

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

Омельченко Тарас Юрійович



УДК 656.61.052

**УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Тюпиков Євгеній Євгенійович,
НУ «ОМА»,
доцент кафедри «Управління судном».

Офіційні опоненти: **1. Кондратенко Юрій Пантелійович,**
д.т.н., професор,
спеціальність 05.13.05 – Елементи та пристрої
обчислювальної техніки та систем управління;
професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем,
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили;
2. Товстокорий Олег Миколайович,
к.т.н., доцент,
спеціальність 05.22.13 – Навігація та управління рухом;
доцент кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі,
Херсонська державна морська академія.

Захист відбудеться 1 листопада 2018 р. о 13-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

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

Автореферат розісланий 28 вересня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д. т. н., професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання роботи проводилося відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), а також в рамках планів наукових досліджень національного університету «Одеська морська академія» за держбюджетними темами «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» (№ ДР 0115U003580, 2016 р.) та «Дослідження процесів розвитку транспортних технологій морського флоту» (№ ДР 0112U000356, 2016 р.), в яких здобувач розробляв окремі розділи як виконавець.

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

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

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

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

Об'єктом дослідження дисертації є процес розходження суден.

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

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

- дедукції при аналізі основних підходів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- експертного оцінювання і системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і при формуванні технології наукового дослідження;
- планування і дослідження операцій для декомпозиції головної задачі дисертації на незалежні складові задачі;
- теоретичної механіки для складання рівнянь руху судна;
- комп'ютерного моделювання і математичного аналізу для вирішення рівнянь руху судна і пошуку залежності параметрів руху судна від керуючих впливів;
- математичного програмування і аналітичної геометрії для формалізації залежності форм відносної траєкторії розходження від суттєвих чинників.

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

У дисертаційній роботі було отримано такі наукові результати:

- вперше запропоновано процедуру відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, яка враховує відношення швидкостей судна і цілі, що дозволяє підвищити ефективність розрахунку параметрів маневру розходження суден;
- вперше розроблено спосіб формування повної стратегії розходження суден, який включає системи бінарної координації, що дає змогу обрати безпечний маневр розходження в залежності від поточної ситуації зближення судна та цілі;
- вперше отримано метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна, який враховує форми відносної траєкторії, що забезпечує коректний вибір траєкторії безпечного маневру.

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

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

Особистий внесок здобувача. Дисертантом самостійно виконано дисертаційну роботу, зокрема: здійснено аналіз основних напрямків вирішення проблеми підвищення безпеки судноводіння та інформаційний пошук за темою дисертаційного дослідження, проведено обґрунтування методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, розроблено метод відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, розроблено оригінальні алгоритми, що забезпечують оперативне визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії, запропоновано спосіб формування повної стратегії розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координат та впроваджено результати роботи у виробничий процес. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті положення, які належать автору особисто: процедура формування граничної дистанції допустимого зближення [2], визначення структури повної стратегії розходження суден [3], залежність курсу ухилення базового судна від форми відносної траєкторії розходження [4], принцип відображення форм істинних траєкторій розходження в множину відносних траєкторій [6], використання областей неприпустимих параметрів для вибору сумісного маневру розходження з двома цілями [7], характеристика областей неприпустимих параметрів відносно типу маневру розходження [8], умова формування межі області неприпустимих параметрів руху судна [10], визначення факторів, які впливають на значення граничної дистанції допустимого зближення [11], аналітичний вираз розрахунку граничної дистанції зближення [13], процедура визначення форми відносної траєкторії від форми істинної траєкторії [14].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи представлені у доповідях здобувача та схвалені на науково-практичних, науково-технічних конференціях та форумах міжнародного і вітчизняного рівня: науково-технічна 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.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 грудня 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 14 наукових праць (з них 4 одноосібно), в тому числі: в наукових фахових виданнях, що входять до переліку МОН України - 3 наукові статті [1-3]; в закордонних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [4-7]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 7 наукових доповідей [8-14].

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

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ роботи містить обґрунтування актуальності теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами досліджень. Крім того, визначено мету, сформульовано головну та складові задачі дисертаційного дослідження, визначена його наукова новизна та показане практичне значення роботи.

У **першому розділі** проаналізовані літературні джерела по вирішенню проблеми дисертаційного дослідження та проведено огляд основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння, а також обґрунтовано напрям дисертаційного дослідження.

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

Вітчизняними та іноземними вченими, такими як: Вагущенко Л.Л., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Ворохобін І.І., Бурмака І.О., Голіков В.В., Воробйов Ю.Л., Снопков В.І., Фрейдзон І.Р., Lisowski J., та іншими зроблено значні внески в рішення зазначених проблем, які показали, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів управління рухом судна при реалізації програмної траєкторії, а також в ситуаціях їх небезпечних зближень. Тому було обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене вдосконаленню методів попередження зіткнень суден в ситуаціях їх небезпечних зближень в стислих районах плавання. Питання по даній тематиці потребують подальших

наукових досліджень, що обумовлює обґрунтування основних напрямів дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження та його методологічного забезпечення.

За допомогою методів системного підходу розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження, яка містить технологію методичного забезпечення вирішення задач, поставлених в роботі. Сформульовані мета, головна задача дисертаційного дослідження, робоча гіпотеза, а також визначено об'єкт та предмет дослідження. Крім того, обґрунтовані та сформульовані три допоміжні задачі для вирішення головної наукової задачі.

У **третьому розділі** розглянуто розробку способу визначення форми відносної траєкторії розходження в залежності від істинного ухилення та відношення швидкостей судна та цілі, що являється першою складовою задачею дисертаційної роботи.

В розділі приведені матеріали і методи, які необхідні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження. Зокрема представлені аналітичні вирази, що пов'язують відносний курс з істинними курсами судна і цілі. Показано, що на залежність істинного курсу від відносного впливає співвідношення швидкостей судна і цілі. Також приведені залежності для дистанції найкоротшого зближення і швидкості зміни дистанції між судном і ціллю.

Розглянуто стратегії розходження судна і їх характеристики в ситуації небезпечного зближення з ціллю. 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 праворуч і ухиленням ліворуч. Структура стратегій екстреного розходження залежить від поведінки цілі в процесі зближення, в розділі приведені чотири типи стратегій екстреного розходження. Розглянуті в розділі стратегії описують весь процес розходження з моменту часу початку ухилення з програмної траєкторії руху до моменту часу повернення на неї після розходження з ціллю.

Крім часткових стратегій розходження в розділі розглянута повна стратегія розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації, яка для базового судна є набором часткових стратегій залежно від розвитку процесу зближення і поведінки цілі. У роботі розглянута ситуація небезпечного зближення базового судна c_1 з ціллю c_2 за наявності в районі плавання третього судна c_3 .

В разі перевищення швидкості судна V_o над швидкістю цілі V_c , тобто при $V_o > V_c$, форми істинної траєкторії розходження δ_{tst} і δ_{tpr} , відповідно ухиленням праворуч і ліворуч, збігаються з формами відносних траєкторій, тобто $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst}$ і $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr}$. Розглянуто ситуацію, коли швидкість судна,

що маневрує, менша швидкості цілі, тобто $V_o < V_c$. При цьому враховано, що при збільшенні істинного курсу судна K_o відносний курс K_{ot} має як ділянку зростання, так і ділянку спадання. Припустимо, що істинна траєкторія розходження має форму δ_{tst} ухилення праворуч.

На рис. 1 показана ситуація, коли початковий курс судна K_n та курси ухилення K_y і повернення на задану траєкторію K_b знаходяться на зростаючій ділянці залежності відносного курсу. В цьому випадку формі δ_{tst} істинної траєкторії відповідає форма Δ_{tst} відносної траєкторії, тобто $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst}$.

Якщо ж курси K_n , K_y і K_b форми істинної траєкторії розходження δ_{tst}

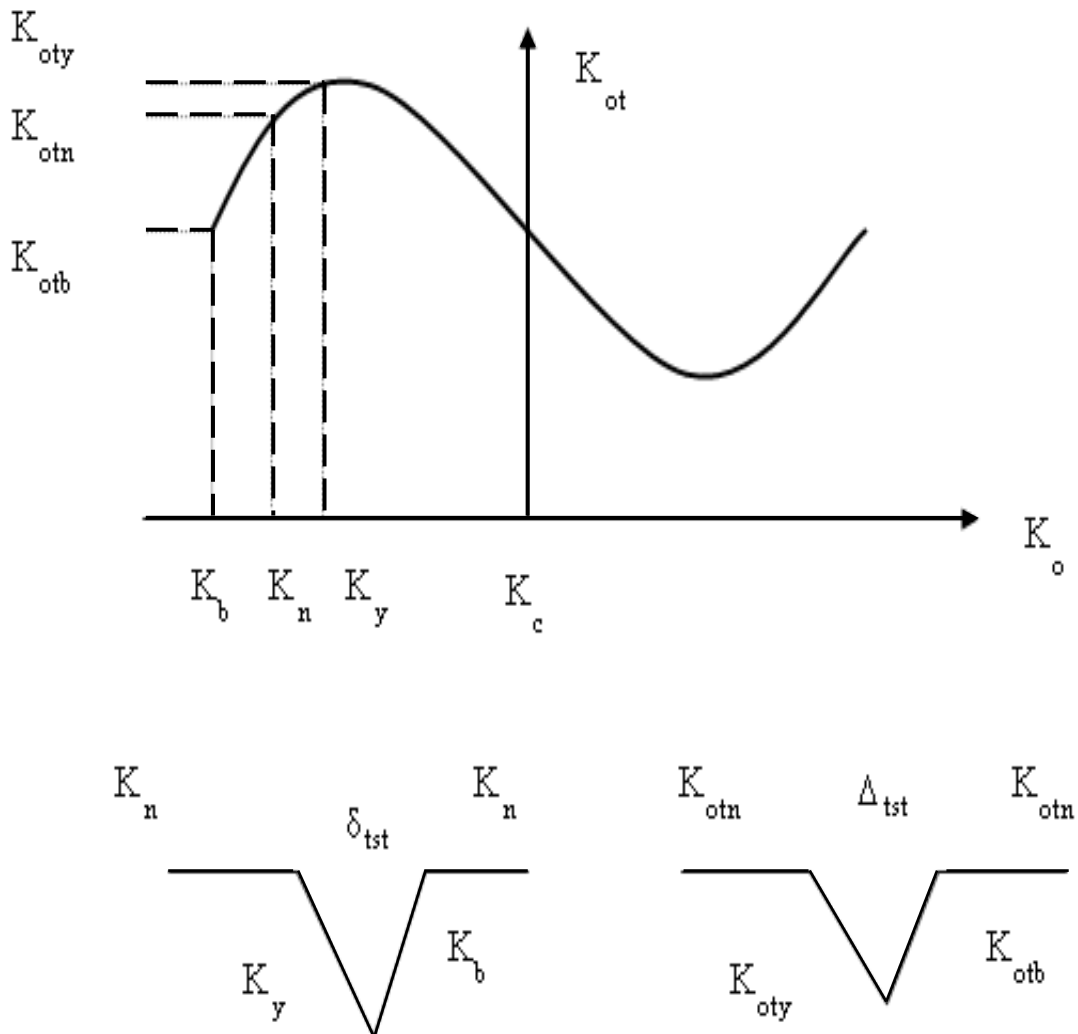


Рис. 1. Відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

належать спадаючим ділянкам залежності відносного курсу, як показано на рис. 2, то форма відносної траєкторії розходження не збігається з формою істинної траєкторії, а має місце відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr}$. В даному розділі розглянуто ситуації, коли курси істинної траєкторії розходження знаходяться на різних ділянках залежності відносного курсу. Спочатку припустимо, що курси K_n і K_b форми δ_{tst} істинної траєкторії належать зростаючій ділянці залежності відносного курсу, а курс ухилення K_y – спадаючій ділянці, як

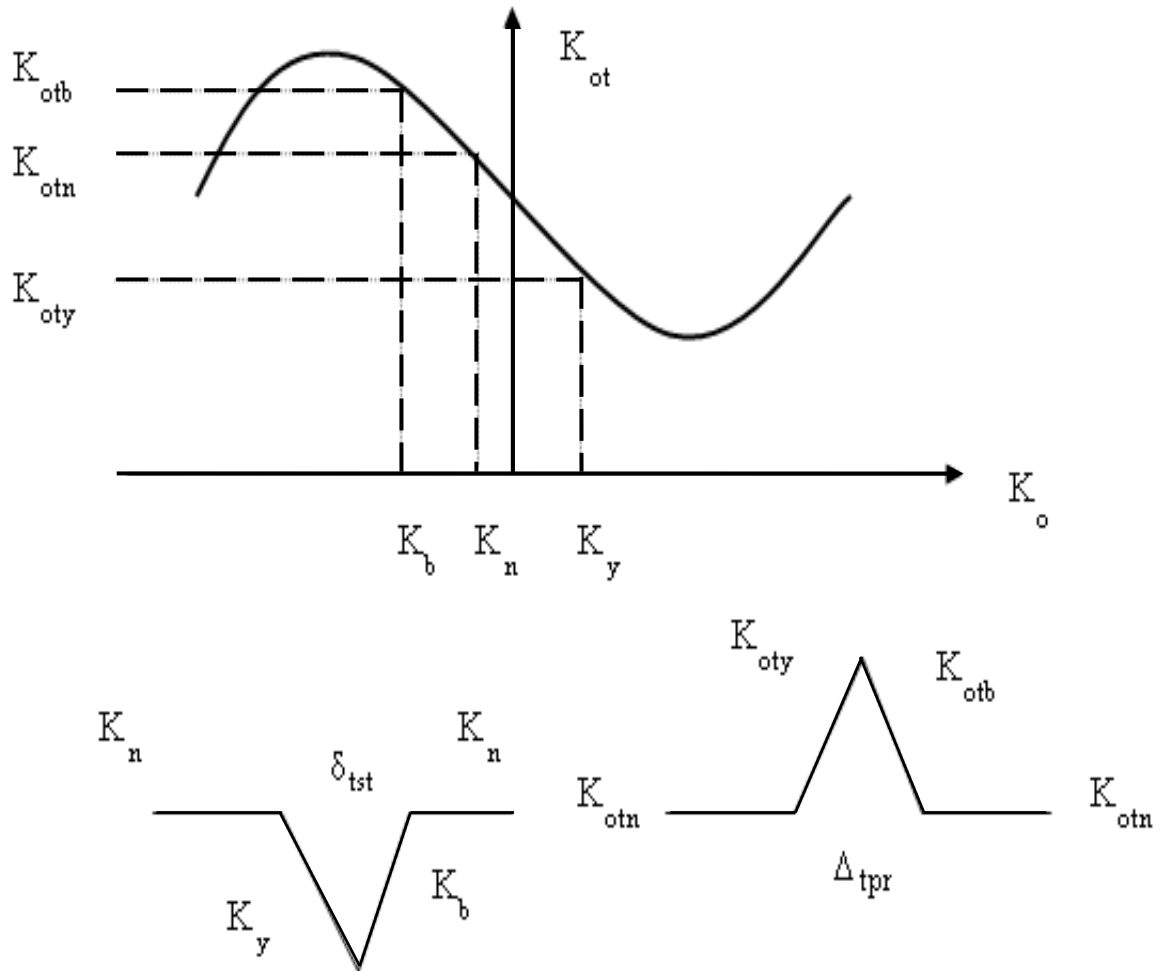


Рис. 2. Відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

показано на рис. 3. Для цієї ситуації відносна траєкторія має ділянки ухилення і виходу, які змінюються ліворуч. Таку форму траєкторії розходження позначимо Δ_{tpr1} . Відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм істинної і відносних траєкторій показано на рис. 3. Такі форми відносної траєкторії розходження, у яких ділянка ухилення і ділянка виходу змінюються в одну і ту ж сторону, на відміну від форм відносної траєкторії розходження зміни

згаданих ділянок в протилежні сторони названо складними формами відносної траєкторії розходження.

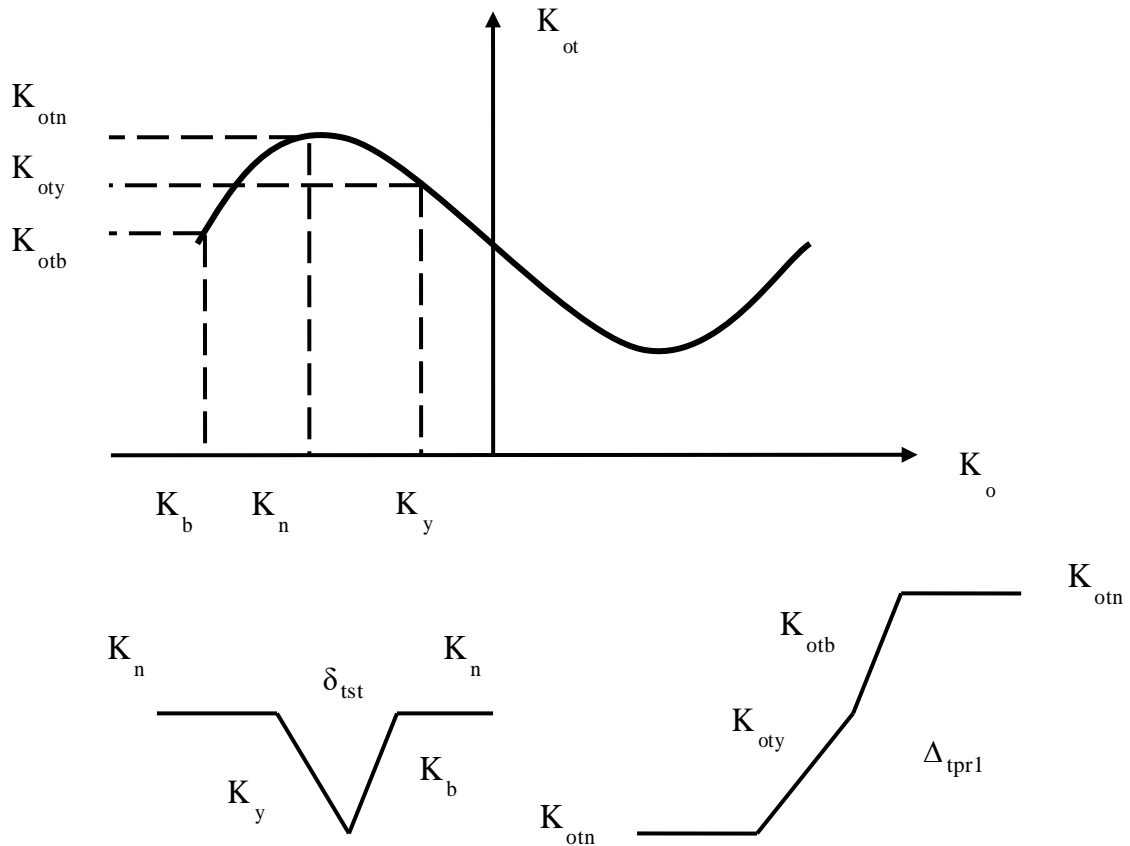


Рис. 3. Відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм траєкторій при $V_o < V_c$

На рис. 4 курси K_n і K_b форми δ_{tst} істинної траєкторії належать спадаючій ділянці залежності відносного курсу, а курс ухилення K_y – зростаючій ділянці. Відносна траєкторія, що відповідає цьому випадку, характеризується наступною особливістю: її ділянки ухилення і виходу на задану траєкторію змінюються праворуч по відношенню до попередньої ділянки. Таку форму відносної траєкторії з двома ділянками зміни курсу праворуч позначимо через Δ_{tst1} , причому можна стверджувати, що існують співвідношення курсів K_n , K_y і K_b форми δ_{tst} істинної траєкторії розходження, при яких має місце відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst1}$ (рис. 4).

Аналогічно для форми δ_{tpr} істинної траєкторії розходження ухиленням ліворуч при знаходженні курсів K_n , K_y і K_b на різних ділянках залежності відносного курсу (зростаючому або спадаючому) існують всі чотири форми відносної траєкторії розходження.

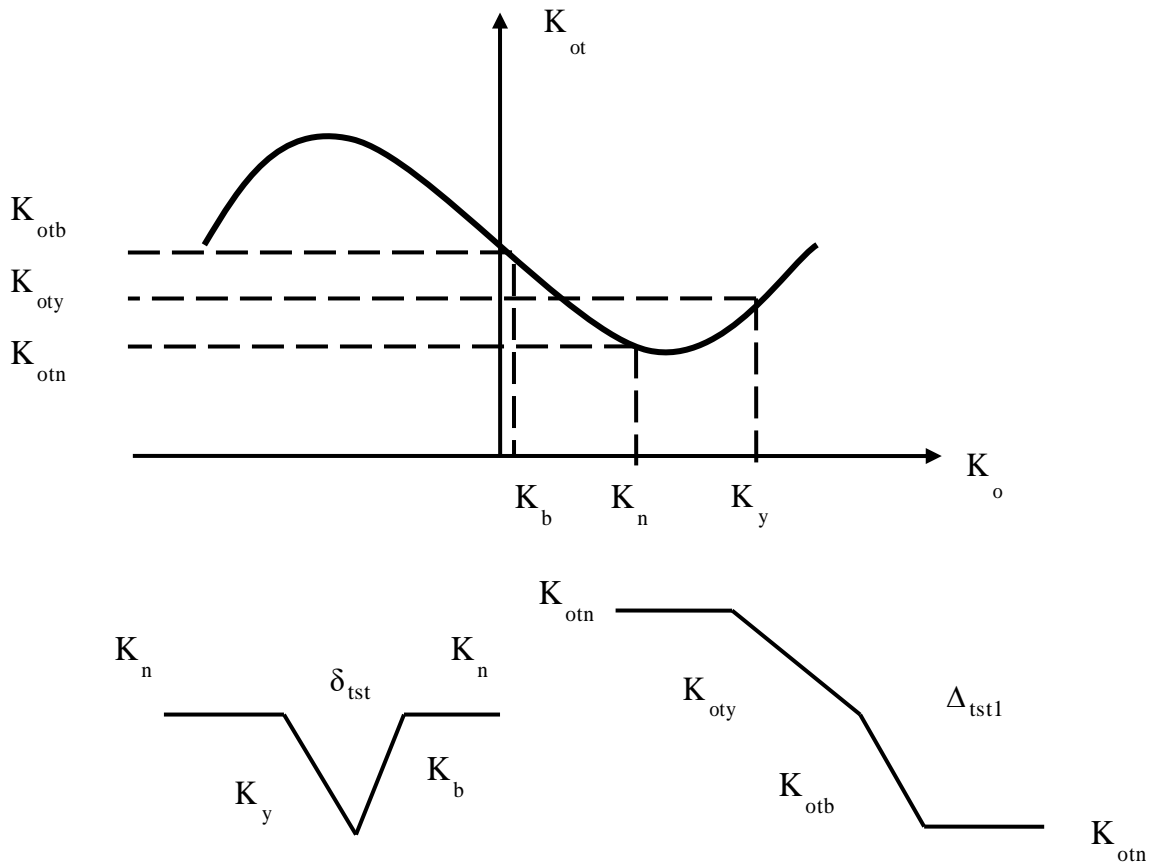


Рис. 4. Відповідність $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst1}$ форм траєкторії при $V_o < V_c$

Таким чином, у розділі розроблено метод визначення форми відносної траєкторії розходження в залежності від істинного ухилення та відношення швидкостей судна та цілі.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [2, 3, 10, 11, 13].

У **четвертому розділі** приведені результати розробки методу відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, чому присвячена друга складова задача дисертаційного дослідження.

У загальному випадку форми δ_{tst} і δ_{tpr} істинної траєкторії розходження відповідно ухиленням праворуч і ліворуч, як показано в роботі, можуть відображатися в просторі відносного руху чотирма формами відносної траєкторії розходження Δ_{tst} , Δ_{tpr} , Δ_{tst1} і Δ_{tpr1} .

Множина абсолютних елементарних форм позначена $M\delta_e$, причому $M\delta_e = \{\delta_{tst}, \delta_{tpr}\}$, а множина відносних елементарних форм - $M\Delta_e = \{\Delta_{tst}, \Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tpr1}\}$. У роботі одержано відображення F_{em} множини $M\Delta_e$ у множину $M\delta_e$ для випадку, коли $\rho < 1$ (де ρ – відношення швидкостей судна і цілі). Маневру розходження відповідає пара суміжних курсів:

ухилення K_y і виходу на задану траєкторію K_b , які обмежені по міркуваннях доцільності, тому абсолютним формам δ_{tst} і δ_{trg} відповідає двовимірна область Ω_{yb} параметрів K_y і K_b . Відображення F_{em} ділить область Ω_{yb} на області відносної форми $\Omega_{\Delta_j} \subseteq \Omega_{yb}$, кожна з яких характеризується незмінною відносною формою Δ_{tj} . Отже, відображення F_{em} елементарній абсолютній формі δ_{tst} або δ_{trg} з областю Ω_{yb} ставить у відповідність сукупність елементарних відносних форм Δ_{tj} з областями $\Omega_{\Delta_j} \subseteq \Omega_{yb}$. Очевидно, що для формалізації відображення $F_{em} : M\Delta_e \rightarrow M\delta_e$ для заданої абсолютної форми δ_{tj} з областю Ω_{yb} повинні бути вказані типи відносних форм Δ_{tj} і аналітично описані межі відповідних їм областей Ω_{Δ_j} , які належать області Ω_{yb} .

Обмеження курсів K_y і K_b по доцільності вводяться за наступними міркуваннями. Відхилення від початкового курсу при стандартному маневрі розходження не повинне перевищувати 90° , інакше судно ухилитиметься в зворотному програмному руху напрями. Після розходження вихід судна на програмну траєкторію відбувається під кутом γ до напрямку програмної траєкторії, причому кут γ має сенс вибрати в межах від 30° до 90° . Якщо судно ухилиється і повертається на одну і ту ж ділянку програмної траєкторії з курсом K_o , то обмеження по доцільності мають наступний вигляд:

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

Враховуючи, що змінні K_y і K_b є незалежними, то область Ω_{yb} має форму прямокутника.

Ситуацією $Q\Delta_i$ називатимемо сукупність областей Ω_{Δ_j} відносних форм Δ_{tj} , що знаходяться в області Ω_{yb} курсів ухилення та курсів виходу.

Спочатку розглянуто можливі ситуації $Q\Delta_i$ при формі істинної траєкторії δ_{tst} (ухиленням управо) у разі зміни різниці курсів ΔK базового судна K_o і цілі K_c , причому $\Delta K = K_o - K_c$, від 0 до 2π . В табл. 1 вказано перелік ситуацій $Q\Delta_i$, що виникають при маневрі ухилення судна зміною курсу відворотом праворуч. Крім цього в таблиці наведені значення різниці курсів ΔK_i , при яких відбувається зміна послідовних ситуацій, а також рівняння границь ΔK_{yi} , які поділяють області з різними формами відносних траєкторій.

Таблиця 1.

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

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

На рис. 5 показані залежності меж ΔK_i (dKN на рис. 5) від значення відношення швидкостей судна і цілі ρ , що змінюється в межах від 0 до 1, за допомогою яких здійснена декомпозиція площини ситуацій $\Delta K \times \rho$ на області незмінних ситуацій $Q\Delta_i$ (QN на рис. 5).

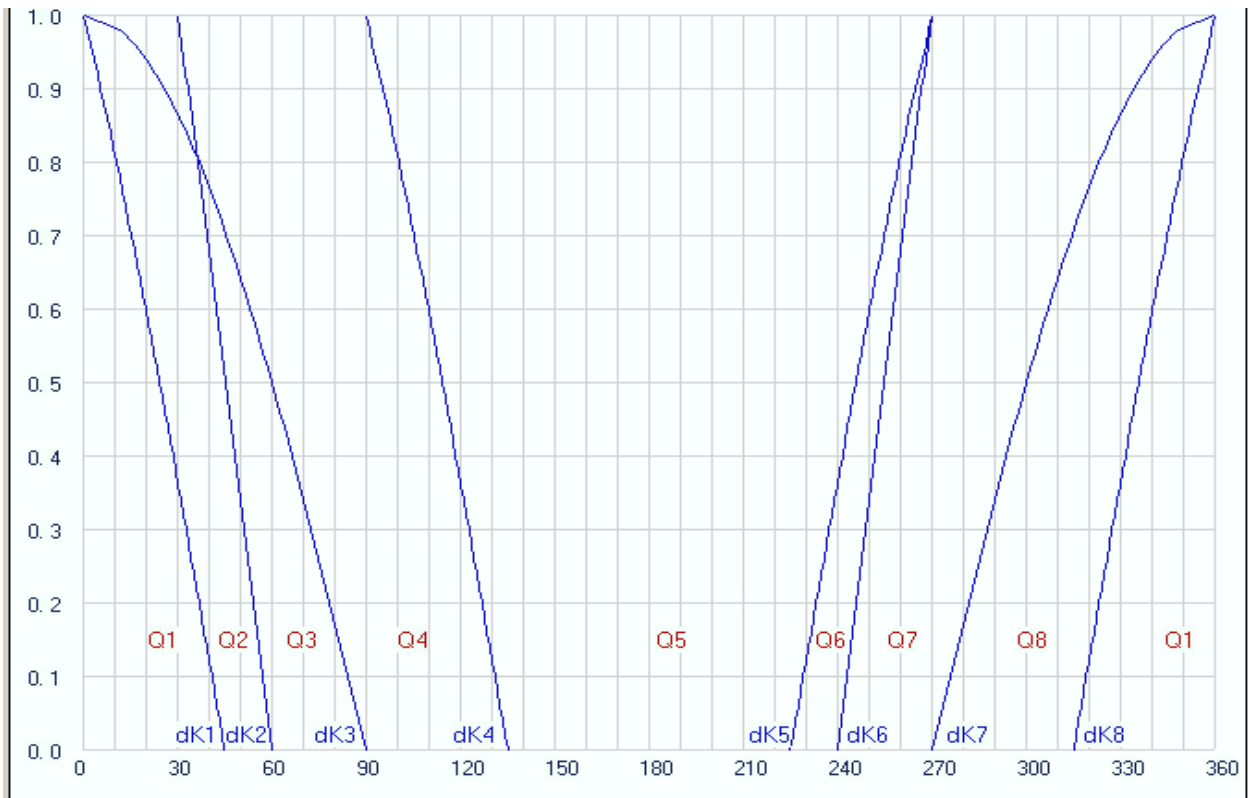


Рис. 5. Декомпозиція площини ситуацій $\Delta K \times \rho$ для форми δ_{tst}

Аналогічно розглянуто можливі ситуації $Q\Delta_i$ при формі істинної траєкторії розходження ухиленням ліворуч δ_{tr} . В табл. 2 вказаний перелік ситуацій $Q\Delta_i$, що виникають при маневрі ухилення судна, зміною курсу відворотом вліво. Наведені значення різниці курсів ΔK_i і рівняння границь ΔK_{yi} .

Таблица 2.

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

Ситуація $Q\Delta_j$	Склад ситуації	Вирази для меж ΔK_i і ΔK_{yi}
$Q\Delta_5$	(Δ_{tst})	$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho \frac{\sqrt{2}}{2})$
$Q\Delta_4$	$(\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_2 = \frac{\pi}{2}$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$

$Q\Delta_3$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_3 = \frac{2\pi}{3} - \arcsin(0,5\rho)$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$ $\Delta K_{y5} = K_{oto} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_2$	$(\Delta_{tst1}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_4 = \frac{3\pi}{4} - \arcsin(0,7071\rho)$ $\Delta K_{y5} = K_{oto} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_1$	(Δ_{tpr})	$\Delta K_5 = \frac{5\pi}{4} + \arcsin(0,7071\rho)$
$Q\Delta_8$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tpr1})$	$\Delta K_6 = 2\pi - \arccos\rho$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_7$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_7 = \frac{5\pi}{3} + \arcsin(0,5\rho)$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$ $\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_6$	$(\Delta_{tst}, \Delta_{tpr1})$	$\Delta K_8 = \frac{7\pi}{4} + \arcsin(0,71\rho)$ $\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$

На рис. 6 показані залежності меж ΔK_i (dKN на рис. 6) від значення відношення швидкостей судна і цілі ρ , що змінюється в межах від 0 до 1, та здійснена декомпозиція площини ситуацій $\Delta K \times \rho$ на області незмінних ситуацій $Q\Delta_i$ (QN на рис. 6).

Таким чином, в четвертому розділі дисертації приведені результати розробки методу відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [5, 6, 14].

У **п'ятому розділі** розглянуто формування процедури оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії розходження, чому присвячена третя складова задача дисертаційного дослідження.

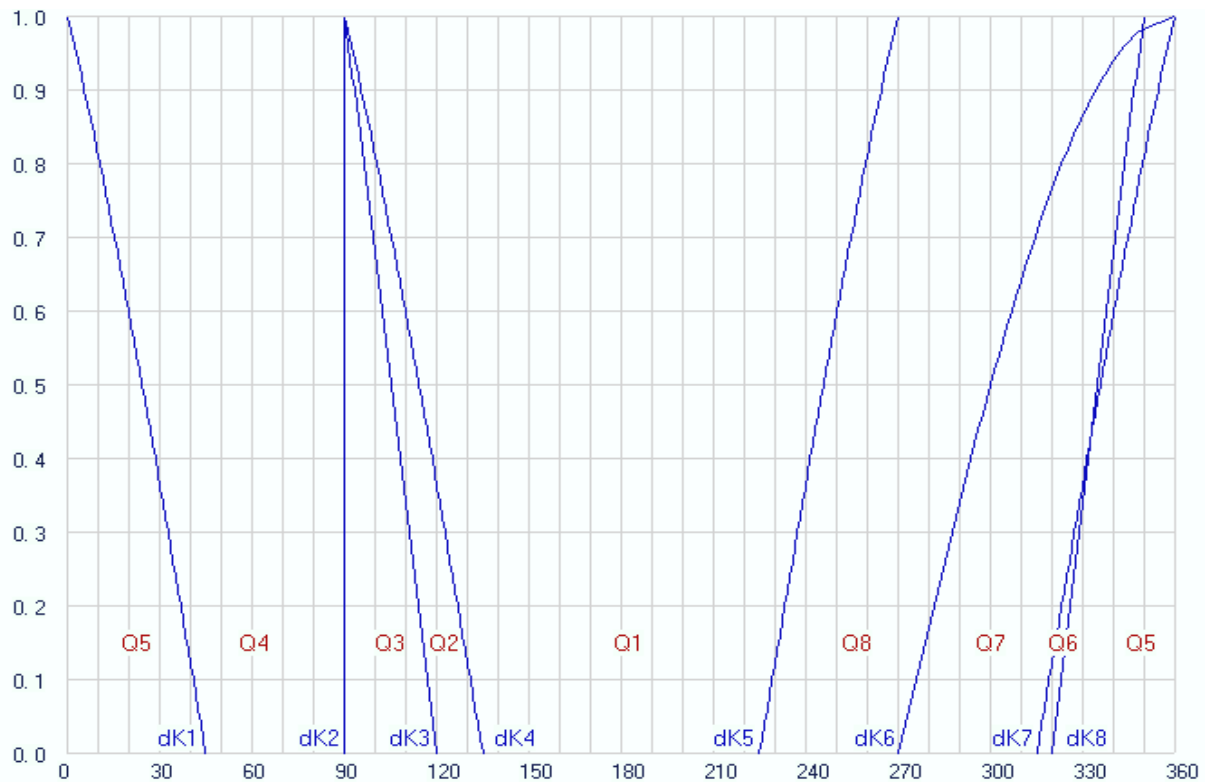


Рис. 6. Декомпозиція площини ситуацій $\Delta K \times \rho$ для форми δ_{trg}

Після виявлення ситуації небезпечного зближення з можливістю стандартного маневру розходження його стратегія визначається за наступним алгоритмом. Залежно від обставин ситуації зближення (МППЗС-72, навігаційних перешкод, суден, що заважають, і т. п.) вибирається сторона ухилення судна. Отже, стає відомим $\delta_y = \pm 1$. Після цього визначаються параметри ухилення. Перш за все, розраховується мінімальне значення курсу ухилення і верхня межа часу початку ухилення. Мінімальний курс ухилення визначається вимогою помітності маневру розходження. У випадку перевищення швидкості судна V_o над швидкістю цілі V_c , тобто, коли форми істинної і відносної траєкторій співпадають, мінімальний курс ухилення K_y визначається зміною початкового курсу на 30° , і для одержаного значення K_y розраховується відносний курс ухилення \tilde{K}_{oty} . Час ухилення \tilde{t}_y визначається за допомогою виразу:

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

де $\Delta_y = \pm 1$ - відносне ухилення; D - дистанції між суднами; \tilde{K}_{oty} - відносний курс ухилення; α - пеленг на ціль; D_d - гранично-припустима дистанція зближення; V_{otn} - початкова відносна швидкість; K_{otn} - початковий відносний курс.

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

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

де τ_y - тривалість повороту ухилення судна; $\Delta \xi_o$ і $\Delta \eta_o$ - приріст координат базового судна за час повороту τ_y ; V_c - швидкість цілі; K_c - курс цілі.

Значення тривалість повороту ухилення судна τ_y , а також прирости координат базового судна $\Delta \xi_o$ і $\Delta \eta_o$ за цей час визначаються динамічною моделлю обертального руху судна. У даній роботі застосована кінематична модель обертального руху судна з постійною кутовою швидкістю a_ω . В цьому випадку:

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

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

де K_y - мінімальний курс ухилення; K_o - початковий курс судна; a_ω - кутова швидкість; V_o - початкова швидкість судна.

В роботі отримано аналітичний вираз розрахунку моменту часу t_{b*} повороту судна у бік його програмної траєкторії руху, який має вигляд:

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

де $\Delta_b = \text{sign}[\sin(K_{otb} - K_{oty})]$; t_y - момент часу початку повороту ухилення; D_n - початкова дистанція між суднами; α_n - початковий пеленг на ціль; V_{oty} - відносна швидкість на ділянці ухилення; K_{otb} - відносний курс виходу; \tilde{K}_{oty} - відносний курс ухилення.

Момент часу повороту до програмної траєкторії з урахуванням інерційності судна розраховується:

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

де Δt_b - визначається наступним чином:

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

Для перевірки коректності одержаних теоретичних результатів дисертаційної роботи, які дозволяють розробити метод вибору безпечного

маневру розходження судна з ціллю зміною курсу з урахуванням форми відносної траєкторії розходження була розроблена імітаційна комп'ютерна програма, яка також містить модуль моделювання процесу розходження суден з розрахованими параметрами маневру, внаслідок чого можна оцінити коректність запропонованого способу вибору безпечного маневру розходження суден. В розділі приведені результати імітаційного моделювання маневрів розходження судна з ціллю для дев'яти ситуацій небезпечного зближення, розрахованих інформаційною системою з урахуванням форми відносної траєкторії розходження. В якості прикладу розглянуто ситуацію небезпечного зближення судна з ціллю, яка характеризується пеленгом $\alpha = 200^\circ$, дистанцією $D = 5$ миль, $K_1 = 150^\circ$, $V_1 = 20$ вузлів, $K_2 = 70^\circ$, $V_2 = 15$ вузлів. Істинна траєкторія розходження судном вибрана поворотом праворуч. Форми відносної і істинної траєкторій показані на рис. 7, вони співпадають, тобто є однаковими. Параметри маневру розходження, розраховані програмою, приведені на рис. 7.

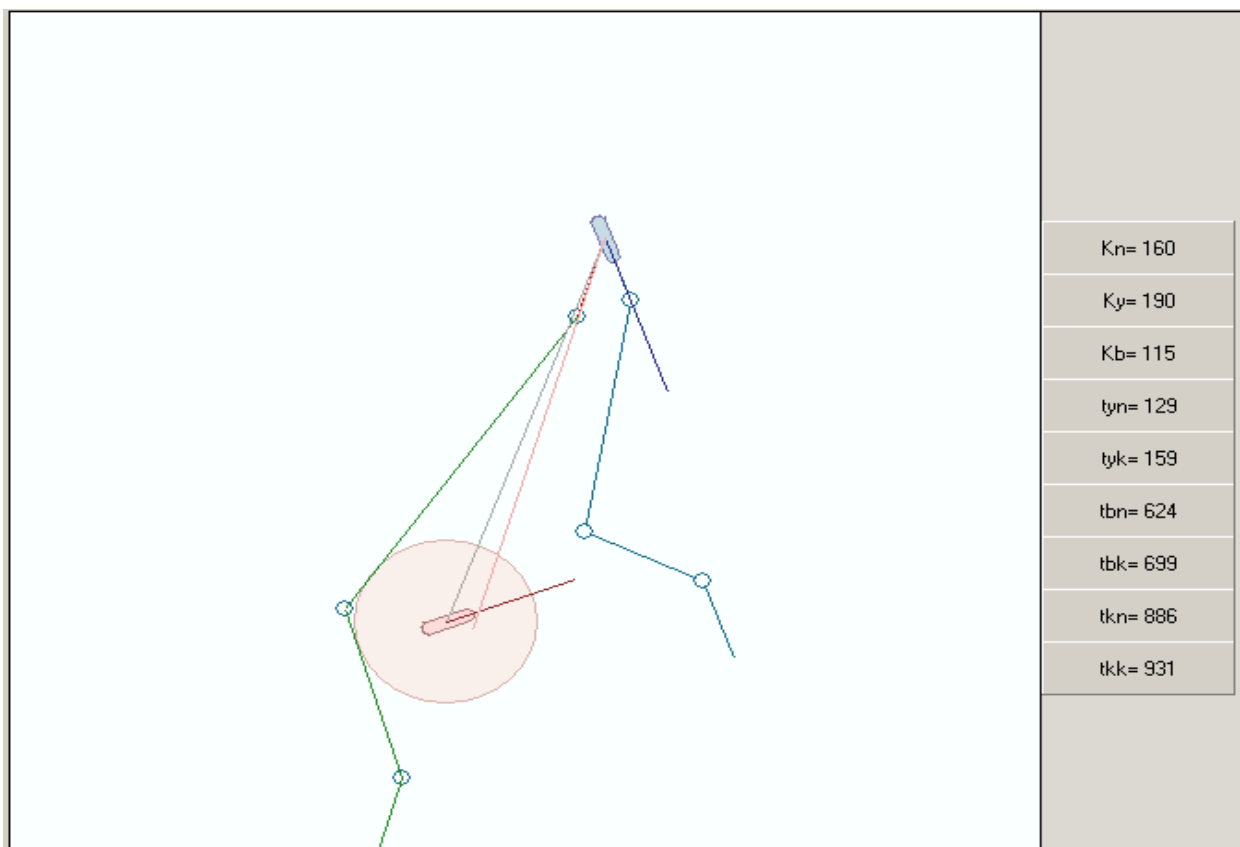


Рис. 7. Траєкторії істинного і відносного розходження

Аналізом результатів імітаційного моделювання маневрів розходження в дев'яти розглянутих ситуаціях встановлено, що судно рухалось розрахованою траєкторією розходження, виконуючи повороти в обчислені моменти часу на задані курси. Причому дистанції найкоротшого зближення судна з ціллю були рівні значенню гранично-допустимої дистанції зближення. Даний

висновок підтверджує коректність запропонованого в роботі методу оперативного визначення параметрів маневру розходження судна зміною курсу.

Таким чином, в розділі розглянуто формування процедури оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна з урахуванням форми відносної траєкторії розходження. Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 4, 7, 8, 9, 12].

ВИСНОВКИ

Підвищення безпеки судноводіння сприяє зменшенню кількості аварійних випадків, що веде до покращання охорони людського життя на морі, зниження шкоди навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового методу вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і відрізняється урахуванням форми відносної траєкторії при визначенні параметрів маневру попередження зіткнення.

У дисертаційній роботі було отримано такі наукові результати:

1. На основі аналізу реальних процесів розходження суден, зокрема при виникненні аварійних ситуацій, встановлено, що надійність вибору безпечного маневру судна суттєво залежить як від параметрів рухомих об'єктів, так і від форми і параметрів відносної траєкторії руху судна і цілі.

2. Розроблено механізм формування повної стратегії розходження судна з ціллю, який включає системи бінарної координації, що дає змогу обрати безпечний маневр розходження в залежності від поточної ситуації зближення судна та цілі.

3. Запропоновано процедуру відображення елементарних форм істинної траєкторії базового судна в множину форм відносної траєкторії розходження, яка враховує відношення швидкостей судна і цілі, що дозволяє виконати розрахунок параметрів маневру розходження суден. Для елементарної форми істинної траєкторії розходження судна ухиленням праворуч отримано підмножину з семи ситуацій форм відносної траєкторії розходження, причому кожна із ситуацій містить від однієї до трьох областей незмінної форми відносної траєкторії.

4. На основі аналізу альтернативних варіантів прийняття рішень при розходженні суден встановлено, що зміна ситуацій відбувається зі зміною різниці курсів судна і цілі. Сформовано аналітичні залежності для розрахунку границь зміни суміжних ситуацій. Знайдені залежності для границь, які розділяють суміжні області, якщо конкретна ситуація містить декілька областей незмінної форми відносної траєкторії.

5. Запропоновано метод оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна, який враховує форми відносної траєкторії, що забезпечує

коректний вибір безпечного маневру. Досліджено метод оперативного визначення параметрів маневру розходження судна зміною курсу для випадків, (а) коли швидкість судна більше швидкості цілі і (б) коли швидкість судна менше швидкості цілі. Отримано аналітичні залежності для розрахунку значень параметрів маневру розходження з урахуванням різних форм відносної траєкторії розходження.

6. Проведено комплекс досліджень процесів розходження судна і цілі при різних ситуаціях і сценаріях на основі імітаційного моделювання. Результати моделювання підтверджують коректність та ефективність запропонованого методу оперативного визначення параметрів стратегії розходження судна в дев'яти різних ситуаціях, в яких відносні траєкторії розходження мали різну форму. При цьому за параметрами ситуації небезпечного зближення спочатку розраховувався маневр розходження, коректність якого в подальшому підтверджувалася його моделюванням.

7. Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв, буксирною компанією «ЛБ Шіпінг», кріюінговими компаніями «СМА Шіпс Україна» і «Коламбія Шіпменеджмент Україна» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Забезпечення навігаційної безпеки плавання».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Омельченко Т.Ю. Учет динамики судна при повороте / Омельченко Т.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 120 - 126.
2. Омельченко Т.Ю. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов/ Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 137-143.
3. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Пятаков Э.Н., Омельченко Т.Ю. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – № 23. – С. 77-84.
4. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э.Н., Пасечнюк С.С., Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 97 - 101.
5. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 82-85.
6. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество относительных траекторий / Омельченко

Т.Ю., Пятаков Э.Н., Тюпиков Е.Е. // East European Science Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 58-69.

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

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

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

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

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

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

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

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

АНОТАЦІЯ

Омельченко Т. Ю. Удосконалення алгоритмів управління процесом розходження суден. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271-Річковий та морський транспорт). - Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2018.

У роботі розглянуто залежність параметрів стратегії розходження судна від форми її відносної траєкторії, для чого виявлені чинники, які впливають на формування форми, і умови, які визначають реалізацію конкретної форми з можливої множини.

Окрім часткових стратегій розходження запропонована повна стратегія розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації, яка для базового судна є набором часткових стратегій залежно від розвитку процесу зближення і поведінки цілі.

Розглянуто зв'язок форм відносної і істинної траєкторій розходження. Показано, що існують дві форми істинної траєкторії стандартної стратегії розходження і в загальному випадку їм можуть відповідати чотири форми відносної траєкторії розходження.

У роботі розглянуто відображення двох елементарних форм істинної траєкторії розходження судна ухиленням праворуч і ліворуч в множину форм відносної траєкторії розходження. Показано, що зміна ситуацій відбувається із зміною різниці курсів судна і цілі і залежить від швидкостей судна і цілі.

У завершальному розділі дисертації розглянуто метод оперативного визначення параметрів стандартного маневру розходження судна зміною курсу. Одержані аналітичні вирази розрахунку значень параметрів маневру розходження з урахуванням різних форм відносної траєкторії розходження.

Коректність запропонованого методу вибору маневру попередження зіткнення зміною курсу підтверджена імітаційним моделюванням процесу розходження в дев'яти різних ситуаціях, в яких відносні траєкторії розходження мали різну форму. Причому за параметрами ситуації небезпечного зближення спочатку розраховувався маневр розходження, коректність якого підтверджувалася його моделюванням.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, форми траєкторії розходження, повна стратегія розходження.

АННОТАЦІЯ

Омельченко Т.Ю. Совершенствование алгоритмов управления процессом расхождения судов. – Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук (доктора философии) за специальностью 05.22.13 – навигация и управление движением (271-речной и морской транспорт). - Национальный университет «Одесская морская академия», Одесса, 2018.

В работе рассмотрена зависимость параметров стратегии расхождения судна от формы относительной траектории расхождения, для чего выявлены факторы, которые влияют на формирование формы, и условия, которые определяют реализацию конкретной формы из возможного множества.

Кроме частных стратегий расхождения предложена полная стратегия расхождения судна с учетом требований системы бинарной координации, которая для базового судна является набором частных стратегий в зависимости от развития процесса сближения и поведения цели.

Так как для расхождения выбираются формы истинной траектории, а их параметры зависят от формы относительной траектории расхождения, то рассмотрена связь форм относительной и истинной траекторий расхождения. Показано, что существует две формы истинной траектории стандартной стратегии расхождения и в общем случае им могут отвечать четыре формы относительной траектории расхождения.

В работе рассмотрено отображение двух элементарных форм истинной траектории расхождения судна уклонением вправо и влево во множество форм относительной траектории расхождения. Показано, что изменение ситуаций происходит с изменением разницы курсов судна и цели и зависит от скоростей суда и цели, причем полученные аналитические выражения для расчета границ изменения смежных ситуаций. Если ситуация содержит несколько областей неизменной формы относительной траектории, то найдены зависимости для границ, которые разделяют смежные области.

В заключительном разделе диссертации рассмотрен метод оперативного определения параметров стандартного маневра расхождения судна изменением курса для случая, когда скорость судна больше скорости цели и в случае скорости судна меньшей скорости цели. Получены аналитические выражения расчета значений параметров маневра расхождения с учетом разных форм относительной траектории расхождения. Показано, что курс уклонения судна для безопасного расхождения определяется начальной относительной позицией судна и цели и относительными характеристиками их движения, а момент времени начала уклонения дополнительно зависит от инерционных характеристик судна. Также получены аналитические выражения для расчета параметров выхода на заданную траекторию движения. Расчет параметров стратегии расхождения проводится с учетом формы ее относительной траектории.

Корректность предложенного метода выбора маневра предупреждения столкновения изменением курса подтверждена имитационным моделированием процесса расхождения в девяти разных ситуациях, в которых относительные траектории расхождения имели разную форму. Причем по параметрам ситуации опасного сближения сначала рассчитывался маневр расхождения, корректность которого подтверждалась его моделированием.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждения столкновений судов, формы траектории расхождения, полная стратегия расхождения.

ANNOTATION

Omelchenko T.Y. Perfection of algorithms process control of divergence by the ships. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences (Ph.D.) after specialty 05.22.13 - navigation and traffic control (271-river and marine transport). It is the National University «Odessa marine academy», Odessa, 2018.

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

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

Communication of forms of relative and veritable trajectories of divergence is considered. It is shown that two forms of veritable trajectory of standard strategy of divergence are and four forms of relative trajectory of divergence can answer them in general case.

In work the reflection of two elementary forms of veritable trajectory of divergence of ship is considered deviation to the right and to the left in the group of forms of relative trajectory of divergence. It is shown that the change of situations takes place with the change of difference of courses of ship and target and depends on speeds ship and target.

The method of operative determination of parameters of standard maneuver of divergence of ship by the change of course is considered in the final part of dissertation. Analytical expressions of calculation of values of parameters of maneuver of divergence taking into account different forms of relative trajectory of divergence are got.

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

Keywords: safety of navigator, warning of collisions of vessels, forms of trajectory of divergence, complete strategy of divergence.