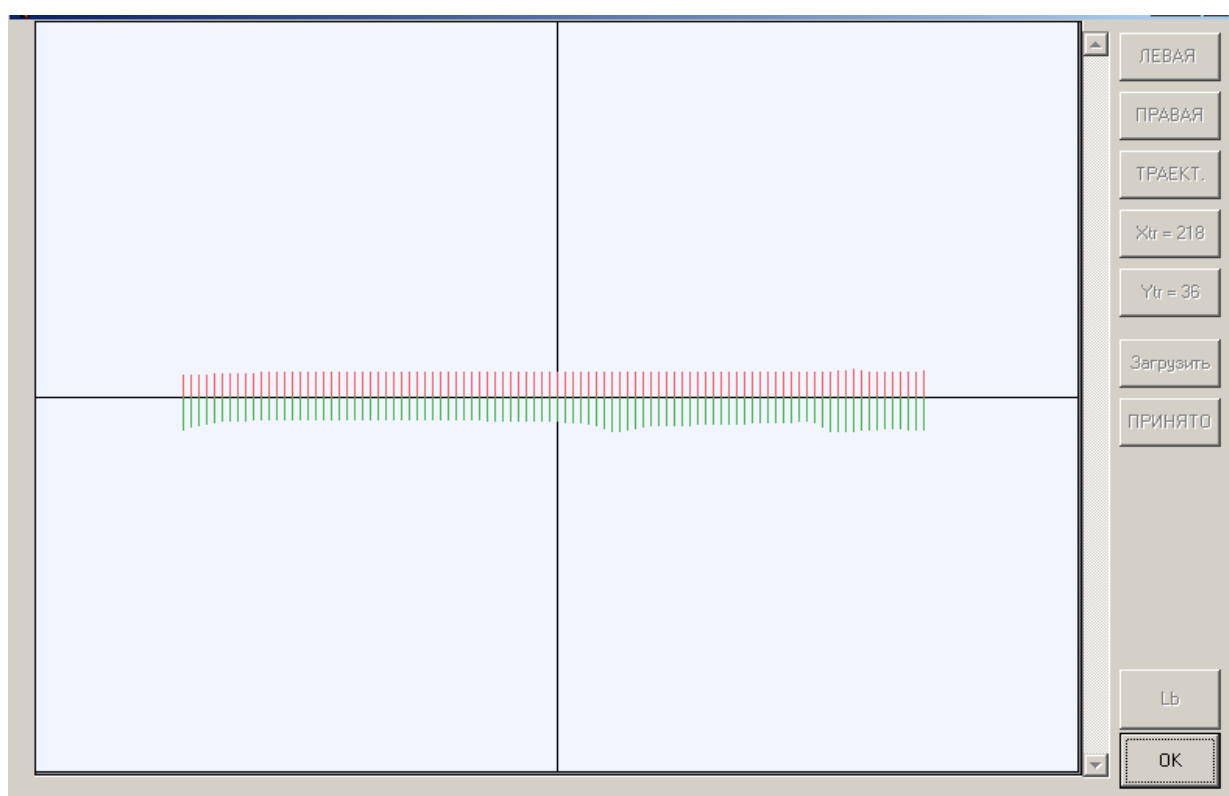


Рисунок 5.54 - Графічне представлення масиву нормальних відстаней

На рис. 5.55 показаний розподіл значень нормальної ширини введеного маршруту проводки судна, її середнє значення і середнє значення зсуву судна, виражені в екранних одиницях відстані. Графік розподілу частот нормальної ширини аналізованого маршруту проводки судна має схожість з гістограмою нормального закону розподілу.

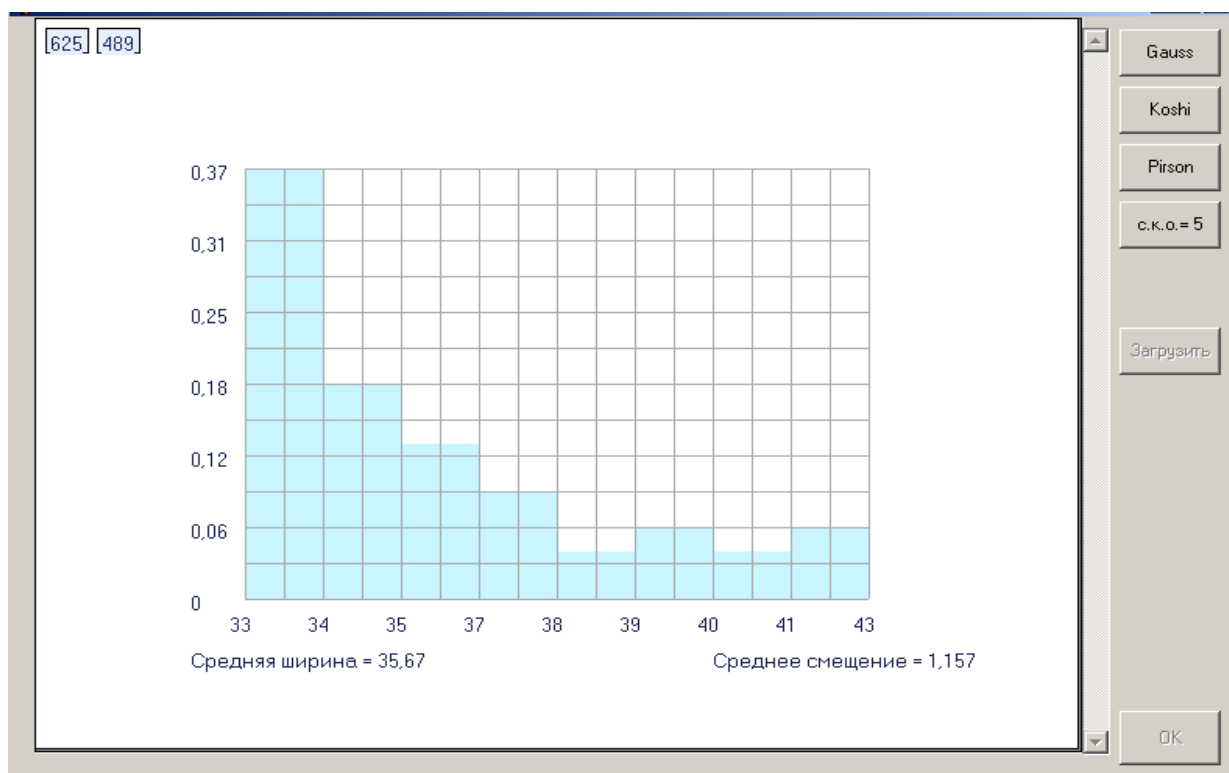


Рисунок 5.55 - Розподіл значень нормальної ширини маршруту

Надалі проводилася оцінка значення вірогідності безпечної проводки судна даним маршрутом залежно від закону розподілу вірогідності похибки бічного відхилення і точності контролю місця судна. На рис. 5.56 проведена інформація за визначенням вірогідності безаварійної проводки судна у разі розподілу похибки бічного відхилення за законом Гауса з $\sigma=5$, з якою витікає, що її значення рівне 0,9393. Оцінка вірогідності безпечної проводки при розподілі похибки по змішаному закону першого типу (рис. 5.57) з $\sigma=10$, дає її величину, рівну 0,7924. У разі розподілу похибки бічного відхилення

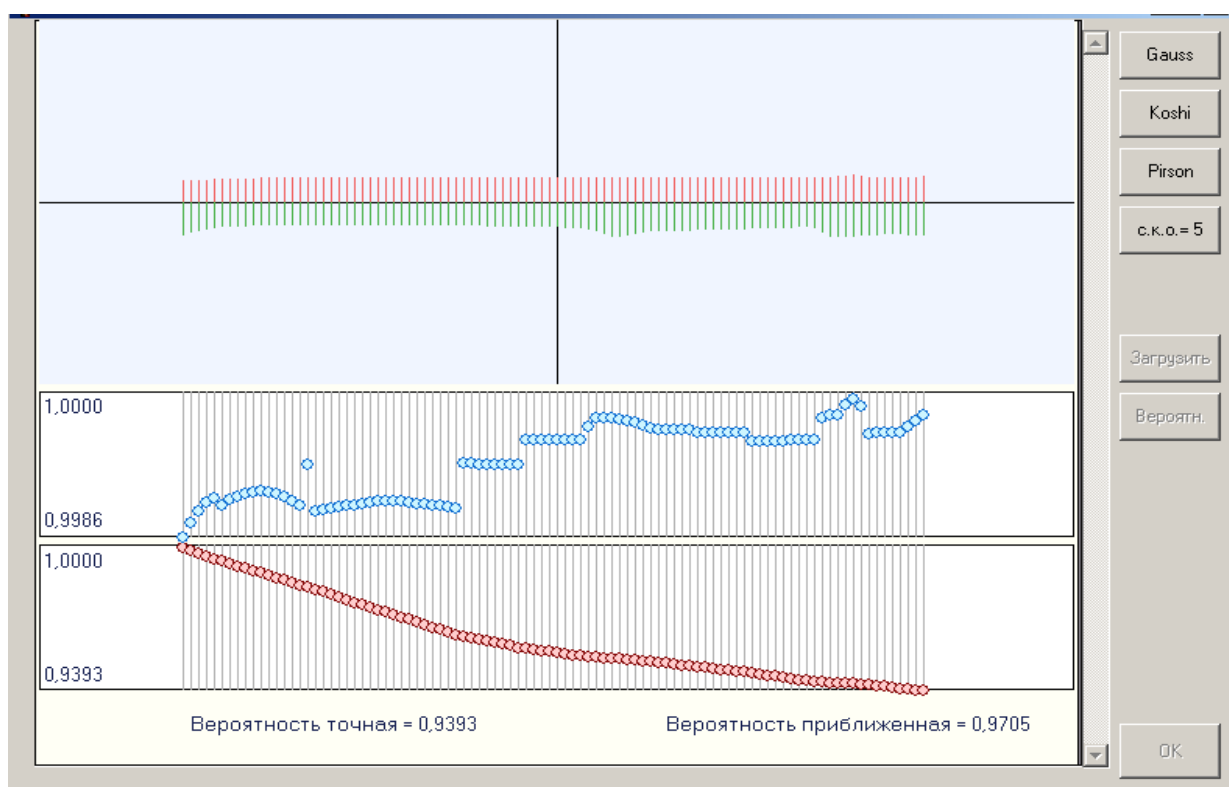
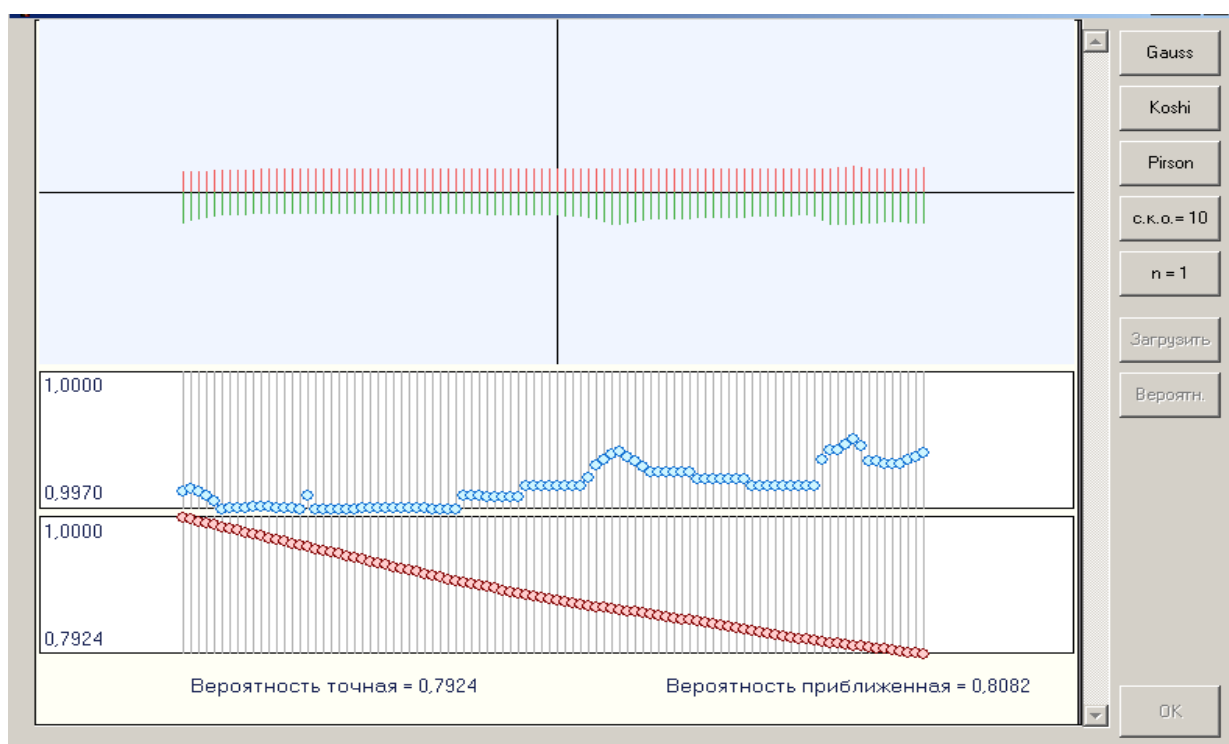


Рисунок 5.56 - Оцінка вірогідності безпечної проводки при законі Гауса, $\sigma=5$



по змішаному закону другого типу з $\sigma=5$, як показано на рис. 5.58, вірогідність безпечної проводки має значення 0,9196. Для гарантії безпечної

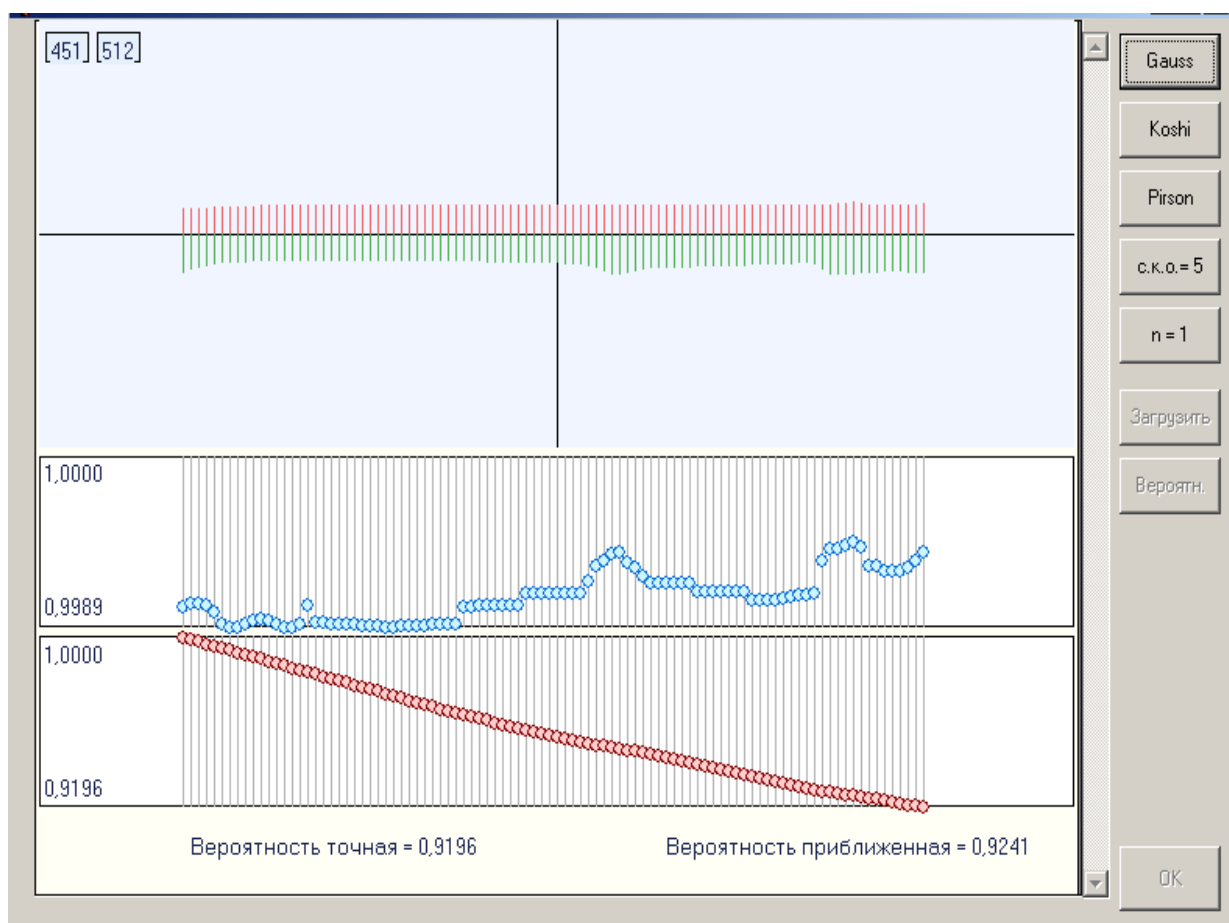


Рисунок 5.58 - Вірогідність безпечної проводки (змішаний закон 2 типу), $\sigma=5$

проводки судна по вибраному маршруту слід збільшити точність проводки.

Таким чином, для аналізу безпеки плавання судна в обмежених водах конкретних районів навігації необхідне використання електронних карт, за допомогою яких формується маршрут проводки судна. Для нього стандартною процедурою імітаційної програми проводиться оцінка вірогідності безаварійної проводки судна з урахуванням закону розподілу похибки бічного відхилення і точності контролю місця судна.

5.4. Висновки за п'ятим розділом.

У даному розділі представлена комп'ютерна програма, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб оцінки вірогідності безаварійної проводки судна заданим обмеженим маршрутом, яка використовує модель одновимірної щільності похибки бічного відхилення і одновимірні характеристики маршруту проводки. Показано, що в програмі є три варіанти завдання маршруту проводки судна, один з яких дозволяє використовувати один з п'яти стандартних маршрутів, що знаходяться в базі даних програми. Інші два варіанти передбачають інтерактивне формування маршруту проводки введенням масиву точок зламу меж безпечної області і програмної траєкторії руху судна. Причому один з варіантів формування маршруту проводки передбачає використання електронної карти. По завершенню завдання маршруту проводки судна проводиться розрахунок його характеристик, вибирається закон розподілу похибки бічного відхилення і задається точність контролю місця судна по бічному відхиленню. З урахуванням вказаних чинників здійснюється оцінка вірогідності безпечної проводки судна заданим маршрутом.

За допомогою імітаційного моделювання виконано порівняння двовимірної і одновимірної моделей оцінки вірогідності проводки судна заданим маршрутом, в результаті якого одержано висновок про ідентичність моделей, оскільки відмінність вірогідності, одержаної з їх допомогою, складає не більш 0,3%. Тому в розділі приведена програма оцінки вірогідності безпечної проводки, розроблена на моделі одновимірної щільності розподілу вірогідності бічного відхилення.

На завершення розділу приведено опис формування заданого маршруту за допомогою електронної карти. У базі даних комп'ютерної програми є чотири растрові електронні карти, за допомогою яких показана можливість формування маршруту проводки судна в конкретних районах його плавання з

урахуванням реальної картографічної інформації, приведеної на електронній карті. Показана процедура оцінки вірогідності безпечної проводки судна сформованим маршрутом з урахуванням точності визначення бічного відхилення судна і закону розподілу його похибки.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Забезпечення безаварійного судноводіння веде до зниження шкоди людському життю та навколишньому середовищу.

Навігаційні перешкоди разом з інтенсивним судноплавством сприяють виникненню аварійних ситуацій, що значно ускладнює плавання суден в стислих водах. Найбільший вплив на навігаційну небезпека судноплавства в стислих водах мають векторіальні позиційна похибка та траєкторної похибки управління судном.

Векторіальна позиційна похибка залежить від точності визначення позиції судна, яка характеризується її коваріаційною матрицею, і має домінуючий вплив на вірогідність безпечної проводки судна стислим маршрутом. Для мінімізації ризиків виникнення аварійної ситуації слід розробити спосіб апріорної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна стислим маршрутом, яким слід користуватися на етапі планування переходу судна.

Тому розробка способів мінімізації ризиків аварії при плаванні судна в стислих районах, що визначає тематику дисертаційної роботи, є актуальним науковим напрямом.

2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики. В результаті вирішення головної наукової задачі дисертаційного дослідження отримано новий метод апріорної оцінки безпечного судноводіння в залежності від точності проводки судна стислим маршрутом, який реалізований в комп'ютерній програмі, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано процедуру формалізації параметрів задачі оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим районом;
- вперше запропоновано спосіб урахування впливу закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного плавання судна;
- вперше розроблено спосіб оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

Практична значимість роботи визначається тим, що результати дослідження можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками навігаційних інформаційних систем.

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Отримані в роботі результати, як теоретичного, так і практичного спрямування, можуть бути використані в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість апріорно визначити рівень безпеки судноводіння при плаванні стислим маршрутом, яким планується, та можливість знизити вплив негативних керованих факторів.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджуються коректною розробкою математичних моделей і їх застосуванням, як і проведенням імітаційним моделюванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Taha M.Y. Vessel Traffic Services in Egypt/ Taha M.Y., Hafez M.A.- Egypt, 2002.-78 p.
2. Май Ба Линь. Повышение точности процесса безопасного расхождения судов с стесненных условиях / Май Ба Линь. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук по спец. 05.22.16 Судовождение. – Одесса, 2004. – 21 с.
3. Якушев А.О. Процедура определения параметров судовой безопасной области в системах предупреждения столкновений судов / Якушев А.О. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2013. № 4 . - С. 183 – 187.
4. Якушев А.О. Выбор оптимальной формы судовой безопасной зоны / Якушев А.О. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013, – С. 163 - 167.
5. Якушев А.О. Предупреждение столкновения судов в системе параметров прямоугольной области/ Якушев А.О. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. № 1 . – С 113 - 117.
6. Волков А.Н. Определение размеров безопасной судовой стохастической области / Волков А.Н., Якушев А.О. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №4 . – С 86 - 95.
7. Якушев А.О. Зависимость размеров судовой безопасной области от плотности распределения вероятностей позиционной погрешностей/ Якушев А.О. // Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 84 – 89.
8. Волков А.Н. Использование безопасной области судна сложной формы для обеспечения безаварийного плавания/ Волков А.Н., Якушев А.О. // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – № 20. – С. 30 – 35.
9. Degre T. Importance d'une approche de la securite maritime fondee sur les modeles devaluation des risques / Degre T., Glansdorp C. C, Van der Tak C. // Navigation (France). - 2003. - 51, № 201/ - P. 59-77.

10. Vergesst die Sicherheit nicht // Schiffahrt Int. - 2001. - 52, № 4. - P. 12-13.
11. Weng Yue-zong. Analysis of dangers for marine navigation near the port Xiamen / Weng Yue-zong. Zhongguo hanghai. // Navig. China.- 2003. - № 3/ - P. 48-50.
12. Безопасность водного транспорта: Труды Международной научно–практической конференции, посвященной 300-летию Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, 10-12 сент. 2003. Т. 4 Смирнов Н. Г. и др. (ред.). - СПб: Изд-во СПГУВК. – 2003. - 253 с.
13. Nagasawa A. Quantitative assessment of marine traffic environment by using the maneuvering space concept / Nagasawa A. // Ninon kokai gakkai ronbunshu - J. Jap. Inst. Navig. - 1998. - P. 93-101.
14. Алексишин В. Г. Общий алгоритм формирования оптимальной системы навигационного оборудования стесненного района / Алексишин В. Г. // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 3 -11.
15. Алексишин В. Г. Перспективы разработки навигационных систем обращенного типа / Алексишин В. Г., Бузовский Д.В. // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 3 – 6.
16. Широков В. М. Определение места судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. – 2002. – № 5. – С. 119 – 125.
17. Широков В. М. Распределение погрешностей обсервации при использовании методов корреляционной навигации / Широков В. М. // Судовождение. - 2003. - № 6.- С. 154-158.
18. Широков В. М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103 – 107.
19. Ракитин В. Д. Методика подготовки библиотеки маршрутов для использования на ВВП дифференциальных подсистем ГЛОНАСС/GPS / Ракитин В. Д., Вуполов А. Г. // Управление и информационные технологии на

транспорте: Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Транском - 99", Санкт-Петербург, 1999. - СПб: Изд-во СПбГУВК. - 1999. - С. 98-100.

20. Иванов Б. Е. О влиянии неопределенности положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания / Иванов Б. Е., Батуев А. Н. // Навигация и гидрогр. 2004, № 19, с. 35-40.

21. 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.

22. Ткаченко А.С. Применение обобщенных пуассоновских распределений для описания навигационных погрешностей / Ткаченко А.С., Алексишин В.Г. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 93 – 99.

23. Ракитин В. Д. Концептуальные положения стратегии использования системы ГЛОНАСС в интересах потребителей речного флота, включая дифференциальный режим / Ракитин В. Д., Сикарев А. А. // Управление и информационные технологии на транспорте: Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Транском - 99". Санкт-Петербург, 1999. - СПб: Изд-во СПбГУВК. – 1999. - С. 24-26.

24. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений/ Кондрашихин В.Т. // Геодезия и картография.– 1977. – № 5. – С. 11-16.

25. Кондрашихин В.Т. Определение наиболее вероятного значения повторяющейся ошибки / Кондрашихин В.Т., Якшевич Е.В. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1972. – Вып. 157. – С. 42-49.

26. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

27. Жидков Э. М. Анализ и обоснование требований к точности судовождения / Жидков Э. М., Павликов С. Н., Верещагин С. А. // Науч. тр. Дальневост. гос. техн. рыбохоз. ун-та. – 2000. – № 13. – С. 197-208.

28. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. – 2002. – № 5. – С. 65 – 73.

29. Kubo Masayoshi. Safety evaluation of ship entering a harbour under severe wave conditions / Kubo Masayoshi, Mizui Shinji, Inoue Kazuhiro. // The Proceedings of the Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle. May 28-June 2, 2000. Vol. 4. Cupertino (Calif): Int. Soc. Offshore and Polar Eng. – 2000. – P. 330 - 336.

30. 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.

31. Kubo Masayoshi. Research of method of calculation of probability of collision of ship with the rectangular bull of bridge at tearing down by wind and flow / Kubo Masayoshi, Sakakibara Shigeki, Hasegawa Yoshimi, Nagaoka Tadao. // Nihon kokai gakkai ronbunshu -J. Jap. Inst. Navig. - 2001. - 104/ - P. 225-233.

32. Bober R. The DGPS system improve safety of navigation within the port of Szczecin / Bober R., Grodzicki P., Kozlowski Z., Wolski A. // 12 Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, 23-25 May, 2005. St. Petersburg: Elektropribor. 2005, с. 192-194.

33. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.

34. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. - 230с.

35. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана / Сорокин А.И. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 287 с.

36. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426 - 429.
37. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения:-Т.2. / Феллер В. - М.: Мир,1984.-751 с.
38. Мельник Е.Ф. Приближенное описание смешанных распределений погрешностей навигационных измерений / Мельник Е.Ф. // Автоматизация судовых технических средств: науч. –техн. сб. – 2002. – Вып. 7.- Одесса: ОГ-МА. – С. 96 – 100.
39. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. - М.: Советское радио, 1976. 192 с.
40. В.В. Степаненко. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов/ В.В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГМА. – Вып. 2 – Одесса: Латстар, 2000. – С. 201 – 209.
41. 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.
42. 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.
43. Астайкин Д.В. Оценка точности позиции судна при наличии случайных погрешностей навигационных измерений / Астайкин Д.В. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. № 4 . – С. 147-152.
44. Астайкин Д.В. Аналитическое выражение функции распределения случайных величин смешанных законов/ Астайкин Д.В. // Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 6 – 11.
45. Бурмака И.А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / Бурмака И.А., Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М.

// Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.

46. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrücken, Deutschland/ Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.

47. Алексейчук Б.М. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных линиях положения, полученная имитационным моделированием / Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., Астайкин Д.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 47 - 51.

48. Ворохобин И.И. Эффективность применения полиномов Эрмита для ортогонального разложения плотностей распределения навигационных погрешностей/ Ворохобин И.И., Сикирин В.Е., Фусар И.Ю.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 24-30.

49. Астайкин Д.В. Анализ особенностей обобщенного пуассоновского закона и смешанных законов распределения погрешностей навигационных измерений / Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М, Сикирин В.Е. // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15 сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 19 - 24.

50. Алексейчук Б.М. Сравнительная характеристика смешанных законов распределения погрешностей навигационных измерений с обобщенным пуассоновским законом/Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: ОН-МА. – С. 3 – 8.

51. Сикирин В.Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона./ Сикирин В.Е. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 152-157.

52. Алексейчук Б.М. Модели формирования законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: ОНМА. – С. 3 – 11.

53. Ince A.N. Modelling and simulation for safe and efficient navigation in narrow waterways / Ince A.N., Topuz E.J. // Navig.- 2004.- 57, № 1. – P. 53-71.

54. Аоно Такамицу. Системы управления движением судов в районе Внутреннего Японского моря / Аоно Такамицу. // Pairotto. - 1998. - № 99. - С. 102-103.

55. Заявка 2698966 Франция, МКИ5 G 01 S 13/009. Способ радионавигации и система управления множеством движущихся объектов. Precede de radionavigation et systeme de gestion de flotte de vehicules. / Rabian J.M., Potet J.-C, Guichet H.P. - № 9214644; заявл. 4.12.92 ; опубл. 10.6.94.

56. Foxwell David. VTS takes on new roles in ports of world / Foxwell David. // Ports-strategy. – 2004. - Apr. – P. 40-42.

57. Kay Bjorn. Starkung des maritimen Sektors - am Beispiel der Lotse / Kay Bjorn // Schiff und Hafen: Seewirt., Kommandobrücke.- 2001. - 53, №4/ - P. 87-89.

58. Transas Marine to launch PC solution for small harbours // Dredg. & Port Constr.- 1995.- 22, № 4.- P. 25-26.

59. Guibert Jean-Louis. Evolution de l'organisation de la navigation maritime: cas de la Manche/ Guibert Jean-Louis. // Navigation (France).- 2001.- 49, № 193.- P. 42-48.

60. VTS-Lieferung nach China. //Schiff und Hafen: Seewirt., Kommando-brucke. - 2000. – 52. - № 9. – P. 6 - 10.

61. Козырь Л. А. К оценке поворотливости судна при следовании по БДЛК для обеспечения работы информационно-управляющей системы УДС / Козырь Л. А., Романов Г. С.// Судовождение. – 2005. - №.9. – С. 45-51.

62. Платов Ю. И. К проблеме определения оптимальных скоростей движения в рамках автоматизированной системы проводки судов / Платов Ю. И., Платов А. Ю. // Международный научно-промышленный форум "Великие реки 2003", Нижний Новгород. 20-23 мая, 2003: Генеральные доклады, тезисы докладов. - Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ. – 2003. - С. 345-346.

63. Сикирин В.Е. Формализация системы принятия решений по управлению движением судна/Сикирин В.Е.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 203-209.

64. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / Ворохобин И.И., Казак Ю.В., **Северин В.В.** – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. - 239 с.

65. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «Изда-тИнформ», 2015 - С. 40-47.

66. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 34 – 39.

67. Северин В. В. Стохастическая характеристика бокового отклонения судна при проводке по заданному маршруту / Северин В. В., Казак Ю. В. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ"ОМА". – С. 92 – 96.

68. Казак Ю. В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / Казак Ю. В., **Северин В. В.** // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ"ОМА". – С. 37 – 43.

69. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 56 - 59.

70. Ворохобин И.И. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 71 – 76.

71. Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом/ Северин В.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 196 -201.

72. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной погрешности поворота судна / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 3 (84). – С. 65 - 69.

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

74. Астайкин Д.В. Сравнение способов оценки безопасности плавания в стесненных районах /Астайкин Д.В., **Северин В.В.**, Казак Ю.В.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 31-39.

75. Казак Ю.В. Опеделение величины векториальной погрешности поворота судна / Казак Ю.В., **Северин В.В.** // Развитие науки в XXI веке: Матери-

алы XXVII международной научно-практической конференции, 15 сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-37.

76. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / Северин В.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 94 -98.

77. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.** // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014.- № 4 . - С. 119 - 126.

78. Ворохобин И.И. Определение вероятности обеспечения безаварийного плавания судов в стесненных районах / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. //Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 18-19 листопада 2014, Одеса. – С. 160-162.

79. Ворохобин И.И. Определение закона распределения бокового отклонения судна / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 19-20 листопада 2015, Одеса. – С. 117-119.

80. Ворохобин И.И. Связь плотности погрешности бокового отклонения с плотностью векториальной позиционной погрешности/ Ворохобин И.И., **Северин В. В.** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 58–59.

81. Северин В. В. Оценка вероятности проводки судна стесненным маршрутом альтернативными моделями / Северин В. В. // Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 119 - 121.

82. Ворохобин И.И. Формирование процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных районах/ Ворохобин И.И., **Северин**

В.В., Казак Ю.В. // Материалы VII Международной научно-методологической конференции „Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)”, - 26-28 травня, 2015, Херсон. – С. 99-102.

83. Северин В.В. Определение закона распределения бокового отклонения судна / Северин В.В., Казак Ю.В.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня, 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 139 – 142.

84. Северин В.В. Характеристики допустимой области плавания судна в стесненном районе/ Северин В.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 133–136.

85. Ворохобин И.И. Векториальная погрешность и ее плотность распределения / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции с международным участием. 17-18 мая 2017 г., Николаев, НУК, 2017, - С. 25 – 27.

86. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С.Вентцель – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 564 с.

87. Вагущенко Л.Л. Обработка навигационных данных на ЭВМ / Л.Л. Вагущенко – М.: Транспорт, 1985. – 144 с.

88. Тихонов В.И.. Марковские процессы / В.И.Тихонов, М.А. Миронов – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.

89. Острем К. Введение в стохастическую теорию управления / К.Острем – М.: Мир, 1973. – 322 с.

90. Калианпур Г. Стохастическая теория фильтрации / Г. Калианпур – М.: Наука, 1987. – 318 с.

91. Вагущенко Л.Л. Автоматизация судовождения /Л.Л.Вагущенко - Одесса: 1994.- 354 с.

92. Вагущенко Л. Л. Судовые автоматизированные системы навигации / Л. Л. Вагущенко, А. М. Стафеев - М.: Транспорт, 1989. - 156 с.

93. 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.
94. Кондрашихин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения/ В.Т. Кондрашихин – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
95. Крамер Г. Математические методы статистики / Крамер Г. - М.: Мир, 1975, 648 с.
96. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.
97. Линник Ю. В. Разложение случайных величин и векторов / Линник Ю.В., Островский И.О. - М.: Наука, 1972. - 480 с.
98. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана/ А.И. Сорокин– Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 287с.
99. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: том 2 / В.Феллер - М.: Мир. - 1984. - 751с.
100. Уилкс С. Математическая статистика / С. Уилкс - М.: Наука, 1967. - 348 с.
101. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стюарт – М.: Наука, 1966. – 588 с.
102. Корн Г. Справочник по математике / Корн Г., Корн Т. - М.: Наука, 1984.- 832 с.

ДОДАТОК А

Частина коду програми для оцінки безпеки судноводіння.

```
unit Progect_Un;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ExtCtrls, StdCtrls;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
Image1: TImage;
```

```
Timer1: TTimer;
```

```
Button2: TButton;
```

```
Button1: TButton;
```

```
ScrollBar1: TScrollBar;
```

```
Button3: TButton;
```

```
Button4: TButton;
```

```
Button5: TButton;
```

```
Button6: TButton;
```

```
Panel1: TPanel;
```

```
Panel2: TPanel;
```

```
Panel3: TPanel;
```

```
Panel4: TPanel;
```

```
Panel5: TPanel;
```

```
Panel6: TPanel;
```

```
Panel7: TPanel;
```

```
Panel8: TPanel;
```

```
Panel9: TPanel;
```

```
Panel10: TPanel;
```

```
Panel11: TPanel;
```

```
Panel12: TPanel;  
Panel13: TPanel;  
Panel14: TPanel;  
Panel15: TPanel;  
Panel16: TPanel;  
Panel17: TPanel;  
Panel18: TPanel;  
Panel19: TPanel;  
Panel20: TPanel;  
Panel21: TPanel;  
Panel22: TPanel;  
Panel23: TPanel;  
Button7: TButton;  
Button8: TButton;  
Button9: TButton;  
Button10: TButton;  
Button11: TButton;  
Button12: TButton;  
Button13: TButton;  
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure FormDestroy(Sender: TObject);  
procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,  
    Y: Integer);  
procedure ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode: TScrollCode;  
    var ScrollPos: Integer);  
procedure Image1Click(Sender: TObject);  
procedure Button2Click(Sender: TObject);  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure Button3Click(Sender: TObject);  
procedure Button4Click(Sender: TObject);  
procedure Button5Click(Sender: TObject);  
procedure Button6Click(Sender: TObject);  
procedure Button8Click(Sender: TObject);  
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
```

```

procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Panel20Click(Sender: TObject);
procedure Panel21Click(Sender: TObject);
procedure Panel22Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Button12Click(Sender: TObject);
procedure Button13Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

type
Pt = array[1..360] of TPoint;
Pt1 = array[1..720] of TPoint;

PtC = array[1..120] of TPoint;
APt = array[0..30] of TPoint;
var
  Form1: TForm1;
  ShowBmp,CargoBmp,CopyBmp,StartBmp,PortsBmp,KoshiBmp,PirsonBmp,
  OKBmp,ChartBmp,TimerBmp : TBitmap;
  Lh,Bh,Hh,Lp,Bp,Hp,B1,H1,B2,H2 : word;
  IndCrt,Nbt,Nbto,Nbto,OkBtn,Okbtn1,OkTimer,IndAutom,IndVrt,IndManl,
  IndWht,IndVol,IndVvod,OkOkVvod,{IndX,IndY,}IndZ,Indn : byte;
  {IndB,IndE,IndU,IndD : byte;}
  Nbrng,Nrngmax,Ay,s,NvrBtn,NbtVvod,OkOk,OkWht,OkVol,OkVvod,OkScroll : byte;
  IndK,IndV,IndA,IndD,IndDm : byte;
  Yc,Yc1 : word;

  CargoTyp,CargoCol : array[1..190] of byte;

```


CargOk,HorizOk,AutomOk,Ok,StrsOk,CorrOk,ShowOk,RangOk,TwoBtOk,
 OkBtt1,OkBtt2 : byte;
 AutomChen,LimPl,LimW,LimV : Integer;
 OkLim,IndLim,NbtLim,PrLdLim,WhtLim,VolLim,Lim1,Lim2,Lim3 : byte;
 Begdop,Bd1,Bd2,Whtdop,Wd1,Wd2,Bdo1,Bdo2 : word;
 Enddop,Ed1,Ed2,Edo1,Edo2,Updop,Ud1,Ud2,Udo1,Udo2: word;
 ClassCargoTyp,ColTyp,TypCargo : byte;
 CargoName,CargoLab1,CargoLab2,CargoLab3 : string[20];
 CargoWight : LongInt;
 CargoSize1,CargoSize2,CargoSize3,Npr,V1,V2,V3,V4,V5,Nc,dN,Mnx,Mny : word;
 Xcn,Ycn,K1,K2,K21,K3,K4,K5,K1n,K2n,K3n,K4n,K5n,K1sc,K2sc,K3sc : Integer;
 Kot,Kot1,Kot2,Vot,Lm,alf,D,Dd,alf12,alf13,alf14,alf15,alf23,alf24,alf34 : real;
 alf25,alf35,alf45,Lm1,Lm2,Lm3,Lm4 : real;
 D12,D13,D14,D15,D23,D24,D34,D25,D35,D45 : real;
 Nves,IndOK,IndVes,IndScroll: byte;
 Re,ReV,ReS{,Coordt,CoordAt} : PtC;
 Re2,ReV1{,ReL,Re1,Re2,Re3,Re4,Re5,Re6}: Pt;
 Re1 : APt;
 Bv,L1,L2,Lv,IndTimer,IndCol,Nb,IndS,IndAv,IndKm1,IndKm2,IndKm3 : byte;
 Xt,Yt,Xvs,Yvs, X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,X4,Y4,X5,Y5,Xn,Yn : Integer;
 Dmin12,Dmin13,Dmin14,Dmin15,Dmin23,Dmin24,Dmin25,Dmin34,Dmin35,Dmin45:real;
 DK1,DK2,DK3,DKm,K1m,K2m,K3m,DKs,K3l,DK1m,DK2m,DK3m,Mn1x,Mn1y : word;
 Msx,Msy,Ms1x,Ms1y,Xmd1,Ymd1 : word;
 dt,dtk,dt2,dtk2,T1,T2,delK,delK2,aom,tf,ts,dtkp,IntS1,IntS2,IntC1,IntC2 :real;
 tf11,tf12,tf21,tf22,L,G1,G2 : real;
 Kf1,Kf2,Ko,tf1,tf2,Vo,Xm,Ym,Xn3,Yn3,Xsm,Ysm,Ky,MN,psi,DelDd,Koty : real;
 IndInersh,IndNav,IndCopy,IndB,IndC,IndStart: byte;
 Xnv,Ynv,dRnv,alfnv,Xnv1,Ynv1,alfnv1,Xnv2,Ynv2,alfnv2 : word;
 Dnv,Ddnv,Dnv1,Dnv2,DXnv,DYnv,DXt,DYt,Dtnv,alftnv,DXnv2,DYnv2,Dtnv2,
 alftnv2,Kvs,Kcs,aw1,aw2,Xvsr,Yvsr,Xtrl,Ytrl,Kt,Dvt,
 Xvsw,Yvsw,Xtw,Ytw,DXvsr,DYvsr,DXtrl,DYtrl,alfvt,Kvsr,Ktr : real;
 K1yn,K1yb,K2yn,K2yb,t,tn,tau1,tau2,K1y,K2y,tk,Xcr,Ycr : word;
 DeltK1,DeltK2,cig1,cig2: Integer;

```

IndLine,IndX,IndY,Nrs,Nkr,IndZak,IndCig,NmbMar,IndChart,NmbChart : byte;
Xpt,Ypt,Xst,Yst,Xtr,Ytr,Npt,Nst,Ntr,m,Nbtr,Xbg,Ybg,Xcop,Ycop,
Xbgsk,Ybgsk : word;
Mpt,Mst,Mtr : PtC;
Mrg : Pt;
Kpr,Spr,betpt,betst,Lpt,Lst : array[1..120] of real;
DeltaX,DeltaY : real;
Lbpt,Lbst,Bpr,Smpr : array[1..1000] of real;
Pl,Bm,Smm,cig,Scl : real;
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
    end
  else
    begin
      if Lh/Hh>2.5984 then
        Scale:=387{310}/Lh
      else
        Scale:=147{118}/Hh;
      end;
    end;
  Lp:=Round(Lh*Scale); Bp:=Round(Bh*Scale); Hp:=Round(Hh*Scale);
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 Buttn(Bmp : TBitMap; Image : TImage; X,Y,dX,dY : word;
                R,G,B : byte);
var
i,dRu,dGu,dBu,dRd,dGd,dBd : byte;

```

```

begin
ColorRect(Bmp,Image,X-1,Y-1,X+dX+1,Y+dY+1,RGB(20,20,20),0);
ColorRect(Bmp,Image,X,Y,X+dX,Y+dY,RGB(R,G,B),0);
dRu:=Round((255-R)/4); dGu:=Round((255-G)/4); dBu:=Round((255-B)/4);
dRd:=Round((R-60)/4); dGd:=Round((G-60)/4); dBd:=Round((B-60)/4);
for i:=1 to 4 do
begin
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+i,X+dX-i,Y+i,RGB(255-dRu*i,255-dGu*i,255-dBu*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+i,X+i,Y+dY-i,RGB(255-dRu*i,255-dGu*i,255-dBu*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+dY-1-i,X+dX-i,Y+dY-1-
i,RGB(60+dRd*i,60+dGd*i,60+dBd*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+dX-1-i,Y+i,X+dX-1-i,Y+dY-1-
i,RGB(60+dRd*i,60+dGd*i,60+dBd*i),1,0);
end;
end;
function ArcSin (x:real) :real;
var
Ast :real;
begin
if Abs(x)>=0.9999999 then
begin
if x>0 then Ast:=90
else Ast :=-90;
end
else
Ast :=ArcTan(x/(Sqrt(1-Sqr(x))))*57.3;
ArcSin :=Ast;
end;
function ArcCos(x:real) :real;
var
Ac :real;
begin
if x<>0 then
begin

```

```

    Ac :=ArcTan((Sqrt(1-Sqr(x)))/x)*57.3;
    if x>0 then ArcCos :=Ac
    else ArcCos :=180-Ac;
    end
else ArcCos:=90;
end;
function Pelg(x,y:real):real;
var C1,Aor,Aol:real;
begin
if y<>0 then C1 :=ArcTan(x/y)*57.3
else
begin
if x>0 then C1:=90
else C1:=270;
end;
if y>=0 then Aor :=360 + C1
else Aor :=180 + C1;
if Aor >=360 then Aol :=Aor - 360
else Aol :=Aor;
Pelg :=Aol;
end;
function Cour(x : Integer) : {real}Integer;
begin
if x<0 then Cour:=360+x
else
begin
if x>=360 then Cour:=x-360
else Cour:=x;
end;
end;
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;
    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 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;
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 Inersh(alf,D,Dd,aom,Koty :real; K1n,K2n,K11,K2,K2o : Integer;
```

```
    IndVar,Ind3 : byte; V1,V2 : word; var K1do : Integer; K1d: word);
```

```
var
```

```
DelK,DelK2,sgn : Integer;
```

```
gam1,gam2,gam11 : word;
```

```
dtk,dtk2,Xm,Ym,MN,psi,DelDd : real;
```

```
begin
```

```
DelKSig(K1n,K11,DelK,sgn);
```

```
DelKSig(K2n,K2,DelK2,sgn);
```

```
dtk:=DelK/aom;
```

```
dtk2:=DelK2/aom;
```

```
if (DelK<>0) and (DelK2=0) then
```

```
begin
```

```
Xm:=((0.514*V1)/(aom*0.01745))*(cos(K1n/57.3)-cos(K11/57.3))-
```

```
0.514*V2*dtk*sin(K2n/57.3);
```

```
Ym:=((0.514*V1)/(aom*0.01745))*(sin(K11/57.3)-sin(K1n/57.3))-
```

```
0.514*V2*dtk*cos(K2n/57.3);
```

```
end;
```

```
if (DelK=0) and (DelK2<>0) then
```

```
begin
```

```
Xm:=((0.514*V2)/(aom*0.01745))*(cos(K2n/57.3)-cos(K2/57.3))+
```

```
0.514*V1*dtk2*sin(K1n/57.3);
```

```
Ym:=((0.514*V2)/(aom*0.01745))*(sin(K2/57.3)-sin(K2n/57.3))+
```

```
0.514*V1*dtk2*cos(K1n/57.3);
```

```
end;
```

```
if (DelK<>0) and (DelK2<>0) then
```

```

begin
  Xm:=((0.514*V1)/(aom*0.01745))*(cos(K1n/57.3)-cos(K11/57.3))-
  ((0.514*V2)/(aom*0.01745))*(cos(K2n/57.3)-cos(K2/57.3));
  Ym:=((0.514*V1)/(aom*0.01745))*(sin(K11/57.3)-sin(K1n/57.3))-
  ((0.514*V2)/(aom*0.01745))*(sin(K2/57.3)-sin(K2n/57.3));
  end;

  MN:=Sqrt(Sqr(Xm)+Sqr(Ym)); psi:=ArcTan(Xm/Ym)*57.3;
  DelDd:=Abs(MN*sin((Koty-psi)/57.3))/1852;

  if IndVar=1 then
    gam11:=Round(alf+Arcsin((Dd+DelDd)/D))
  else gam11:=Round(alf-Arcsin((Dd+DelDd)/D));

  if Ind3=1 then
    K1do:=Round(gam11+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam11)/57.3)))
  else K1do:=Round(Cour(180+2*gam11-K2o));

  K1d:=Cour(K1do);
  end;

procedure Fakt(n: word; var F : word);

var
  i : word;

begin
  F:=1;
  for i:=2 to n do
    F:=F*i;

  end;

```

```
procedure Stp(y,a: real; var x : real);
```

```
var
```

```
i : word;
```

```
begin
```

```
x:=exp(a*Ln(y));
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
label 1,2,3;
```

```
var
```

```
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,K11,K12,gam1,gam2,Nb,Ne: word;
```

```
Scale : real;
```

```
StC : string[3];
```

```
HoldTyp : byte;
```

```
i,j,k,Ncn,Ncno,No : word;
```

```
{Xtr,Ytr,}Ztr,Xs,Ys,Xcr,Ycr,K2o,K11o,K12o,K21o : Integer;
```

```
Gr,Gr1 : Pt;
```

```
Grs : Pt1;
```

```
n1,n2 : word;
```

```
begin
```

```
ShowBmp := TBitmap.Create;
```

```
ShowBmp.Width:=800;
```

```
ShowBmp.Height:=600;
```

```
CargoBmp := TBitmap.Create;
```

```
CargoBmp.Width:=800;
CargoBmp.Height:=430;
```

```
CopyBmp := TBitMap.Create;
CopyBmp.Width:=800;
CopyBmp.Height:=600;
```

```
StartBmp := TBitMap.Create;
StartBmp.Width:=800;
StartBmp.Height:=600;
```

```
PortsBmp := TBitMap.Create;
PortsBmp.Width:=800;
PortsBmp.Height:=600;
```

```
KoshiBmp := TBitMap.Create;
KoshiBmp.Width:=800;
KoshiBmp.Height:=600;
```

```
PirsonBmp := TBitMap.Create;
PirsonBmp.Width:=800;
PirsonBmp.Height:=600;
```

```
OKBmp := TBitMap.Create;
OKBmp.Width:=700;
OKBmp.Height:=400;
```

```
TimerBmp := TBitMap.Create;
TimerBmp.Width:=800;
TimerBmp.Height:=600;
```

```
ChartBmp := TBitMap.Create;
```

```
Nves:=2; IndVes:=1; IndK:=1; IndV:=1; IndA:=1; IndD:=1; IndS:=1;
```

```

IndAv:=1; DKm:=360; IndDm:=1; IndKm1:=1; IndKm2:=1; IndKm3:=1; IndInersh:=0;
IndNav:=1; IndCopy:=1; IndB:=1; IndC:=1; t:=0;
{Bv:=15; L1:=20; L2:=5; Lv:=60;}
alf:=90; V1:=15; V2:=20; D:=3; Dd:=1.0;
K1:=45; K2:=315;
K1n:=45; K2n:=315;
Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;

```

```

Dnv:=2.3; alfnv:=50; Ddnv:=0.5;
Dnv1:=2.0; alfnv1:=30; Dnv2:=3.3; alfnv2:=60;

```

```

ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,670,512,RGB(219,217,209),0);
ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,650,512,RGB(250,255,255),0);

```

```

{ChartBmp := TBitmap.Create;
ChartBmp.LoadFromFile('Безымянный K1.PNG');}

```

```

IndOK:=0; Xpt:=100; Xst:=200; Xtr:=150; Ypt:=200; Yst:=350; Ytr:=500;

```

```

ShowBmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,650,510),
Image1.Canvas,Rect(0,0,650,510));

```

```

Npt:=0; Nst:=0; Ntr:=0; IndX:=0; IndY:=0; m:=1; IndZak:=0; cig:=4.64;
IndCig:=0; NmbMar:=0; IndChart:=0; NmbChart:=0; Scl:=1.0;

```

```

(*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);*)
```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}
```

```
{delK:=90; aom:=2.7; T1:=10.23; Ko:=15; Vo:=20;}
```

```
delK:=54; aom:=0.5422; T1:=19.0; T2:=2.3; Ko:=45; Vo:=15; Ky:=99; Alf:=100;
```

```
D:=3; Dd:=1; K2:=315; V2:=20; Koty:=120;
```

```
dtk:=delK/aom;
```

```
Xm:=((0.514*Vo)/(aom*0.01745))*(cos(Ko/57.3)-cos(Ky/57.3))-0.514*V2*dtk*sin(K2/57.3);
```

```
Ym:=((0.514*Vo)/(aom*0.01745))*(sin(Ky/57.3)-sin(Ko/57.3))-0.514*V2*dtk*cos(K2/57.3);
```

```
MN:=Sqrt(Sqr(Xm)+Sqr(Ym)); psi:=ArcTan(Xm/Ym)*57.3;
```

```
DelDd:=Abs(MN*sin((Koty-psi)/57.3))/1852;
```

```
repeat
```

```
dtkp:=dtk;
```

```
tf:=dtk/T1;
```

```
dt:=T1*ln(2-exp(-tf));
```

```
ts:=dt/T1;
```

```
dtk:=T1*(1-exp(-tf))+dt-T1*(2-exp(-tf))*(1-exp(-ts))+delK/aom;
```

```
until Abs(dtkp-dtk)<0.1;
```



```
n1:=Round(dtk); n2:=Round(dt);
```

```
IntS1:=0; IntC1:=0;
```

```
for i:=1 to n1 do
```

```
begin
```

```
tf1:=i-0.5;
```

```
Kf1:=Ko+aom*(tf1-T1*(1-exp(-tf1/T1)));
```

```
IntS1:=IntS1+sin(Kf1/57.3);
```

```
IntC1:=IntC1+cos(Kf1/57.3);
```

```
end;
```

```
Kf1:=Ko+aom*(n1-T1*(1-exp(-n1/T1)));
```

```
IntS2:=0; IntC2:=0;
```

```
for i:=1 to n2 do
```

```
begin
```

```
tf2:=i-0.5;
```

```
Kf2:=Kf1+aom*(T1*(2-exp(-n1/T1))*(1-exp(-tf2/T1))-tf2);
```

```
IntS2:=IntS2+sin(Kf2/57.3);
```

```
IntC2:=IntC2+cos(Kf2/57.3);
```

```
end;
```

```
Xm:=0.514*Vo*(IntS1+IntS2)-0.514*V2*(dtk+dt)*sin(K2/57.3);
```

```
Ym:=0.514*Vo*(IntC1+IntC2)-0.514*V2*(dtk+dt)*cos(K2/57.3);
```

```
MN:=Sqrt(Sqr(Xm)+Sqr(Ym)); psi:=ArcTan(Xm/Ym)*57.3;
```

```
DelDd:=Abs(MN*sin((Koty-psi)/57.3))/1852;
```

```
aom:=0.5422;
```

```
dtk:=delK/aom; dt:=0.1*dtk;
```

```
repeat
```

```

dtkp:=dtk;
tf11:=dtk/T1;
tf12:=dtk/T2;
tf21:=dt/T1;
tf22:=dt/T2;
L:=2-(T1*exp(-tf11)-T2*exp(-tf12))/(T1-T2);
dt:=-T1*ln((T1/T2)*exp(-tf22)+((T1-T2)/T1)/L);
G1:=2-(T1*exp(-tf11)-T2*exp(-tf12))/(T1-T2);
G2:=(Sqr(T1)*(1-exp(-tf21))-Sqr(T2)*(1-exp(-tf22)))/(T1-T2);
dtk:=dt+(Sqr(T1)*(1-exp(-tf11))-Sqr(T2)*(1-exp(-tf12)))/(T1-T2)-
G1*G2+delK/aom;

until Abs(dtkp-dtk)<0.1;

n1:=Round(dtk); n2:=Round(dt);

IntS1:=0; IntC1:=0;
for i:=1 to n1 do
begin
tf1:=i-0.5;
Kf1:=Ko+aom*(tf1-(Sqr(T1)*(1-exp(-tf1/T1))-Sqr(T2)*(1-exp(-tf1/T2)))/(T1-T2));
IntS1:=IntS1+sin(Kf1/57.3);
IntC1:=IntC1+cos(Kf1/57.3);
end;

Kf1:=Ko+aom*(n1-(Sqr(T1)*(1-exp(-n1/T1))-Sqr(T2)*(1-exp(-n1/T2)))/(T1-T2));
G1:=aom*(2-(T1*exp(-n1/T1)-T2*exp(-n1/T2))/(T1-T2));
IntS2:=0; IntC2:=0;
for i:=1 to n2 do
begin
tf2:=i-0.5;
G2:=(Sqr(T1)*(1-exp(-tf2/T1))-Sqr(T2)*(1-exp(-tf2/T2)))/(T1-T2);
Kf2:=Kf1-aom*tf2+G1*G2;

```



```
{ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,680,520,RGB(170,200,235),0);
```

```
ColorRect(ShowBmp,Image1,19,14,661,506,RGB(40,40,55),0);}


```

```
Image1 .Canvas.CopyRect(Rect(0,0,670,510{74,6,574,506}),
TimerBmp.Canvas,Rect(0,0,670{500},510{500}));*)


```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}


```

```
end;


```

```
procedure TForm1.FormDestroy(Sender: TObject);


```

```
begin


```

```
ShowBmp.Free;


```

```
CargoBmp.Free;


```

```
CopyBmp.Free;


```

```
PortsBmp.Free;


```

```
KoshiBmp.Free;


```

```
PirsonBmp.Free;


```

```
TimerBmp.Free;


```

```
end;


```

```
procedure TForm1.Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,


```

```
Y: Integer);


```

```
var Str1 : string[4];


```

```
begin


```

```
with Image1.Canvas do


```

```
begin


```

```

ColorRect(ShowBmp,Image1,7,7,35,25,
RGB(230,240,250),0);
Str(X,Str1);
TextOut(10,10,Str1);
ColorRect(ShowBmp,Image1,40,7,68,25,
RGB(230,240,250),0);
Str(Y,Str1);
TextOut(43,10,Str1);
Xcn:=X; Ycn:=Y;
end;

```

```

procedure TForm1.ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode: TScrollCode;
var ScrollPos: Integer);

```

```

var

```

```

StD,StC: string[3];

```

```

Stg : string[5];

```

```

StrF,StF : string[4];

```

```

Xob,Yob : Integer;

```

```

begin

```

```

if IndOK=0 then

```

```

begin

```

```

if IndScroll=5 then {X}

```

```

begin

```

```

Xbgsk:=ScrollPos;

```

```

Str(Xbgsk,StrF);

```

```

Button6.Caption:='Xbg = '+StrF;

```

```

end;

```

```

if IndScroll=6 then {Y}

```

```

begin

```

```

Ybgsk:=ScrollPos;

```

```

Str(Ybgsk,StrF);

```

```

Button7.Caption:='Ybg = '+StrF;

```

end;

{if IndChart=2 then

begin

Xbg:=Xbgsk+525; Ybg:=Ybgsk+292;

end

else

begin}

Xbg:=Xbgsk; Ybg:=Ybgsk;

{end;}

{TimerBmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,670,510),

ChartBmp.Canvas,Rect(Xbg,Ybg,Xbg+670,Ybg+510));}

TimerBmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,670,510),

ChartBmp.Canvas,Rect(Xbg,Ybg,Xbg+Round(Scl*670),

Ybg+Round(Scl*510)));

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,670,510),

TimerBmp.Canvas,Rect(0,0,670,510));

{if NmbChart=2 then

begin

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(427,5,667,365),

ChartBmp.Canvas,Rect(525,292,3508,4753));

end;

Image1.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

Xcop:=427+Round(0.08*(Xbg-525));

Ycop:=5+Round(0.08*(Ybg-292));

ColorRect>ShowBmp,Image1,423,0,671,369,RGB(220,235,255),0);

ColorRect>ShowBmp,Image1,Xcop,Ycop,Xcop+54,Ycop+41,RGB(155,235,155),0);

```

Image1.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy; }
end;
if IndOK=1 then
begin
{ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,672,512,RGB(219,217,209),0);
ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,560,512,RGB(250,255,255),0); }

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,650,510),
ShowBmp.Canvas,Rect(0,0,650,510));

Button8.Caption:='ПРИНЯТО';

if IndScroll=1 then {X}
begin
if IndY=1 then Button8.Enabled:=True;
IndX:=1;
case IndLine of
1: begin
Xpt:=ScrollPos;
Str(Round(Xpt),StrF);
Button6.Caption:='Xpt = '+StrF;
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xpt,0,Xpt,510,RGB(255,70,70),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,0,Ypt,650,Ypt,RGB(170,40,40),1,0);
end;
2: begin
Xst:=ScrollPos;
Str(Round(Xst),StrF);
Button6.Caption:='Xst = '+StrF;
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xst,0,Xst,510,RGB(80,240,80),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,0,Yst,650,Yst,RGB(40,140,40),1,0);
end;
3: begin
Xtr:=ScrollPos;
Str(Round(Xtr),StrF);

```

```

    Button6.Caption:='Xtr = '+StrF;
    ColorLine>ShowBmp,Image1,Xtr,0,Xtr,510,RGB(40,160,240),1,0);
    ColorLine>ShowBmp,Image1,0,Ytr,650,Ytr,RGB(40,40,140),1,0);
    end;
    end;

end;

if IndScroll=2 then {Y}
begin
    if IndX=1 then Button8.Enabled:=True;
    IndY:=1;
    case IndLine of
1:  begin
        Ypt:=ScrollPos;
        Str(Round(Ypt),StrF);
        Button7.Caption:='Ypt = '+StrF;
        ColorLine>ShowBmp,Image1,Xpt,0,Xpt,510,RGB(170,40,40),1,0);
        ColorLine>ShowBmp,Image1,0,Ypt,650,Ypt,RGB(255,70,70),1,0);
        end;
2:  begin
        Yst:=ScrollPos;
        Str(Round(Yst),StrF);
        Button7.Caption:='Yst = '+StrF;
        ColorLine>ShowBmp,Image1,Xst,0,Xst,510,RGB(40,140,40),1,0);
        ColorLine>ShowBmp,Image1,0,Yst,650,Yst,RGB(80,240,80),1,0);
        end;
3:  begin
        Ytr:=ScrollPos;
        Str(Round(Ytr),StrF);
        Button7.Caption:='Ytr = '+StrF;
        ColorLine>ShowBmp,Image1,Xtr,0,Xtr,510,RGB(40,40,140),1,0);
        ColorLine>ShowBmp,Image1,0,Ytr,650,Ytr,RGB(40,160,240),1,0);
        end;

```


end;

end;

```
(*if IndNav=1 then
begin
alf:=ScrollPos;
Str(Round(alf),StrF);
Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
end;
```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xpt,0,Xpt,510,RGB(190,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,0,Ypt,560,Ypt,RGB(190,40,40),1,0);
```

case IndVes of

1: begin

if IndScroll=1 then {alf}

begin

if IndNav=1 then

begin

alf:=ScrollPos;

Str(Round(alf),StrF);

Button3.Caption:='A12 = '+StrF;

Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;

end;

if IndNav=2 then

begin

alfnv:=ScrollPos;

Str(Round(alfnv),StrF);

Button3.Caption:='Anv = '+StrF;

Panel1.Caption:='Anv = '+StrF;

end;

```

if IndNav=3 then
  begin
    case IndB of
1: begin
    alfnv1:=ScrollPos;
    Str(Round(alfnv1),StrF);
    Button3.Caption:='Anv1 = '+StrF;
    Panel1.Caption:='Anv1 = '+StrF;
    end;
2: begin
    alfnv2:=ScrollPos;
    Str(Round(alfnv2),StrF);
    Button3.Caption:='Anv2 = '+StrF;
    Panel1.Caption:='Anv2 = '+StrF;
    end;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=2 then {D}
  begin
    if IndNav=1 then
      begin
        D:=ScrollPos/10;
        StrF:=FloatToStr(D);
        Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
        Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
        end;
    if IndNav=2 then
      begin
        Dnv:=ScrollPos/10;
        StrF:=FloatToStr(Dnv);
        Button4.Caption:='Dnv = '+StrF;
        Panel2.Caption:='Dnv = '+StrF;
        end;

```

```

if IndNav=3 then
  begin
    case IndC of
1: begin
    Dnv1:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(Dnv1);
    Button4.Caption:='Dnv1 = '+StrF;
    Panel2.Caption:='Dnv1 = '+StrF;
    end;
2: begin
    Dnv2:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(Dnv2);
    Button4.Caption:='Dnv2 = '+StrF;
    Panel2.Caption:='Dnv2 = '+StrF;
    end;
    end;
end;

if IndScroll=3 then {K}
  begin
    if IndNav=1 then
      begin
        if IndK=1 then
          begin
            K1n:=ScrollPos;
            Str(Round(K1n),StrF);
            Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
            Str(K1n,StD);
            Str(V1,StC);
            Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
            end;
          if IndK=2 then
            begin

```

```

    K2n:=ScrollPos;
    Str(Round(K2n),StrF);
    Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
    Str(K2n,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
end;
end;
if IndScroll=4 then {V}
begin
    if IndNav=1 then
    begin
        if IndV=1 then
        begin
            V1:=ScrollPos;
            Str(Round(V1),StrF);
            Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
            Str(K1,StD);
            Str(V1,StC);
            Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
            end;
        if IndV=2 then
        begin
            V2:=ScrollPos;
            Str(Round(V2),StrF);
            Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
            Str(K2,StD);
            Str(V2,StC);
            Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
            end;
        end;
    end;
end;
if IndNav=1 then

```

```

begin
Xt:=280+Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yt:=255-Round(45*D*cos(alf/57.3));
Xvs:=280-Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yvs:=255+Round(45*D*cos(alf/57.3));

ShipA(ShowBmp,Image1,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xvs,Yvs,Round(K1n),Xt,Yt,Round(K2n),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(K1n/57.3)),
  Yvs-Round(5*V1*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(5*V2*sin(K2n/57.3)),
  Yt-Round(5*V2*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
  Yvs-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
  Yvs-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
end;
if IndNav=2 then
begin
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,560,510),
CopyBmp.Canvas,Rect(0,0,560,510));

Xnv:=Xvs+Round(90*Dnv*sin(alfnv/57.3));
Ynv:=Yvs-Round(90*Dnv*cos(alfnv/57.3));
dRnv:=Round(90*Ddnv);
with Image1.Canvas do

```

```

begin
Pen.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Brush.Color:=TColor(RGB(245,255,255));
Ellipse(Xnv-dRnv,Ynv-dRnv,Xnv+dRnv,Ynv+dRnv);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Brush.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Ellipse(Xnv-2,Ynv-2,Xnv+2,Ynv+2);
end;
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xnv,Ynv,RGB(55,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xnv,Ynv,RGB(55,175,175),1,0);

DXnv:=Dnv*sin(alfnv/57.3); DYnv:=Dnv*cos(alfnv/57.3);
DXt:=D*sin(alf/57.3); DYt:=D*cos(alf/57.3);
Dtnv:=Distn(DXt-DXnv,DYt-DYnv); alftnv:=Pelg(DXnv-DXt,DYnv-DYt);
K1yn:=Round(alfnv-Arcsin(Ddnv/Dnv));
K1yb:=Round(alfnv+Arcsin(Ddnv/Dnv));
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(90*Dnv*sin(K1yn/57.3)),
Yvs-Round(90*Dnv*cos(K1yn/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(90*Dnv*sin(K1yb/57.3)),
Yvs-Round(90*Dnv*cos(K1yb/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
K2yn:=Round(alftnv-Arcsin(Ddnv/Dtnv));
K2yb:=Round(alftnv+Arcsin(Ddnv/Dtnv));
{ ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(90*Dtnv*sin(K2yn/57.3)),
Yt-Round(90*Dtnv*cos(K2yn/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(90*Dtnv*sin(K2yb/57.3)),
Yt-Round(90*Dtnv*cos(K2yb/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(90*Dtnv*sin(alftnv/57.3)),
Yt-Round(90*Dtnv*cos(alftnv/57.3)),RGB(55,175,255),1,0);}
end;
if IndNav=3 then
begin
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,560,510),
CopyBmp.Canvas,Rect(0,0,560,510));

```

```

Xnv2:=Xvs+Round(90*Dnv2*sin(alfnv2/57.3));
Ynv2:=Yvs-Round(90*Dnv2*cos(alfnv2/57.3));
dRnv:=Round(90*Ddnv);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Brush.Color:=TColor(RGB(245,255,255));
Ellipse(Xnv2-dRnv,Ynv2-dRnv,Xnv2+dRnv,Ynv2+dRnv);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Brush.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Ellipse(Xnv2-2,Ynv2-2,Xnv2+2,Ynv2+2);
end;
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xnv2,Ynv2,RGB(55,175,175),1,0);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xnv2,Ynv2,RGB(55,175,175),1,0);

Xnv1:=Xvs+Round(90*Dnv1*sin(alfnv1/57.3));
Ynv1:=Yvs-Round(90*Dnv1*cos(alfnv1/57.3));
dRnv:=Round(90*Ddnv);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Brush.Color:=TColor(RGB(245,255,255));
Ellipse(Xnv1-dRnv,Ynv1-dRnv,Xnv1+dRnv,Ynv1+dRnv);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Brush.Color:=TColor(RGB(55,175,175));
Ellipse(Xnv1-2,Ynv1-2,Xnv1+2,Ynv1+2);
end;
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xnv1,Ynv1,RGB(55,175,175),1,0);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xnv1,Ynv1,RGB(55,175,175),1,0);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xnv2,Ynv2,Xnv1,Ynv1,RGB(55,75,175),1,0);

DXnv:=Dnv1*sin(alfnv1/57.3); DYnv:=Dnv1*cos(alfnv1/57.3);
DXnv2:=Dnv2*sin(alfnv2/57.3); DYnv2:=Dnv2*cos(alfnv2/57.3);
DXt:=D*sin(alf/57.3); DYt:=D*cos(alf/57.3);

```

```

Dtnv:=Distn(DXt-DXnv,DYt-DYnv); alftnv:=Pelg(DXnv-DXt,DYnv-DYt);
Dtnv2:=Distn(DXt-DXnv2,DYt-DYnv2); alftnv2:=Pelg(DXnv2-DXt,DYnv2-DYt);
K1yn:=Round(alfnv1-Arcsin(Ddnn/Dnv1));
K1yb:=Round(alfnv2+Arcsin(Ddnn/Dnv2));
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(90*Dnv1*sin(K1yn/57.3)),
          Yvs-Round(90*Dnv1*cos(K1yn/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(90*Dnv2*sin(K1yb/57.3)),
          Yvs-Round(90*Dnv2*cos(K1yb/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);

K2yn:=Round(alftnv-Arcsin(Ddnn/Dtnv));
K2yb:=Round(alftnv2+Arcsin(Ddnn/Dtnv2));
{ ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(90*Dtnv*sin(K2yn/57.3)),
          Yt-Round(90*Dtnv*cos(K2yn/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(90*Dtnv2*sin(K2yb/57.3)),
          Yt-Round(90*Dtnv2*cos(K2yb/57.3)),RGB(255,175,175),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(90*Dtnv2*sin(alftnv2/57.3)),
          Yt-Round(90*Dtnv2*cos(alftnv2/57.3)),RGB(55,175,255),1,0);}
end;
end;
2: begin
  if IndScroll=1 then {alf}
    begin
      case IndA of
1: begin
      alf12:=ScrollPos;
      Str(Round(alf12),StrF);
      Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
      Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
      end;
2: begin
      alf13:=ScrollPos;
      Str(Round(alf13),StrF);
      Button3.Caption:='A13 = '+StrF;
      Panel3.Caption:='A13 = '+StrF;

```



```

    end;
    end;
end;

if IndScroll=2 then {D}
begin
    case IndD of
1: begin
    D12:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D12);
    Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
    Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
    end;
2: begin
    D13:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D13);
    Button4.Caption:='D13 = '+StrF;
    Panel4.Caption:='D13 = '+StrF;
    end;
    end;
end;

if IndScroll=3 then {K}
begin
    case IndK of
1: begin
    K1n:=ScrollPos;
    Str(Round(K1n),StrF);
    Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
    Str(K1n,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
2: begin
    K2n:=ScrollPos;

```

```

    Str(Round(K2n),StrF);
    Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
    Str(K2n,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    K3n:=ScrollPos;
    Str(Round(K3n),StrF);
    Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    Str(K3n,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=4 then {V}
    begin
        case IndV of
1: begin
            V1:=ScrollPos;
            Str(Round(V1),StrF);
            Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
            Str(K1,StD);
            Str(V1,StC);
            Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
            end;
2: begin
            V2:=ScrollPos;
            Str(Round(V2),StrF);
            Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
            Str(K2,StD);
            Str(V2,StC);
            Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;

```

```

end;
3: begin
  V3:=ScrollPos;
  Str(Round(V3),StrF);
  Button6.Caption:='V3 = '+StrF;
  Str(K3,StD);
  Str(V3,StC);
  Panel11.Caption:='3  K3='+StD+'  V3='+StC;
end;
end;
end;

X1:=280; Y1:=255;
X2:=280+Round(D12*50*sin(alf12/57.3));
Y2:=255-Round(D12*50*cos(alf12/57.3));
X3:=280+Round(D13*50*sin(alf13/57.3));
Y3:=255-Round(D13*50*cos(alf13/57.3));

Ship3(ShowBmp,Image1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1n,X2,Y2,K2n,X3,Y3,K3n,V1,V2,V3,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X2,Y2,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X3,Y3,RGB(100,140,100),1,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(100*sin(K1n/57.3)),
  Y1-Round(100*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X2,Y2,X2+Round(100*sin(K2n/57.3)),
  Y2-Round(100*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X3,Y3,X3+Round(100*sin(K3n/57.3)),
  Y3-Round(100*cos(K3n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);

```

```

Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;}
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;
end;
3: begin
if IndScroll=1 then {alf}
begin
case IndA of
1: begin
alf12:=ScrollPos;

```

```

    Str(Round(alf12),StrF);
    Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
    Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
    end;
2: begin
    alf13:=ScrollPos;
    Str(Round(alf13),StrF);
    Button3.Caption:='A13 = '+StrF;
    Panel3.Caption:='A13 = '+StrF;
    end;
3: begin
    alf14:=ScrollPos;
    Str(Round(alf14),StrF);
    Button3.Caption:='A14 = '+StrF;
    Panel5.Caption:='A14 = '+StrF;
    end;
    end;
end;

if IndScroll=2 then {D}
    begin
        case IndD of
1: begin
            D12:=ScrollPos/10;
            StrF:=FloatToStr(D12);
            Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
            Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
            end;
2: begin
            D13:=ScrollPos/10;
            StrF:=FloatToStr(D13);
            Button4.Caption:='D13 = '+StrF;
            Panel4.Caption:='D13 = '+StrF;
            end;

```

```

3: begin
    D14:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D14);
    Button4.Caption:='D14 = '+StrF;
    Panel6.Caption:='D14 = '+StrF;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=3 then {K}
begin
    case IndK of
1: begin
    K1n:=ScrollPos;
    Str(Round(K1n),StrF);
    Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
    Str(K1n,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
2: begin
    K2n:=ScrollPos;
    Str(Round(K2n),StrF);
    Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
    Str(K2n,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    K3n:=ScrollPos;
    Str(Round(K3n),StrF);
    Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    Str(K3n,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;

```

```

    end;
4: begin
    K4n:=ScrollPos;
    Str(Round(K4n),StrF);
    Button5.Caption:='K4 = '+StrF;
    Str(K4n,StD);
    Str(V4,StC);
    Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=4 then {V}
begin
case IndV of
1: begin
    V1:=ScrollPos;
    Str(Round(V1),StrF);
    Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
    Str(K1,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
2: begin
    V2:=ScrollPos;
    Str(Round(V2),StrF);
    Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
    Str(K2,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    V3:=ScrollPos;
    Str(Round(V3),StrF);
    Button6.Caption:='V3 = '+StrF;

```

```

    Str(K3,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
4: begin
    V4:=ScrollPos;
    Str(Round(V4),StrF);
    Button6.Caption:='V4 = '+StrF;
    Str(K4,StD);
    Str(V4,StC);
    Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
    end;
    end;
end;

```

```

X1:=280; Y1:=255;
X2:=280+Round(D12*50*sin(alf12/57.3));
Y2:=255-Round(D12*50*cos(alf12/57.3));
X3:=280+Round(D13*50*sin(alf13/57.3));
Y3:=255-Round(D13*50*cos(alf13/57.3));
X4:=280+Round(D14*50*sin(alf14/57.3));
Y4:=255-Round(D14*50*cos(alf14/57.3));

```

```

Ship4(ShowBmp,Image1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1n,X2,Y2,K2n,X3,Y3,K3n,X4,Y4,K4n,V1,V
2,V3,V4,0);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X2,Y2,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X3,Y3,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X4,Y4,RGB(100,140,100),1,0);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(100*sin(K1n/57.3)),
    Y1-Round(100*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X2,Y2,X2+Round(100*sin(K2n/57.3)),

```



```

Y2-Round(100*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X3,Y3,X3+Round(100*sin(K3n/57.3)),
Y3-Round(100*cos(K3n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X4,Y4,X4+Round(100*sin(K4n/57.3)),
Y4-Round(100*cos(K4n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K4n),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
if Dmin14<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

```

```

alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

```

```

alf24:=Pelg(X4-X2,Y2-Y4);
D24:=Distn((X2-280)/50-(X4-280)/50,(Y2-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf24),StD);
StF:=FloatToStr(D24);;
Panel14.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K4n),Round(V2),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin24:=Abs(D24*sin((alf24-Kot)/57.3));

```

```

alf34:=Pelg(X4-X3,Y3-Y4);
D34:=Distn((X3-280)/50-(X4-280)/50,(Y3-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf34),StD);
StF:=FloatToStr(D34);;
Panel15.Caption:='A34='+StD+' D34='+StF;
KotVot(Round(K3n),Round(K4n),Round(V3),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin34:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin34);
Panel22.Caption:='Dmin34 = '+StD;
end;

```

```

4: begin
  if IndScroll=1 then {alf}
    begin
      case IndA of
        1: begin

```

```

    alf12:=ScrollPos;
    Str(Round(alf12),StrF);
    Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
    Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
    end;
2: begin
    alf13:=ScrollPos;
    Str(Round(alf13),StrF);
    Button3.Caption:='A13 = '+StrF;
    Panel3.Caption:='A13 = '+StrF;
    end;
3: begin
    alf14:=ScrollPos;
    Str(Round(alf14),StrF);
    Button3.Caption:='A14 = '+StrF;
    Panel5.Caption:='A14 = '+StrF;
    end;
4: begin
    alf15:=ScrollPos;
    Str(Round(alf15),StrF);
    Button3.Caption:='A15 = '+StrF;
    Panel7.Caption:='A15 = '+StrF;
    end;
    end;
end;

if IndScroll=2 then {D}
begin
    case IndD of
1: begin
    D12:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D12);
    Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
    Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;

```

```

    end;
2: begin
    D13:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D13);
    Button4.Caption:='D13 = '+StrF;
    Panel4.Caption:='D13 = '+StrF;
    end;
3: begin
    D14:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D14);
    Button4.Caption:='D14 = '+StrF;
    Panel6.Caption:='D14 = '+StrF;
    end;
4: begin
    D15:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D15);
    Button4.Caption:='D15 = '+StrF;
    Panel8.Caption:='D15 = '+StrF;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=3 then {K}
    begin
        case IndK of
1: begin
            K1n:=ScrollPos;
            Str(Round(K1n),StrF);
            Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
            Str(K1n,StD);
            Str(V1,StC);
            Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
            end;
2: begin
            K2n:=ScrollPos;

```

```

    Str(Round(K2n),StrF);
    Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
    Str(K2n,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    K3n:=ScrollPos;
    Str(Round(K3n),StrF);
    Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    Str(K3n,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
4: begin
    K4n:=ScrollPos;
    Str(Round(K4n),StrF);
    Button5.Caption:='K4 = '+StrF;
    Str(K4n,StD);
    Str(V4,StC);
    Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
    end;
5: begin
    K5n:=ScrollPos;
    Str(Round(K5n),StrF);
    Button5.Caption:='K5 = '+StrF;
    Str(K5n,StD);
    Str(V5,StC);
    Panel16.Caption:='5 K5='+StD+' V5='+StC;
    end;
    end;
    end;
if IndScroll=4 then {V}
    begin

```

```

case IndV of
1: begin
    V1:=ScrollPos;
    Str(Round(V1),StrF);
    Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
    Str(K1,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
end;
2: begin
    V2:=ScrollPos;
    Str(Round(V2),StrF);
    Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
    Str(K2,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
end;
3: begin
    V3:=ScrollPos;
    Str(Round(V3),StrF);
    Button6.Caption:='V3 = '+StrF;
    Str(K3,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
end;
4: begin
    V4:=ScrollPos;
    Str(Round(V4),StrF);
    Button6.Caption:='V4 = '+StrF;
    Str(K4,StD);
    Str(V4,StC);
    Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
end;
5: begin

```

```

V5:=ScrollPos;
Str(Round(V5),StrF);
Button6.Caption:='V5 = '+StrF;
Str(K5,StD);
Str(V5,StC);
Panel16.Caption:='5 K5='+StD+' V5='+StC;
end;
end;
end;

```

```

X1:=280; Y1:=255;
X2:=280+Round(D12*50*sin(alf12/57.3));
Y2:=255-Round(D12*50*cos(alf12/57.3));
X3:=280+Round(D13*50*sin(alf13/57.3));
Y3:=255-Round(D13*50*cos(alf13/57.3));
X4:=280+Round(D14*50*sin(alf14/57.3));
Y4:=255-Round(D14*50*cos(alf14/57.3));
X5:=280+Round(D15*50*sin(alf15/57.3));
Y5:=255-Round(D15*50*cos(alf15/57.3));

```

```

Ship5(ShowBmp,Image1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1n,X2,Y2,K2n,X3,Y3,K3n,X4,Y4,K4n,
X5,Y5,K5n,V1,V2,V3,V4,V5,0);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X2,Y2,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X3,Y3,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X4,Y4,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X5,Y5,RGB(100,140,100),1,0);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(100*sin(K1n/57.3)),
Y1-Round(100*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X2,Y2,X2+Round(100*sin(K2n/57.3)),
Y2-Round(100*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X3,Y3,X3+Round(100*sin(K3n/57.3)),

```

```

Y3-Round(100*cos(K3n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X4,Y4,X4+Round(100*sin(K4n/57.3)),
Y4-Round(100*cos(K4n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X5,Y5,X5+Round(100*sin(K5n/57.3)),
Y5-Round(100*cos(K5n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K4n),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
if Dmin14<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

```



```

KotVot(Round(K1n),Round(K5n),Round(V1),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin15:=Abs(D15*sin((alf15-Kot)/57.3));
if Dmin15<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

```

```

alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

```

```

alf24:=Pelg(X4-X2,Y2-Y4);
D24:=Distn((X2-280)/50-(X4-280)/50,(Y2-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf24),StD);
StF:=FloatToStr(D24);
Panel14.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K4n),Round(V2),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin24:=Abs(D24*sin((alf24-Kot)/57.3));

```

```

alf25:=Pelg(X5-X2,Y2-Y5);
D25:=Distn((X2-280)/50-(X5-280)/50,(Y2-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf25),StD);
StF:=FloatToStr(D25);
Panel17.Caption:='A25='+StD+' D25='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K5n),Round(V2),Round(V5),Kot,Vot);

```

```

Dmin25:=Abs(D25*sin((alf25-Kot)/57.3));

alf34:=Pelg(X4-X3,Y3-Y4);
D34:=Distn((X3-280)/50-(X4-280)/50,(Y3-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf34),StD);
StF:=FloatToStr(D34);;
Panel12.Caption:='A34='+StD+' D34='+StF;
KotVot(Round(K3n),Round(K4n),Round(V3),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin34:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin34);
Panel22.Caption:='Dmin34 = '+StD;

alf35:=Pelg(X5-X3,Y3-Y5);
D35:=Distn((X3-280)/50-(X5-280)/50,(Y3-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf35),StD);
StF:=FloatToStr(D35);;
Panel18.Caption:='A35='+StD+' D35='+StF;
KotVot(Round(K3n),Round(K5n),Round(V3),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin35:=Abs(D35*sin((alf35-Kot)/57.3));

alf45:=Pelg(X5-X4,Y4-Y5);
D45:=Distn((X4-280)/50-(X5-280)/50,(Y4-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf45),StD);
StF:=FloatToStr(D45);;
Panel19.Caption:='A45='+StD+' D45='+StF;
KotVot(Round(K4n),Round(K5n),Round(V4),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin45:=Abs(D45*sin((alf45-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin45);
Panel23.Caption:='Dmin45 = '+StD;
end;
    end; {case} *)
end;

```

```

if IndOK=2 then
begin
case IndVes of
1: begin
if IndScroll=1 then
begin
K1:=ScrollPos;
Str(Round(K1),StrF);
Button3.Caption:='K1 = '+StrF;
end;
if IndScroll=2 then
begin
K2:=ScrollPos;
Str(Round(K2),StrF);
Button4.Caption:='K2 = '+StrF;
end;

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
ShowBmp.Canvas,Rect(70,5,670,510));

Xn:=Round(237+K2*0.65);
Yn:=Round(371-K1*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,488{371},RGB(250,20,20),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(20,180,20),1,0);
Xcr:=Xn; Ycr:=Yn;

if K1>180 then
begin
Yn:=Round(488-(K1-180)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,210,150),1,0);
end
else
begin
Yn:=Round(20+(180-K1)*0.65);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,210,150),1,0);
end;

if K2>180 then
begin
Xn:=Round(120+(K2-180)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,488{371},RGB(250,150,150),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(587-(180-K2)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,488{371},RGB(250,150,150),1,0);
end;

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Brush.Style:=bsClear;
KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(515,455,'Dmin= '+StF);
Pen.Mode:=pmMask;
Pen.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,185));
Ellipse(Xcr-7,Ycr-7,Xcr+7,Ycr+7);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xcr-20,Ycr,Xcr+20,Ycr,RGB(10,10,10),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xcr,Ycr-20,Xcr,Ycr+20,RGB(10,10,10),1,0);
Pen.Mode:=pmCopy;
end;

if K1>K1n then Str(Abs(K1-K1n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K1-K1n)),StF);
Panel3.Caption:='DeltK1= '+StF;

```

```

ColorLine>ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(10,210,10),1,0);
if K2>K2n then Str(Abs(K2-K2n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K2-K2n)),StF);
Panel4.Caption:='DeltK2= '+StF;
end;

```

```

2: begin
  if IndScroll=1 then
    begin
      K1:=ScrollPos;
      Str(Round(K1),StrF);
      Button3.Caption:='K1 = '+StrF;
    end;
  if IndScroll=2 then
    begin
      K2:=ScrollPos;
      Str(Round(K2),StrF);
      Button4.Caption:='K2 = '+StrF;
    end;
  if IndScroll=3 then
    begin
      K3:=ScrollPos;
      Str(Round(K3),StrF);
      Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    end;

```

```

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
ShowBmp.Canvas,Rect(70,5,670,510));

```

```

Yn:=Round(194-0.5*K1*0.65);
ColorLine>ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(10,210,10),1,0);
Xn:=Round(412+0.5*K2*0.65);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,253,RGB(250,10,10),1,0);
Yn:=Round(430-0.5*K2*0.65);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(250,10,10),1,0);
Xn:=Round(412+0.5*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,253,Xn,488,RGB(10,10,250),1,0);
Xn:=Round(180+0.5*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,253,RGB(10,10,250),1,0);

if K1>180 then
begin
Yn:=Round(253-(K1-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,210,150),1,0);
end
else
begin
Yn:=Round(20+(180-K1)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,210,150),1,0);
end;

if K2>180 then
begin
Xn:=Round(353+(K2-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(250,150,150),1,0);
Yn:=Round(488-(K2-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(250,150,150),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(587-(180-K2)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(250,150,150),1,0);
Yn:=Round(253+(180-K2)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(250,150,150),1,0);
end;

if K3>180 then

```

```

begin
Xn:=Round(120+(K3-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(150,150,250),1,0);
Xn:=Round(353+(K3-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,253{137},Xn,488{371},RGB(150,150,250),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(353-(180-K3)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(150,150,250),1,0);
Xn:=Round(587-(180-K3)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,253{137},Xn,488{371},RGB(150,150,250),1,0);
end;

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Brush.Style:=bsClear;
KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(361,225,'Dmin12= '+StF);

KotVot(K1,K3,V1,V3,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(130,225,'Dmin13= '+StF);

KotVot(K2,K3,V2,V3,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(361,455,'Dmin23= '+StF);
end;

```

```

if K1>K1n then Str(Abs(K1-K1n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K1-K1n)),StF);
Panel3.Caption:='DeltK1= '+StF;

```

```

if K2>K2n then Str(Abs(K2-K2n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K2-K2n)),StF);
Panel4.Caption:='DeltK2= '+StF;

```

```

if K3>K3n then Str(Abs(K3-K3n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K3-K3n)),StF);
Panel5.Caption:='DeltK1= '+StF;
end;

```

```

3: begin

```

```

  if IndScroll=1 then
    begin
      K1:=ScrollPos;
      Str(Round(K1),StrF);
      Button3.Caption:='K1 = '+StrF;
    end;

```

```

  if IndScroll=2 then
    begin
      K2:=ScrollPos;
      Str(Round(K2),StrF);
      Button4.Caption:='K2 = '+StrF;
    end;

```

```

  if IndScroll=3 then
    begin
      K3:=ScrollPos;
      Str(Round(K3),StrF);
      Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    end;

```

```

  if IndScroll=4 then
    begin

```



```

K4:=ScrollPos;
Str(Round(K4),StrF);
Button6.Caption:='K4 = '+StrF;
end;

```

```

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(45,50,660,460),
ShowBmp.Canvas,Rect(45,50,660,460));

```

```

Yn:=Round(204-0.423*K1*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,646,Yn,RGB(10,200,10),1,0);
Xn:=Round(103+0.423*K2*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,255{452},RGB(250,10,10),1,0);
Yn:=Round(403-0.423*K2*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,449,Yn,646,Yn,RGB(250,10,10),1,0);
Xn:=Round(301+0.423*K2*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,255{57},Xn,452,RGB(10,10,250),1,0);
Xn:=Round(103+0.423*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,255,Xn,452,RGB(10,10,250),1,0);
Xn:=Round(301+0.423*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(10,10,250),1,0);
Yn:=Round(403-0.423*K2{K3}*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,251,Yn,RGB(10,10,250),1,0);
Xn:=Round(499+0.423*K4*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,10,250),1,0);
Yn:=Round(403-0.423*K4*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,251,Yn,449,Yn,RGB(250,10,250),1,0);

```

```

if K1>180 then

```

```

begin

```

```

Yn:=Round(255-(K1-180)*0.65*0.423);

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,646,Yn,RGB(150,200,150),1,0);

```

```

end

```

```

else

```

```

begin

```

```

Yn:=Round(57+(180-K1)*0.65*0.423);
ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,646,Yn,RGB(150,200,150),1,0);
end;

if K2>180 then
begin
Xn:=Round(53+(K2-180)*0.65*0.423);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,150),1,0);
Yn:=Round(453-0.423*(K2-180)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,449,Yn,646,Yn,RGB(250,150,150),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(251-(180-K2)*0.65*0.423);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,150),1,0);
Yn:=Round(256+0.423*(180-K2)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,449,Yn,646,Yn,RGB(250,150,150),1,0);
end;

if K3>180 then
begin
Xn:=Round(251+(K3-180)*0.65*0.423);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(150,150,250),1,0);
Yn:=Round(453-0.423*(K3-180)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,53,Yn,251,Yn,RGB(150,150,250),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(449-(180-K3)*0.65*0.423);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(150,150,250),1,0);
Yn:=Round(256+0.423*(180-K3)*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,53,Yn,251,Yn,RGB(150,150,250),1,0);
end;

```

```

if K4>180 then
begin
Xn:=Round(449+(K4-180)*0.65*0.423);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,250),1,0);
Yn:=Round(453-0.423*(K4-180)*0.65);
ColorLine>ShowBmp,Image1,251,Yn,449,Yn,RGB(250,150,250),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(646-(180-K4)*0.65*0.423);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,250),1,0);
Yn:=Round(256+0.423*(180-K4)*0.65);
ColorLine>ShowBmp,Image1,251,Yn,449,Yn,RGB(250,150,250),1,0);
end;

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Brush.Style:=bsClear;
KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(59,232,'Dmin12= '+StF);

KotVot(K1,K3,V1,V3,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(258,232,'Dmin13= '+StF);

KotVot(K1,K4,V1,V4,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(456,232,'Dmin14= '+StF);

```

```

KotVot(K3,K2,V3,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(59,428,'Dmin23= '+StF);

KotVot(K3,K4,V3,V4,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(258,428,'Dmin34= '+StF);

KotVot(K2,K4,V2,V4,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D24*sin((alf24-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(456,428,'Dmin24= '+StF);
end;
end;
end;      { case }
end;
end;
end.

```

ДОДАТОК Б.

Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації

1. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / Ворохобин И.И., Казак Ю.В., **Северин В.В.** – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. - 239 с.
2. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 40-47.
3. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 34 – 39.
4. Северин В. В. Стохастическая характеристика бокового отклонения судна при проводке по заданному маршруту / Северин В. В., Казак Ю. В. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ"ОМА". – С. 92 – 96.
5. Казак Ю. В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / Казак Ю. В., **Северин В. В.** // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ"ОМА". – С. 37 – 43.
6. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 56 - 59.

7. Ворохобин И.И. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 71 – 76.

8. Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом/ Северин В.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 196 – 201.

9. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной погрешности поворота судна / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 3 (84). – С. 65 - 69.

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

11. Астайкин Д.В. Сравнение способов оценки безопасности плавания в стесненных районах /Астайкин Д.В., **Северин В.В.**, Казак Ю.В.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 31-39.

12. Казак Ю.В. Опеделение величины векториальной погрешности поворота судна / Казак Ю.В., **Северин В.В.** // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-37.

13. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / Северин В.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 94 -98.

14. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.** // Проблемы техники: Науково-виробничий журнал. - 2014.- № 4 . - С. 119 - 126.

15. Ворохобин И.И. Определение вероятности обеспечения безаварийного плавания судов в стесненных районах / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. //Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 18-19 листопада 2014, Одеса. – С. 160-162.

16. Ворохобин И.И. Определение закона распределения бокового отклонения судна / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Материалы научно-методологической конференции „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні”, - 19-20 листопада 2015, Одеса. – С. 117-119.

17. Ворохобин И.И. Связь плотности погрешности бокового отклонения с плотностью векториальной позиционной погрешности/ Ворохобин И.И., **Северин В. В.** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 58–59.

18. Северин В. В. Оценка вероятности проводки судна стесненным маршрутом альтернативными моделями / Северин В. В. // Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 119 - 121.

19. Ворохобин И.И. Формирование процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных районах/ Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Материалы VII Международной научно-методологической конференции „Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)”, - 26-28 мая 2015, Херсон. – С. 99-102.

20. Северин В.В. Определение закона распределения бокового отклонения судна / Северин В.В., Казак Ю.В.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 139–142.

21. Северин В.В. Характеристики допустимой области плавания судна в стесненном районе/ Северин В.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 133–136.

22. Ворохобин И.И. Векториальная погрешность и ее плотность распределения / Ворохобин И.И., **Северин В.В.**, Казак Ю.В. // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции с международным участием. 17-18 мая 2017 г., Николаев, НУК, 2017,- С. 25 – 27.

3. Відомості про апробацію результатів дисертації.

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

VI Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)» (Херсон, 26-28 травня 2015 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), науково-методологічна конференція „Морські

перевезення та інформаційні технології в судноплавстві” (Одеса, 18-19 листопаду 2014 р.), науково-методологічна конференція „Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві” (Одеса, 19-20 листопаду 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 листопаду 2017 р.).

ДОДАТОК В.

Акти упровадження результатів дисертації

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в приватному вищому учбовому закладі «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» одержали упровадження в учбовий процес спосіб зниження траскторної похибки повороту судна з урахуванням його динаміки та метод відображення навігаційної ситуації на електронній карті, які розроблені в дисертаційній роботі Северіна Віталія Віталійовича на тему „Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом”.

Директор

Інституту післядипломної освіти

«Одеський морський тренажерний центр»,

к. т. н., професор

5.09.2018 р.




Пашенко Ю.В.

А К Т ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в компанії CMA SHIPS одержали впровадження метод мінімізації траєкторної похибки повороту судна, який запропонований в дисертаційній роботі Северіна Віталія Віталійовича на тему „Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності провідки судна стислим маршрутом”.

Метод викладається при перепідготовці судноводіїв компанії.

Директор представительства
компанії CMA SHIPS в Україні, к.т.н., доцент, к.д.п. **Тюпиков Є.Є.**



9.09.2018 г.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор НУ „ОМА”

професор Шемякін О.М.

(П.І.Б.)

«17» 09 2018 р.

А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи здобувача Северіна Віталія Віталійовича на тему „Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом” у навчальному процесі університету

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Пархоменко М. М., декан судноводійного факультету д. т. н., професор Цимбал М. М. і завідуючий кафедрою Управління судном к. т. н., доцент Бурмака І. О. склали цей акт в тому, що результати кандидатської дисертації здобувача Северіна Віталія Віталійовича на тему „Розробка способу оцінки залежності безпеки судноводіння від точності проводки судна стислим маршрутом” впроваджені у навчальний процес на кафедрі Управління судном в дисципліні “Маневрування і управління судном”.

Начальник навчального
відділу

Пархоменко М. М.

Декан судноводійного факультету,
д. т. н., професор

Цимбал М. М.

Завідуючий кафедрою Управління судном,
к. т. н., доцент

Бурмака І.О.