

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Петриченко Ольга Олександрівна



УДК 656.61.052

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПЕРАТИВНОГО ВИБОРУ МАНЕВРУ
РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН ПРИ ПЛАВАННІ В СТИСЛИХ ВОДАХ**

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Цимбал Микола Миколайович,
директор навчально наукового інституту навігації Національного університету «Одеська морська академія»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Тихонов Ілля Валентинович, старший науковий співробітник, в.о. начальника Київської дільниці водних шляхів філії «Днопоглиблювальний флот» ДП «Адміністрація морських портів України» Міністерства інфраструктури України, м. Київ

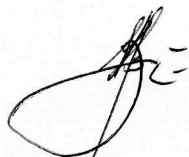
кандидат технічних наук, доцент
Товстокорий Олег Миколайович,
завідувач кафедри управління судном Херсонської державної морської академії Міністерства освіти і науки України, м. Херсон.

Захист відбудеться 28.04.2021 р. о 14:30 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 у Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп.2, та за електронною адресою:
<http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 26.03.2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



В. В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Неухильне зростання світового населення і його потреб ставить перед світовою спільнотою нові споживчі виклики. Саме тому, обсяги перевезень, кількість і тоннаж світового флоту безперервно збільшуються, а тому збільшується негативний вплив на навколишнє середовище, майно та людське життя взагалі.

Не зважаючи на удосконалення навігаційних пристроїв, які використовуються для організації процесу маневрування, людина-оператор зберігає свою визначальну роль під час управління рухом судна. Інтенсивне судноплавство в умовах обмеженого простору ускладнюється, а навігаційні небезпеки створюють передумови виникнення різних надзвичайних ситуацій. Постійний контроль навколишньої ситуації потребує розробки оперативних методів оцінки небезпеки зближення та вибір безпечного маневру розходження. Це можливо лише за використання комп'ютерної техніки, та реалізації запропонованих методів запобігання зіткнення суден з використанням методів та способів математичного моделювання. Тому актуальність теми роботи, а саме розробка способів управління суднами в ситуації небезпечного зближення в стислих водах, є перспективним науковим напрямом роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Виконання роботи проводилося згідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), а також в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ГР 0115U003580, 2018 р.), в якій здобувачу належить окремий підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення безпеки судноводіння процесу розходження суден за рахунок розробки оперативного методу вибору маневру розходження з використанням областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення судна та його виходу на попередню програмну траєкторію руху шляхом вдосконалення методів локально-незалежного управління. Головна задача дослідження полягає в розробці алгоритмів і програми визначення параметрів маневру розходження суден з використанням областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію.

Наукова гіпотеза дисертаційного дослідження полягає у допущенні про можливість підвищення оперативності і коректності визначення параметрів

оптимального маневру розходження суден під час їх локального-незалежного управління шляхом використання областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію.

Для вирішення головної задачі дисертації методами теорії дослідження операцій було проведено її розділення на три незалежні складові задачі:

1. Формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху.

2. Процедура комп'ютерного відображення сформованих областей для вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження.

3. Розробка методу вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт.

Об'єктом дослідження дисертації є процес розходження суден в стислих водах.

Предметом дослідження є методи оперативного вибору оптимального маневру для розходження в стислих водах.

Методи дослідження. Для рішення поставлених в роботі задач було використано наступні методи:

- системного аналізу під час визначення теми дисертаційного дослідження та його методологічного забезпечення;
- дослідження операцій для декомпозиції головної задачі дисертації на декілька незалежних складових задач;
- теоретичної механіки для формалізації руху судна;
- математичного аналізу для розв'язання рівнянь руху судна в залежності від керуючих сигналів;
- аналітичної геометрії для формування меж області неприпустимих параметрів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці нового методу оперативного визначення параметрів маневру розходження судна, що має комп'ютерну реалізацію і відрізняється застосуванням областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху;
- вперше запропоновано метод комп'ютерного відображення сформованих областей для вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження;
- отримано процедуру вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості упровадження його результатів на судна для попередження зіткнень, а також у використанні розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для розходження судна в ситуаціях небезпечного зближення.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені компанією ДП «СМА ШИПС Україна» та компанією «UNITEAM MARINE» для перепідготовки судноводіїв компанії (акти впровадження від 10.02.2020 р. та 13.02.2020 відповідно). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Судноводіння та електронних навігаційних систем» в розділах забезпечення безпеки маневрування судном ХДМА (акт від 05.03.2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана дисертантом самостійно: проведено аналіз основних напрямків проблеми забезпечення безпеки судноводіння, здійснено методологічне забезпечення дослідження по темі дисертаційної роботи, розроблено спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію, також розроблені алгоритми комп'ютерного відображення сформованих областей для вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження, здобувачем запропоновано метод вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт та впроваджено результати роботи в виробничий процес. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертаційній роботі використані лише ті положення, які належать автору особисто: формалізація процедури розходження з двома цілями послідовними ухиленнями [2], схема способу послідовного розходження з двома небезпечними цілями [3], розробка модуля розрахунку маневру розходження суднової інформаційної системи попередження зіткнень [4], аналітичний опис способу оперативного визначення параметрів маневру розходження [6].

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

науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 16-17 листопада 2017 р.), науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 15-16 листопада 2018 р.), X Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018)» (Херсон, 29-31 травня 2018 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 9 наукових праць (з них 5 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 2 наукові статті [3, 4]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [1, 2, 5, 6]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 3 доповіді [7-9].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (132 найменування) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 232 сторінки та містить 114 рисунків, зокрема: 173 сторінки основного тексту, 15 сторінок списку використаних джерел, 44 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, зв'язок теми дисертації із програмами наукових досліджень університету, приведено формулювання мети дисертації, визначено його головну задачу, яку розділено на незалежні складові задачі, сформульовано наукову новизну дисертаційного дослідження, а також розглянуто практичне значення роботи.

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

Значний внесок в теорію і практику рішення проблем забезпечення безпеки судноводіння зробили вітчизняні вчені Аксютін Л.Р., Воробйов Ю.Л., Вагущенко Л.Л., Кондрашихін В.Т., Мальцев А.С., Цимбал М.М. та іноземні вчені Фрейдзон І.Р., Hornauer S., Lisowski J., Statheros T..

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

У **другому розділі** обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження і проведено його методологічне забезпечення.

Методами системного підходу сформовано технологічну карту дисертаційного дослідження, в якій сформульовані мета, головна задача дисертаційного дослідження, робоча гіпотеза та визначено об'єкт і предмет дисертації. За допомогою методів теорії дослідження операцій було проведено декомпозицію головної задачі дисертації на складові незалежні задачі.

Третій розділ містить матеріали і методи, необхідні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження, в ньому приведені аналітичні

вирази, що зв'язують параметри відносного і істинного руху пари суден. Показано, що значення істинного курсу базового судна, якщо заданий відносний курс і параметри руху цілі залежить від співвідношення швидкостей судна і цілі.

Розглянуто стратегії розходження судна і їх характеристики в ситуації небезпечного зближення з цілю. Приведена оцінка рівня небезпеки зближення суден за допомогою ситуативного збурення. Показано, що стратегії розходження судна залежно від значення ситуативного збурення відносяться до стандартних стратегій або стратегій екстреного розходження. Стандартні стратегії містять дві ділянки і розрізняються ухиленням управо і ухиленням вліво. Структура стратегій екстреної розходження залежить від поведінки цілі в процесі зближення і на чолі приведені чотири типи стратегій екстреного розходження. Розглянуті в розділі стратегії описують весь процес розходження з моменту часу початку ухилення з програмної траєкторії розходження до моменту часу повернення на неї після розходження з цілю.

Оскільки для розходження необхідно встановити наявність ситуативного збурення і у разі потреби вибрати курс ухилення, то в розділі розглянута процедура формування області неприпустимих значень параметрів руху судна за різних співвідношеннях швидкостей судна і цілі. Показаний вибір оптимального значення курсу ухилення, якщо дистанція найкоротшого зближення судна з цілю рівна величині гранично - допустимої дистанції.

Приведений короткий опис шляху рішення головної задачі дисертаційного дослідження вибору безпечного маневру розходження за допомогою електронної карти шляхом відображення на ній планованих ділянок траєкторії розходження.

Таким чином, у розділі розглянуто матеріали і методи, необхідні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження та приведено короткий опис шляху рішення головної задачі дисертаційного дослідження вибору безпечного маневру розходження за допомогою електронної карти.

Матеріали розділу опубліковано в роботі [8].

У **четвертому розділі** розроблено спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху та процедуру комп'ютерного відображення сформованих областей для вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження, чому присвячені перша та друга складові задачі дисертаційного дослідження.

Для розрахунку меж областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху було одержано аналітичні вирази визначення параметрів ухилення та виходу судна, що маневрує.

Показано, що з урахуванням інерційності судна момент часу початку повороту ухилення t_y визначається виразом:

$$t_y = \tilde{t}_y - \frac{\Delta_y(\Delta\xi_0 \cos \tilde{K}_{oty} - \Delta\eta_0 \sin \tilde{K}_{oty}) + V_c \tau_y \sin(\tilde{K}_{oty} - K_c)}{V_{otn} \sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})},$$

де τ_y – тривалість повороту ухилення судна;

Δ_y - показник курс ухилення;

$\Delta\xi_0$ і $\Delta\eta_0$ – приріст координат базового судна за час повороту τ_y ;

V_{otn} и K_{otn} - початкові відносні швидкість і курс;

\tilde{K}_{oty} - відносний курс ухилення;

K_c – курс цілі.

В останньому виразі:

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

де α і D - пеленг та дистанція до цілі;

D_d - гранично - допустима дистанція.

Для кінематичної моделі обертального руху судна з постійною кутовою швидкістю a_ω величини τ_y , $\Delta\xi_0$ і $\Delta\eta_0$ визначаються виразами:

$$\tau_y = \left| \frac{K_y - K_0}{a_\omega} \right|,$$

$$\Delta\xi_0(\tau_y) = \frac{V_0}{a_\omega} (\cos K_0 - \cos K_y), \quad \Delta\eta_0(\tau_y) = \frac{V_0}{a_\omega} (\sin K_y - \sin K_0).$$

Момент часу t_{b*} повороту судна з курсу ухилення на курс виходу визначається виразом:

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

де K_{otb} - відносний курс виходу;

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

V_{oty} – відносна швидкість на ділянці виходу.

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

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

де Δt_b виражається таким чином:

$$\Delta t_b = \frac{\Delta_b(\Delta\eta_0 \sin K_{otb} - \Delta\xi_0 \cos K_{otb}) + V_c \tau_b \sin(\tilde{K}_{otb} - K_c)}{V_{oty} \sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})}.$$

Тривалість повороту τ_b і приріст координат розраховуються таким чином:

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

$$\Delta\xi_0(\tau_b) = \frac{V_0}{a_\omega} (\cos K_y - \cos K_b), \quad \Delta\eta_0(\tau_b) = \frac{V_0}{a_\omega} (\sin K_b - \sin K_y).$$

Вираз для розрахунку моментів часу повороту t_{kn} на програмну траєкторію руху судна:

$$t_{kn} = t_b + \frac{L_p}{V_0 |\sin(K_b - K_k)|} - \Delta t_k,$$

де $L_p = \delta_y V_0 (t_b - t_y) \sin(K_y - K_0)$;

$$\Delta t_k = \frac{l_2}{V_0 |\sin(K_b - K_k)|},$$

$$l_2 = \delta_y [\Delta\xi_0^2(\tau_k) + \Delta\eta_0^2(\tau_k)]^{1/2} \sin \varepsilon,$$

$$\varepsilon = \arctg[\Delta\eta_0(\tau_k)/\Delta\xi_0(\tau_k)] - K_k,$$

τ_k – тривалість повороту судна.

Тривалість повороту τ_k і приріст координат розраховуються за допомогою формул:

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

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

У разі, коли швидкість судна менше швидкості цілі, тобто $V_o < V_c$, відносна траєкторія розходження може приймати чотири форми, причому для такої ситуації в разі реалізації третьої та четвертої форм поправка часу Δt_b повороту судна з курсу ухилення на курс виходу (рис. 1):

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

де $\text{cmk} = \pm 1$, а знак визначається співвідношенням знаків δ_y , Δ_y і Δ_b .

В роботі показано, що для довільного моменту часу початку ухилення судна t_y відносні курси ухилення управо K_{otys} і вліво K_{otyp} визначаються виразами:

$$K_{otys} = \alpha_y + \frac{D_d}{D_y}, \quad K_{otyp} = \alpha_y - \frac{D_d}{D_y}.$$

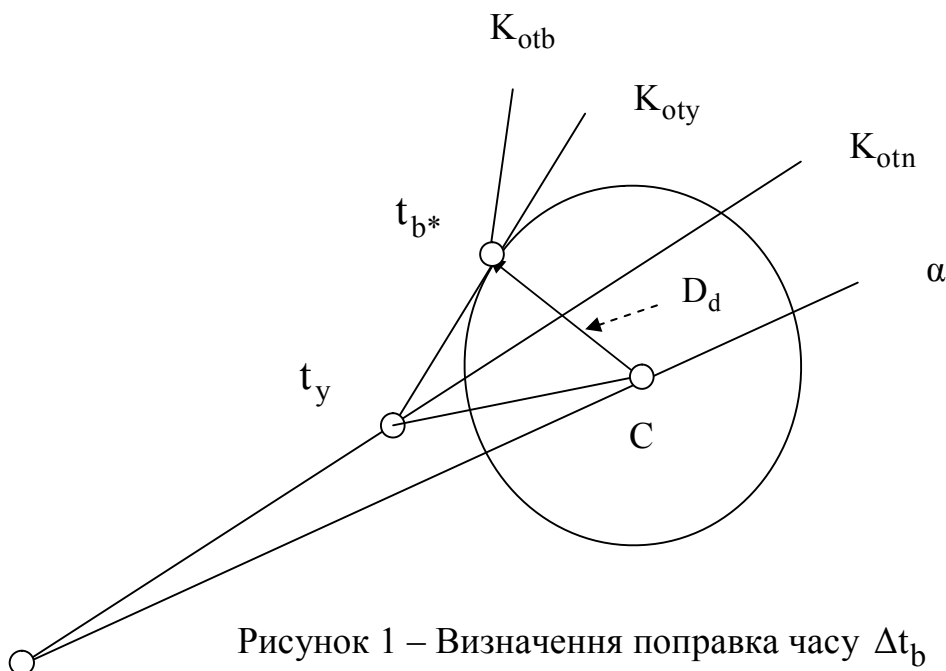


Рисунок 1 – Визначення поправка часу Δt_b

Вирази для розрахунку значень дистанції D_y і пеленга α_y на момент часу t_y мають вигляд:

$$D_y = \sqrt{V_{ot}^2 t_y^2 + D^2 - 2DV_{ot} t_y \cos(K_{ot} - \alpha)}, \quad \alpha_y = K_{ot} + \arcsin \frac{D_d}{D_y}.$$

З набутих значень K_{otys} і K_{otyp} визначаються істинні курси ухилення:

$$K_{ys} = K_{otys} + \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - K_{otys})],$$

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

Вирази залежності курсів ухилення K_{ys} і K_{yp} від часу t_y являються межами G_{ys} і G_{yp} на площині $K_y \times t_y$, що розділяють її на дві частини: допустимих поєднань, як крапок, (t_y, K_y) , для яких дистанція найкоротшого зближення D_{min} перевершує гранично - допустиму дистанцію D_d , тобто $D_{min} > D_d$, і неприпустимих крапок, для яких $D_{min} < D_d$. Область крапок (t_y, K_y) між межами G_{ys} і G_{yp} є областю $Q_{K,ty}$ неприпустимих значень параметрів ухилення (t_y, K_y) , як показано на рис. 2.

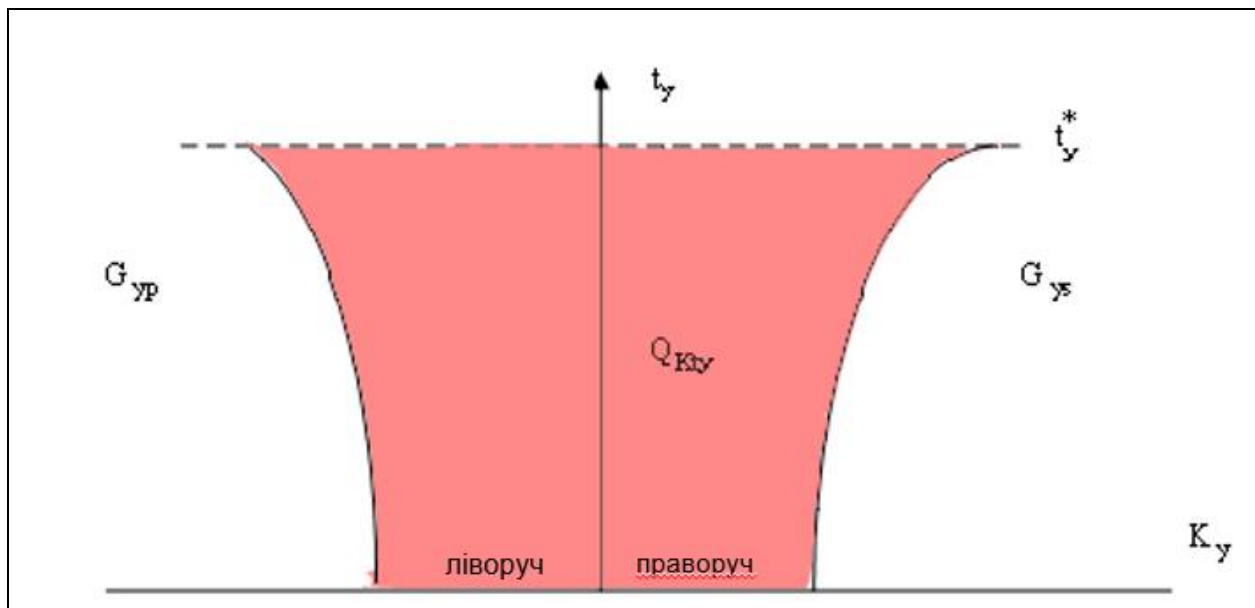


Рисунок 2 – Область $Q_{K,ty}$ неприпустимих[значень параметрів ухилення

Відзначимо, що момент часу ухилення t_y змінюється від 0 до t_y^* . Причому верхня межа часу t_y^* визначається залежно від співвідношення швидкостей судна V_o цілі V_c . Так, у разі переваги швидкості судна над швидкістю цілі, тобто $V_o > V_c$, верхня межа моменту часу t_y^* визначається моментом часу, коли судно досягає межі кола з радіусом D_d .

Для формування області неприпустимих значень параметрів ухилення Q_{K,t_y} була розроблена комп'ютерна процедура інформаційної системи. Як приклад, розглянута ситуація небезпечного зближення судна з цілю, яка характеризується параметрами $D = 3$ милі, $\alpha = 88^\circ$, $K_o = 45^\circ$, $V_o = 23$ вузла, $K_c = 315^\circ$, $V_c = 20$ вузлів. За допомогою комп'ютерної процедури була сформована область неприпустимих значень параметрів ухилення, яка представлена на рис. 3. По осі абсцис нанесені значення курсів ухилення, а по осі ординат - значення часу ухилення t_y . Область Q_{K,t_y} розділена курсом $K_{y\alpha}$ на дві частини, причому курс $K_{y\alpha}$ відповідає відносному курсу, який рівний пеленгу на цілю. За визначенням на межах дистанція найкоротшого зближення рівна гранично – допустимій дистанції зближення, яка в даному прикладі вибрана рівній 1 милі.

Для прикладу крапка з параметрами ухилення $t_y = 123$ с і $K_y = 107^\circ$, яка показана на тому ж рис. 3, також належить правій межі G_{y_s} і забезпечує зближення судна з цілю на дистанцію $L_m = 1$ милі.

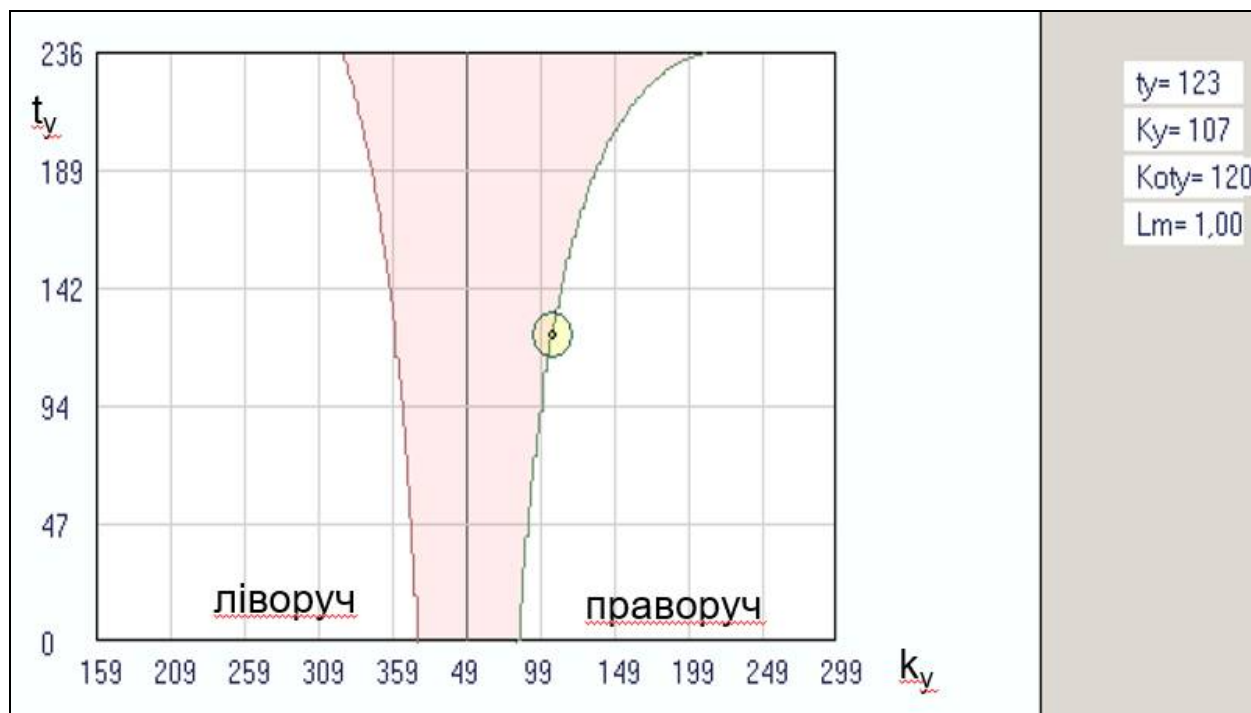


Рисунок 3 – Вибір параметрів ухилення $t_y = 123$ с і $K_y = 107^\circ$

Другим етапом стратегії розходження є вихід судна на задану траєкторію руху після ухилення. Причому на цьому етапі дистанція між судном і цілю також не повинна бути менше гранично - допустимої дистанції зближення. Параметрами виходу є курс K_b і час повороту t_b на цей курс. Як раніше було показано, курс виходу K_b залежить від початкового курсу судна, і K_b доцільно вибирати рівним $K_{bs} = K_o - 30^\circ$ під час ухилення судна управо і $K_{bp} = K_o + 30^\circ$ під час ухилення судна вліво. В роботі приведено вирази для моментів часу повороту t_{b*} на курс виходу під час ухилення судна вправо та вліво, якщо дистанція найкоротшого зближення рівна гранично - допустимій дистанції зближення D_d і показано, що момент часу t_{b*} за незмінного курсу виходу K_b є функцією курсу ухилення K_y . Тому доцільно розглянути область $Q_{K,tb}$ на площині $K_y \times t_b$, межі якої G_{bs} і G_{bp} розділяють значення параметрів K_y і t_b на безпечну і неприпустиму області, причому між межами знаходяться допустимі значення параметрів.

Для формування області $Q_{K,tb}$ допустимих значень параметрів K_y і t_b була розроблена комп'ютерна процедура, яка проводить розрахунок меж G_{bs} і G_{bp} , після чого виводить графічне відображення області $Q_{K,tb}$. На рис. 4 приведена область $Q_{K,tb}$ для раніше розглянутої ситуації небезпечного зближення, а вибір крапки на лівій межі області G_{bp} , що представлено на рис. 4, з параметрами $K_y = 328^\circ$ і $t_b = 997$ с забезпечує дистанцію найкоротшого зближення на етапі виходу $L_m = 1$ милі. Причому, якщо ухилення починається у момент часу $t_y = 230$ с, то найкоротше зближення на дистанцію 1 миля забезпечується як на етапі ухилення, так і на етапі виходу.

На закінчення розділу розроблена комп'ютерна процедура, яка дозволяє визначити залежність моментів часу t_b і t_k щодо вибраного курсу K_b з урахуванням сторони ухилення судна.

Таким чином, в четвертому розділі дисертації розроблено спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху і процедуру комп'ютерного відображення сформованих областей для вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 2, 3, 5, 6, 9].



Рисунок 4 – Область $Q_{K, tb}$ приведенного прикладу ситуації зближення

У **п'ятому розділі** розроблено метод вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт та приведено результати його імітаційного моделювання, що являється третьою складовою задачею дисертаційного дослідження.

В першому підрозділі описано імітаційну комп'ютерну програму, в якій передбачено можливість вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт.

Програма імітаційного моделювання складається з трьох модулів:

- вибору початкової ситуації небезпечного зближення і формування для неї області неприпустимих значень параметрів ухилення і області допустимих значень параметрів;

- визначення оптимальних параметрів розходження судна з відображенням на електронній карті істинної і відносної траєкторій розходження судна;

- імітаційного моделювання процесу розходження судна.

В розділі розглянуто вибір маневру розходження у відкритому морі, коли відсутня необхідність урахування навігаційних перешкод. Також розглянуто ситуації урахування навігаційних перешкод під час вибору маневру для безпечного розходження.

Як приклад розглянуто ситуацію небезпечного зближення, параметри якої і графічне відображення приведені на рис. 5.



Рисунок 5 – Ситуація небезпечного зближення

Області неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення Q_{K, t_y} та виходу судна на програмну траєкторію руху Q_{K, t_b} для приведеної ситуації небезпечного зближення показано рис. 6, на якому також зображено вибір маневру розходження з параметрами ухилення $t_y = 175$ с і $K_y = 151^\circ$. Як показано на рис. 7, вибраний маневр розходження є безпечним, так як істина траєкторія руху судна проходить мимо навігаційної перешкоди, а відносна траєкторія є дотичною до безпечної області цілі.

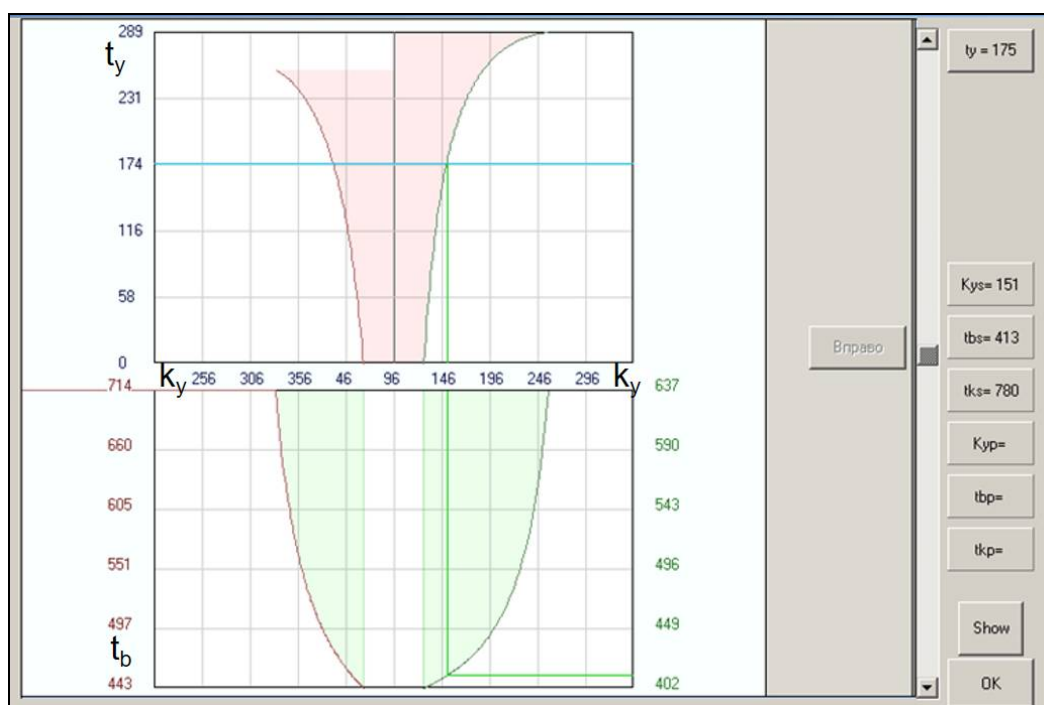


Рисунок 6 – Вибір маневру розходження в приведеній ситуації

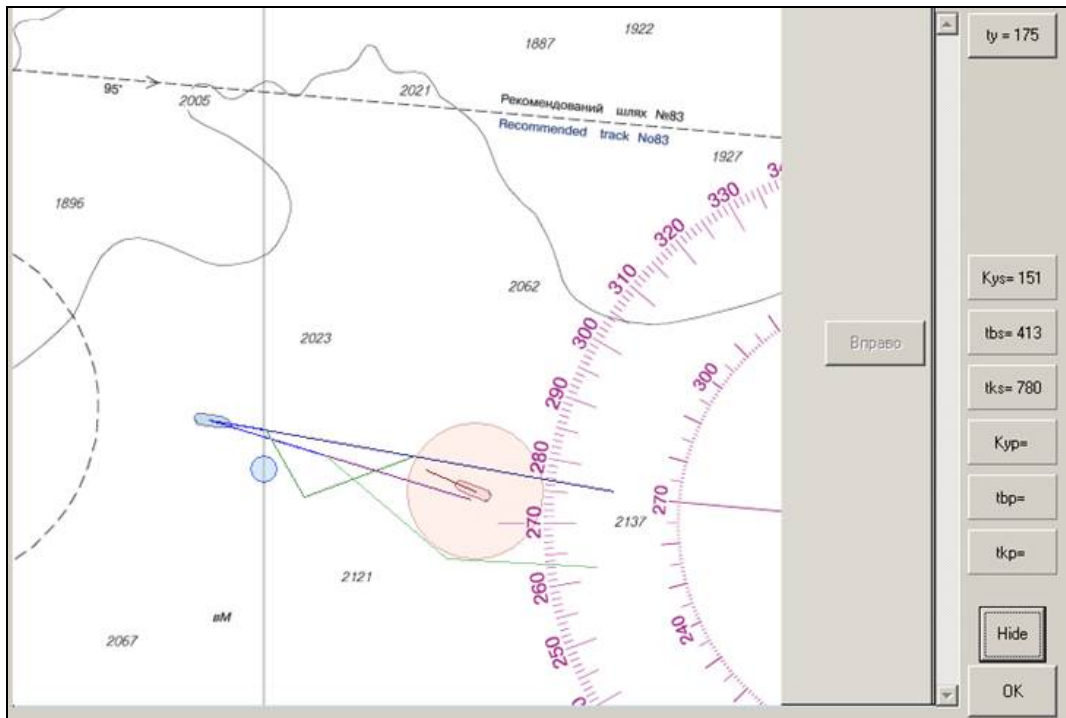


Рисунок 7 – Траєкторії розходження в розглянутій ситуації зближення

Результати імітаційного моделювання маневру розходження, параметри якого одержані за допомогою комп'ютерної імітаційної програми та значення яких $t_y = 175\text{с}$, $K_y = 151^\circ$, $t_b = 413\text{с}$, $K_b = 70^\circ$, $t_k = 780\text{с}$, представлені на рис. 8 - рис. 10. На рис. 8 показано процес розходження у момент часу 205с, коли відбувається завершення повороту ухилення судна на ділянку ухилення від небезпечної цілі. З рисунку видно, що істина траєкторія судна проходить в стороні від навігаційної перешкоди.

Поворот судна на ділянку виходу маневру розходження для повернення на програмну траєкторію руху, який проведено в момент часу 460с процесу розходження, представлено на рис. 9, в той же час має місце найкоротше зближення судна з цілю на дистанцію 1,02 милі, яка практично дорівнює вибраній гранично - допустимій дистанції, що дорівнює 1,00 милі.

На рис. 10 показано поворот судна на програмну траєкторію руху після завершення маневру розходження.

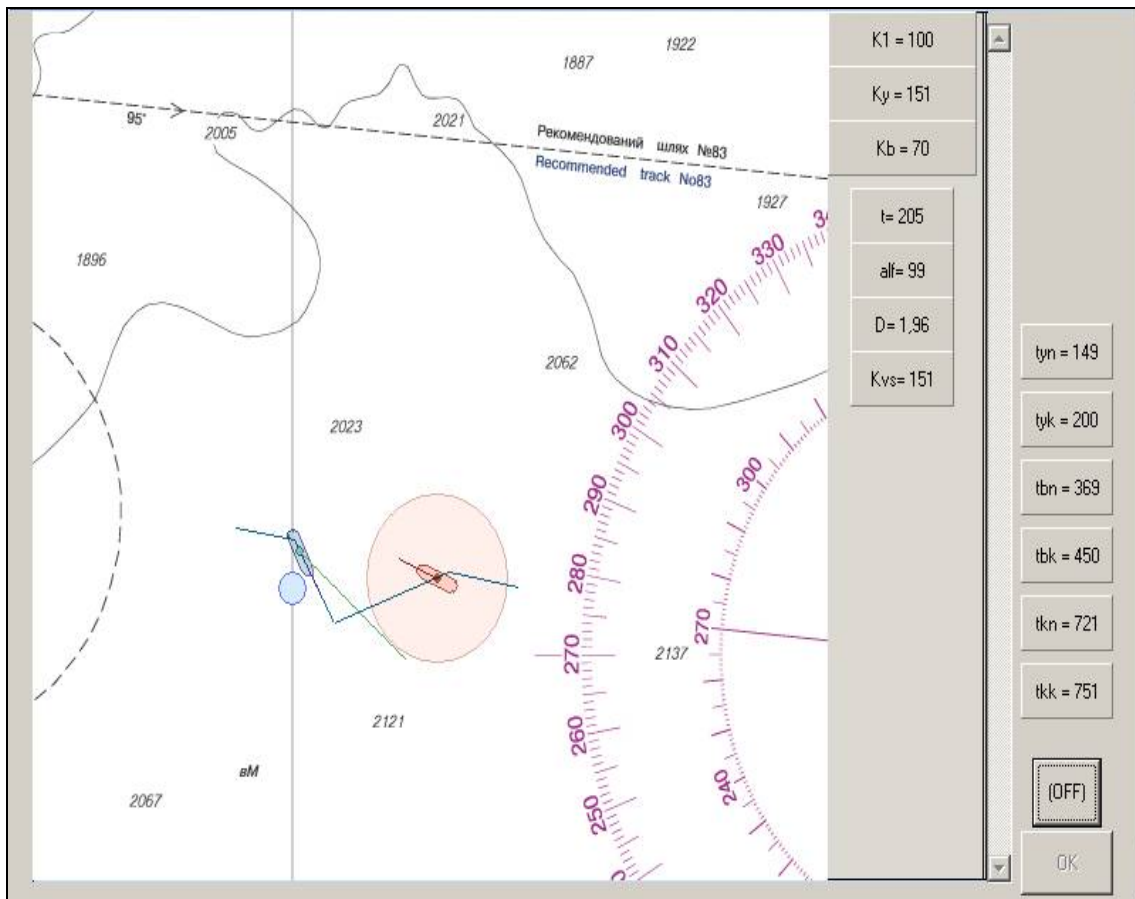


Рисунок 8 – Завершення повороту ухилення

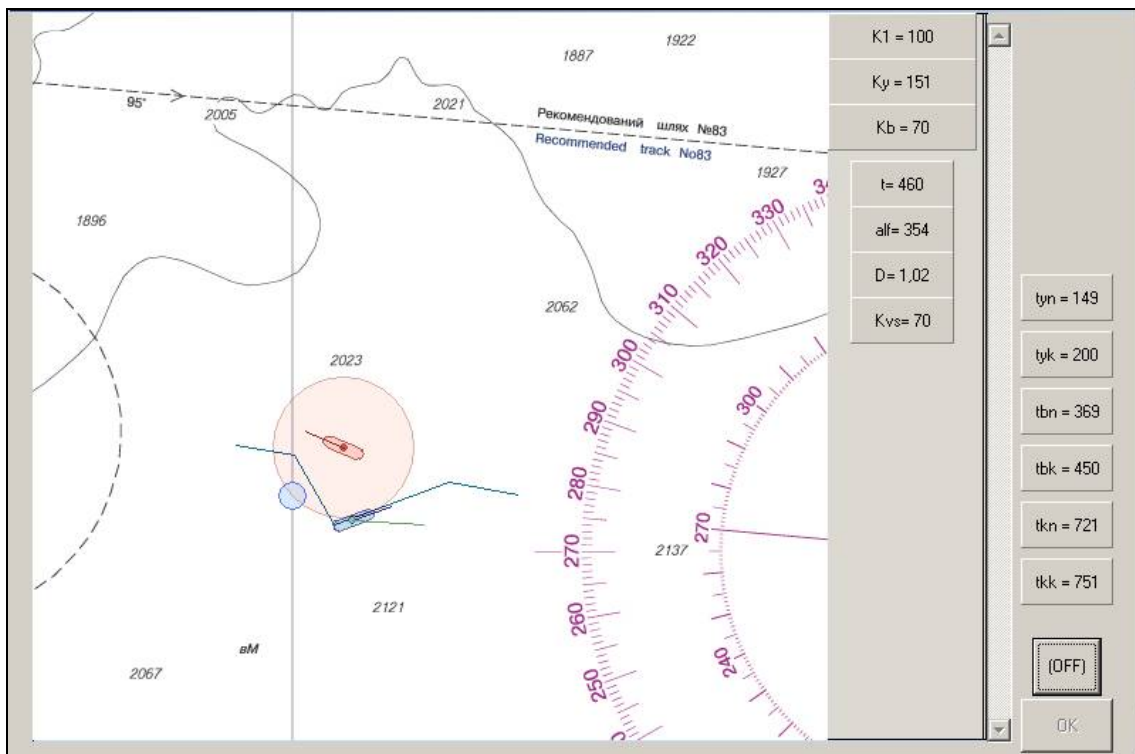


Рисунок 9 – Завершення повороту виходу

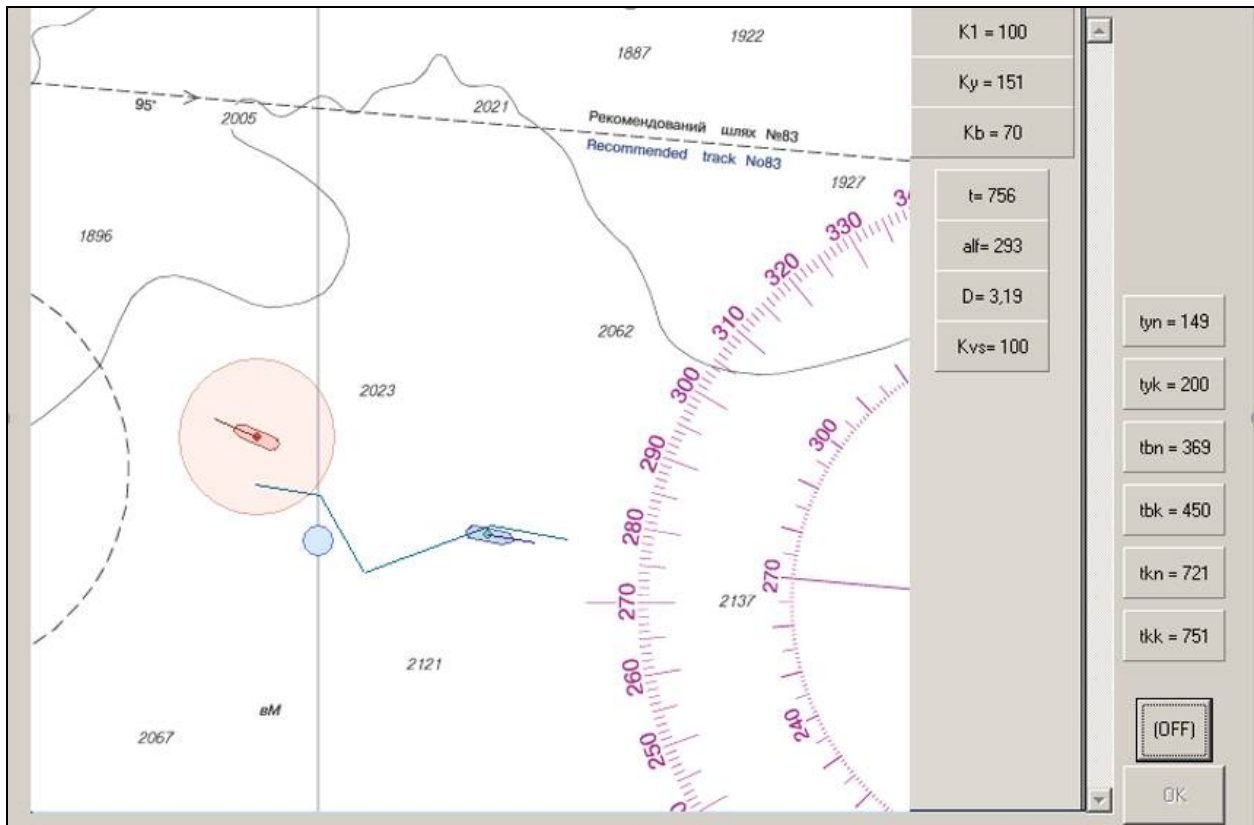


Рисунок 10 – Завершення повороту на програмну траєкторію руху

Таким чином, в розділі розглянуто метод вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт та приведено результати його імітаційного моделювання. Матеріали розділу опубліковано у роботах [4, 7].

ВИСНОВКИ

Навігаційні небезпеки ускладнюють інтенсивне судноплавство, особливо в стислих районах. Вони створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Для цих районів характерною є швидкоплинна зміна навігаційної ситуації. Контроль навігаційної ситуації потребує розробки оперативних методів оцінки небезпеки зближення та вибору безпечного маневру розходження, що можливо лише за комп'ютерної реалізації пропонуванних методів запобігання зіткнення суден.

У дисертації одержано теоретичне обґрунтування, а також новий метод вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння. Був розроблений новий метод визначення параметрів маневру розходження судна, що має комп'ютерну реалізацію і відрізняється застосуванням областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на

програмну траєкторію руху з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт.

У дисертаційній роботі:

– вперше розроблено спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення та виходу судна на програмну траєкторію руху;

– вперше запропоновано метод комп'ютерного відображення сформованих областей для вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження;

– отримано процедуру вибору маневру розходження зміною курсу з урахуванням навігаційних перешкод і використанням електронних карт.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені компанією ДП «СМА ШИПС Україна» та компанією «UNITEAM MARINE» для перепідготовки судноводіїв компанії (акти впровадження від 10.02.2020 р. та 13.02.2020 відповідно). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Судноводіння та електронних навігаційних систем» в розділах забезпечення безпеки маневрування судном Херсонської державної морської академії (акт від 05.03.2020 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Петриченко О.А. Оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна. / Петриченко О.А.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.

2. Пятаков Э.Н. Способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными уклонениями / Пятаков Э.Н., Пятаков В.Э., Петриченко О.А. // Austria - science, Issue: 16, 2018.- С. 44-49.

3. Пятаков В.Э. Способ последовательного расхождения судна с двумя опасными целями. / Пятаков В.Э., Петриченко О.А., Калюжный В.В. // Автоматизация судовых технических средств. – 2018. – № 24.– С. 81-87.

4. Петриченко Е.А. Разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений./ Петриченко Е.А., Петриченко О.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, - 2018. - Вып. 28. – С. 120-130.

5. Петриченко О. А Использование областей недопустимых параметров расхождения для предотвращения столкновения судов. / Петриченко О. А.// Austria - science, Issue: 26, 2019.- С. 28-34.

6. Петриченко О.А. Способ оперативного определения параметров маневра расхождения судна. / Петриченко О. А., Цымбал Н.Н.// Austria - science, Issue: 23, 2019.- С. 48 – 53.

7. Петриченко О.А. Предупреждения столкновений с помощью судовой

информационной системы. /Петриченко О.А.// Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавство, перевезення, автматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 180 – 182.

8. Петриченко О.А. Способ выбора маневра расхождения с помощью электронной карты. / Петриченко О.А.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): Матеріали X Міжнародної наук.-практ. конф., 29-31 травня. 2018 – Херсон: ХДМА, 2018. – С. 128–130.

9. Петриченко О.А. Процедура оперативного выбора параметров маневра уклонения судна. /Петриченко О.А. // Транспортні технології (морський та річковий флот):інфраструктура, судноплавство, перевезення, автматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 15-16 листоп. 2018 – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 232 – 235.

АНОТАЦІЯ

Петриченко О.О. Розробка методу оперативного вибору маневру розходження суден при плаванні в стислих водах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2021.

В роботі запропоновано аналітичні вирази і алгоритм для розробки процедур інформаційної системи, необхідних під час оцінки ситуації зближення і оптимізації маневру розходження.

Одержано комп'ютерні процедури формування області неприпустимих значень параметрів ухилення, за допомогою якої можна вибрати оптимальні значення часу і курсу ухилення судна під час його небезпечного зближення з цілю.

В роботі також розглянуто і розроблено комп'ютерні процедури формування області допустимих значень параметрів ухилення, які забезпечують безпечне розходження судна з цілю. Розглянуті процедури передбачають розрахунок меж областей для випадку переваги швидкості судна над швидкістю цілі, так і інакшому випадку.

Розроблена комп'ютерна процедура, яка дозволяє визначити залежність моментів часу виходу щодо вибраного курсу з урахуванням сторони ухилення судна.

У завершення роботи представлено результати імітаційного моделювання методу оперативного вибору маневру розходження суден, одержаного в результаті дисертаційного дослідження.

Приведено короткий опис програми імітаційного моделювання і показано, що вона складається з трьох модулів: вибору початкової ситуації небезпечного зближення і формування для неї області неприпустимих значень параметрів ухилення і області допустимих значень параметрів виходу; модуля визначення оптимальних параметрів розходження судна з відображенням на електронній карті істинної і відносної траєкторій розходження судна; а також модуля імітаційного моделювання процесу розходження судна.

Приведені результати імітаційного моделювання: вибір маневру розходження під час плавання судна у відкритому морі, а також показано урахування навігаційних перешкод під час вибору маневру розходження в стислих районах плавання.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, локально-незалежне управління, області неприпустимих параметрів ухилення та виходу.

ANNOTATION

Petrychenko O.A. Development of a method for operative maneuver choice of ships divergence while sailing in the confined waters. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after specialty 05.22.13 - navigation and traffic control. It is the National University «Odessa marine academy», Odessa, 2021.

Analytical expressions and algorithm are offered in this work for development of procedures of the informative system, necessary at estimation of situation of rapprochement and optimization of maneuver of divergence.

Computer procedure of forming of region of impermissible values of parameters of deviation is got, by which it is possible to choose the optimum values of time and course of deviation of ship at his dangerous rapprochement with target.

In work it is also considered and developed computer procedures of forming of region of acceptability parameters of deviation, which provide safe divergence of ship with target. The considered procedures foresee the calculation of scopes of regions for the case of advantage of speed of ship above speed of target, so in other case.

Developed computer procedure which allows defining dependence of moments of time of output in relation to the chosen course taking into account the side of deviation of ship.

Upon completion of work the results of imitation design of method of operative choice of maneuver of divergence of vessels are represented, got as a result of dissertation research.

The thumb-nail sketch of simulation routine is resulted and shown that she consists of three modules: choice of initial situation of dangerous rapprochement and forming for her of region of impermissible values of parameters of deviation and region of acceptability parameters of output; module of determination of optimum parameters of divergence of ship with the reflection on the electronic card of veritable and relative trajectories of divergence of ship; and also module of imitation design of process of divergence of ship.

Resulted results of imitation design: choice of maneuver of divergence at sailing of ship at sea, and also the account of navigation obstacles at the choice of maneuver of divergence in the straitened districts of sailing is shown.

Keywords: safety of navigation, warning of collisions of vessels, locally-independent management, regions of impermissible parameters of deviation and output.

Підп. до друку 24.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И21-03-39

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003