

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ И НАУКИ УКРАЇНИ

(МОН України)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

(НУ «ОМА»)



Бужбецький Ростислав Юрійович

УДК 656.61.052.484

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ
СУДЕН З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ**

05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Цимбал Микола Миколайович,
Національний університет
«Одеська морська академія»
декан судноводійного факультету

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Блінцов Володимир Степанович
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
проректор з наукової роботи.

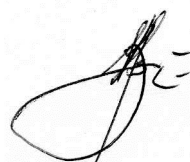
кандидат технічних наук, доцент
Товстокорий Олег Миколайович
Херсонська державна морська академія
завідувач кафедри управління судном та безпеки
життєдіяльності на морі

Захист відбудеться 27 квітня 2016 р. о 10.00 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.

Автореферат розісланий 25 березня 2016 р.

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



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні все більша увага надається забезпеченню безпеки судноплавства, підвищенню його надійності і зниженню вірогідності виникнення аварійних випадків. Наявність навігаційних перешкод і інтенсивні суднопотоки значною мірою ускладнюють судноводіння в стислих водах і створюють підвищені ризики виникнення аварійних ситуацій.

У разі небезпечного зближення суден виникає необхідність виконання маневру одним або двома суднами для попередження можливого зіткнення суден. Характер маневру їх розходження визначають Міжнародні правила попередження зіткнень суден (МППЗС-72), які містять систему бінарної координації, регламентуючу поведінку суден для безпечного розходження.

Проте, питання формалізації взаємодії суден і особливо їх координуєності мало досліджені, хоча проблема дуже актуальна, оскільки її рішення дозволяє забезпечити вищий рівень безпеки розходження суден, що обумовлює актуальність і перспективність даного дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), Стратегії розвитку морських портів України на період до 2015 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 16.07.2008 р. №1051-р зі змінами, внесеними згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1561-р від 07.10.2009 р.), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. "Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави" та Указу Президента України від 20.05.2008 р. №463/2008, а саме з держбюджетною науково-дослідною роботою "Розробка методів забезпечення безаварійного плавання суден" (№ ДР 0111U001610), в яких здобувач виконав окремий розділ.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки розходження суден в ситуації небезпечного зближення шляхом розробки методу, що враховує особливості їх взаємодії.

Для цього прийнята гіпотеза про те, що безпечний маневр ухилення судна від небезпечної цілі можна забезпечити, враховуючи особливості їх взаємодії.

Головною задачею дослідження є розробка алгоритму вибору безпечного маневру розходження суден з урахуванням особливості їх взаємодії.

Для вирішення головної задачі були розглянуті наступні складові задачі:

- формалізація бінарних взаємодій суден в ситуаціях небезпечного зближення;
- розробка способу ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення і визначення виникаючої бінарної взаємодії;
- створення методу визначення координуєності бінарних взаємодій суден в ситуаціях небезпечного зближення.

Об'єктом дослідження є попередження зіткнень суден.

Предметом дослідження є методи вибору безпечного маневру розходження суден.

Методи дослідження:

- дедукції – при аналізі основних підходів рішення проблеми безпеки судноводіння;
- дослідження операцій – для методологічного забезпечення дисертаційного дослідження і для декомпозиції головної задачі дисертації на незалежні складові задачі;
- математичного аналізу – для визначення залежностей зміни дистанції найкоротшого зближення від курсів взаємодіючих суден ;
- теорії координатії - для визначення координуємості взаємодії суден в ситуаціях небезпечного зближення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що розроблено новий метод ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення суден, визначення її координуємості і відповідних ухилень, який відрізняється урахуванням особливостей взаємодії суден в ситуації, що виникла, і дозволяє вибрати безпечний маневр.

Вперше:

- запропоновано метод формального опису взаємодій суден при небезпечному зближенні і виникненні загрози зіткнення;
- розроблено спосіб ідентифікації ситуацій небезпечного зближення передбачених МППЗС-72 і бінарної взаємодії, що реалізувалася;
- запропоновано метод оцінки координатії бінарних взаємодій суден при небезпечному зближенні;
- одержані залежності зміни дистанції найкоротшого зближення тільки від зміни курсу судна, а також при одночасному повороті судна і цілі;
- розроблена формальна модель МППЗС-72 і визначена координуємість взаємодій, що регламентуються МППЗС-72.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення дисертаційної роботи визначається тим, що її основні результати можуть бути застосовані судноводіями при розходженні, використані при розробці нових поколінь ЗАРП, а також при створенні сучасних морських тренажерів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені: в компанії ТОВ «Морське Агентство» Україна »при підготовці вантажних помічників капітану (акт від 29.05.2014 р), центрі підготовки моряків -« Авант »- для предресовою підготовки судноводіїв (акт від 27.05. 2014), а також у навчальних програмах дисциплін ОНМА: спеціальності судноводіння (акт від 16.09.2015 р).

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані здобувачем самостійно без співавторів.

Використовуючи системний підхід, здобувач сформулював мету і головну задачу дисертаційного дослідження, виконав огляд і аналіз літературних джерел по проблемі забезпечення безпеки маневрів розходження, обґрунтував методологічне забезпечення дисертації, розробив імітаційну модель перевірки коректності основних результатів проведеного дослідження і виконав імітаційне моделювання, здійснив інтерпретацію одержаних результатів досліджень і одержав нові наукові результати. Особисто написав більшість статей та докладів

[3, 5 – 9], автореферат та саму дисертацію. Самостійно виконав окремий розділ в держбюджетній науково-дослідній роботі з державною реєстрацією.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження обговорювалися та були схвалені на трьох науково-технічних конференціях:

- „Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека”, 14-15 листопада 2012 р., м. Одеса;
- „Ефективна та безпечна експлуатація морських суден та споруд”, 2-4 жовтня 2013 р., м. Севастополь.
- „Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека”, 19-20 листопада 2013 р., м. Одеса;

Публікації. За результатами проведених досліджень опубліковано п'ять наукових статей у наукових фахових виданнях, що рекомендовані Міністерством освіти і науки для публікації результатів дисертаційних досліджень, одна книга, одна стаття і одна книга в зарубіжних виданнях а також у збірниках матеріалів трьох конференцій.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, списку використаних літературних джерел із 101 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи – 232 стор., у тому числі: 161 стор. основного тексту, 61 стор. додатку, 10 стор. списку літератури, містить 53 рис. і 37 табл.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та завдання дослідження, показано наукову новизну і практичне значення роботи, викладене наукове положення дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз основних напрямків дослідження проблеми забезпечення безпеки судноводіння і здійснено вибір напряму дисертаційного дослідження.

Аналіз літератури по темі дисертаційної роботи показав, що основна увага була приділена проблемі забезпечення безпеки судноводіння шляхом попередження зіткнень суден в стислих умовах плавання.

В рішенні цієї проблеми значний внесок зробили вітчизняні та іноземні вчені, такі як: Мальцев А.С., Вагущенко Л.Л., Цимбал М.М., Фрейдзон И.Р., Lisowski J., та інші, які показали, що найбільш актуальними є теоретичні та практичні дослідження з проблеми безпечного розходження суден. Огляд літературних джерел і аналіз підходів для рішення проблеми безпечного розходження суден показали, що успіх безпечного розходження в значній мірі залежить від системи взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення, причому питання по даній тематиці практично не розглянуті і потребують серйозних наукових досліджень.

Такий висновок дав можливість обґрунтувати основні напрями дисертаційного дослідження, яке присвячене проблемі попередження зіткнень суден з урахуванням особливості їх взаємодії.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження, для чого використані результати першого розділу дисертації, в другому розділі також розглянуто методологічного забезпечення дисертації.

Технологічну карту дисертаційного дослідження розроблено методами системного підходу, і вона представляє собою план рішення головної задачі дисертаційної роботи.

В ній визначені об'єкт та предмет дослідження, сформульовані головна задача дослідження та робоча гіпотеза.

Для вирішення головної наукової задачі були сформульовані три складові задачі.

Вирішення першої складової задачі потребує розробки способу формалізація бінарних взаємодій суден в ситуаціях небезпечного зближення.

Для вирішення другої складової задачі необхідно розробити спосіб ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення і визначення виникаючої бінарної взаємодії.

Третя складова задача – створення методу визначення координуєності бінарних взаємодій суден в ситуаціях небезпечного зближення. Для вирішення цієї задачі слід використати методи управління судном.

Вирішення головної задачі дослідження – розробки алгоритму вибору безпечного маневру розходження суден з урахуванням особливості їх взаємодії – досягнуто шляхом синтезу рішень складових задач. На його підґрунті було сформульовано наукове положення, яке є узагальненням теоретичних результатів дослідження.

У **третьому розділі** приведено формальний опис взаємодії суден при небезпечному зближенні, що являється першою складовою задачею дисертаційного дослідження.

Ситуативне збурення ω_{ij} виникає при прогнозованому попаданні судна і цілі в область неприпустимих позицій при їх небезпечному зближенні і викликає появу між ними взаємодії, яка визначає формування стратегій розходження взаємодіючих суден.

При цьому взаємодія V_z повинна узгоджувати маневри суден, що зближуються, отже, вона припускає вибір адресних узгоджених стратегій для всіх його учасників. Тому V_z формально може бути записано таким чином:

$$\mathbf{D} = V_z(\mathbf{F}), \quad (1)$$

де \mathbf{D} – вектор стратегій розходження суден, складовими якого є N_D стратегій суден учасників взаємодії;

\mathbf{F} – істотні параметри, необхідні для визначення взаємодією V_z адресних узгоджених стратегій розходження.

В даний час взаємодія суден при їх небезпечному зближенні визначається МППЗС-72, яку позначимо V_{z_m} , причому вектор стратегій розходження суден \mathbf{D} містить тільки пару стратегій оперуючого судна і цілі, тобто МППЗС-72 оперує тільки бінарними взаємодіями.

Аналіз МППЗС-72 показує, що в їх основу встановлений принцип координації, згідно якому кожному з пари суден, які небезпечно зближуються, вказується множина елементарних стратегій розходження, застосування яких повинне забезпечити їх безаварійне розходження.

Таким чином, МППЗС-72 є бінарним координатором, який регламентує взаємодію пари суден при їх небезпечному зближенні. Причому виходом координатора є не конкретні стратегії, а їх деякі множини. Більш того, стратегіями розходження являються курси ухилення від програмного курсу. Тому для взаємодії Vz_M вихідними стратегіями є множини курсів ухилення Mn_{y1} для оперуючого судна і Mn_{y2} для цілі, тобто $D=(Mn_{y1}, Mn_{y2})$.

Істотними параметрами F при формуванні взаємодії Vz_M є ситуація $s\{D_{12}, \alpha_{12}, V_1, V_2, K_1, K_2\}$, статус взаємодіючих суден r_i , який визначає можливість маневрування судна при розходженні, параметр B , що характеризує видимість, і інтенсивності ситуативних збурень ω_{12} і ω_{21} . Тому вираз (1) для бінарної координації Vz_M набуває наступного вигляду:

$$(Mn_{y1}, Mn_{y2}) = Vz_M \{(D_{12}, \alpha_{12}, V_1, V_2, K_1, K_2), r_1, r_2, \omega_{12}, \omega_{21}, B\}.$$

Аналіз МППЗС-72 показав, що Правила містять дві незалежні системи координації: для хорошої і зниженої видимості.

Оскільки в МППСС-72 лімітується тільки сторона дозволеного ухилення, то множини Mn_{y1} зручно характеризувати за допомогою сигналів вказаної взаємодії (координуючих сигналів). Для опису множини курсів ухилення достатньо трьох бінарних змінних, q_1 , q_2 і q_3 , які містять інформацію про дозволена множини курсів ухилення. Тому:

$$F = (Mn_{y1}, Mn_{y2}) = \{q_1, q_2, q_3\},$$

причому сигнал q_1 містить інформацію для кожного з суден про наявність пріоритету, що визначає координатор, а сигнали q_2 і q_3 регламентують взаємодіючим судам можливість ухилення відповідно управо і вліво.

Приведені сигнали мають наступні значення:

$$q_{1i(j)} = 1, \text{ при вимозі зміни параметрів руху};$$

$$q_{1i(j)} = -1, \text{ у разі вимоги їх збереження};$$

$$q_{2i(j)} = 1, \text{ якщо правилами поворот управо дозволений};$$

$$q_{2i(j)} = -1, \text{ якщо правила забороняють поворот управо};$$

$$q_{3i(j)} = 1, \text{ якщо правилами поворот вліво дозволений};$$

$$q_{3i(j)} = -1, \text{ якщо правила забороняють поворот вліво}.$$

У разі, коли правила дозволяють судну самому вирішувати питання про збереження або зміну параметрів руху, величині $q_{1i(j)}$ слід привласнювати значення 0. Відзначимо, що кожне з суден одержує від координатора однакову ін-

формацію, - свій координуючий сигнал $Y_i = (q_{1i}, q_{2i}, q_{3i})$ і координуючий сигнал взаємодіючого судна, який є, так званим, сигналом зв'язку $\tilde{\omega}_i$, оскільки прогнозує поведінку партнера по взаємодії.

Отже, для взаємодіючих суден вихід координатора має наступний вигляд:

$$Y_i = (q_{1i}, q_{2i}, q_{3i}), \quad \tilde{\omega}_i = (q_{1j}, q_{2j}, q_{3j});$$

$$Y_j = (q_{1j}, q_{2j}, q_{3j}), \quad \tilde{\omega}_j = (q_{1i}, q_{2i}, q_{3i}).$$

При цьому справедлива рівність $Y_i = \omega_j$ і $Y_j = \tilde{\omega}_i$.

Таким чином, вимоги МППЗС-72 в частині взаємних обов'язків суден при маневруванні у разі небезпечного зближення можуть бути представлені моделлю узагальненого координатора, як системи типу «вхід - вихід», який за наявності ситуативного збурення однозначно визначає поведінку оперуючого судна за допомогою вихідного сигналу координації Y_i і прогнозує необхідну поведінку цілі за допомогою сигналу зв'язку $\tilde{\omega}_i$.

У практичному аспекті по вхідному сигналу координатора F належить виявити підмножину ситуацій, що реалізувалася, тип взаємодії і відповідне йому приватне відображення, по якому визначаються значення сигналів взаємодії Y_i і зв'язку $\tilde{\omega}_i$.

У роботі розглянута множина взаємодій, що регламентуються МППЗС-72, виникаючих при небезпечному зближенні оперуючого судна з ціллю, і запропоновано їх аналітичний опис. При цьому по вхідному вектору F необхідно визначити, чи відноситься поточна ситуація S_1 до підмножини ситуацій небезпечного зближення S_ω і якщо належить, слід ідентифікувати поточну ситуацію з областями взаємних обов'язків суден $S_{\omega i}$. Після цього визначається тип взаємодії, відповідний одержаній області взаємних обов'язків суден $S_{\omega i}$.

Для перевірки поточної ситуації S_1 на приналежність до підмножини ситуацій небезпечного зближення S_ω необхідно визначити швидкість зміни дистанції між судном і ціллю \dot{D} . Очевидно, що $S_1 \in S_\omega$ лише при зближенні суден, тобто при $\dot{D} < 0$. Причому:

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

Умова $\dot{D} < 0$ є необхідною, але не достатньою умовою приналежності ситуації S_1 до підмножини небезпечних ситуацій S_ω . Для визначення областей взаємних обов'язків суден розрізняються дві граничнодопустимі дистанції найкоротшого зближення D_{dop} і $\min D_{\text{dop}}$, причому величина мінімальної граничнодопустимої дистанції найкоротшого зближення $\min D_{\text{dop}}$ визначається габаритами суден, що зближуються, і запасом дистанції, яка запобігає явищу присмоктування. Величина граничнодопустимої дистанції найкоротшого зближення

D_{dop} додатково враховує можливі похибки у визначенні відносної позиції цілі і запас дистанції на форс-мажорні обставини.

Тому достатньою умовою виникнення ситуативного збурення і попадання ситуації S_i в підмножину S_{ω} є подія, яка полягає у тому, що прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення $\min D$ менше граничнодопустимої дистанції найкоротшого зближення, тобто $\min D < D_{\text{dop}}$. Якщо ця умова не дотримується те ситуативне збурення відсутнє і ситуація S_i належить підмножині безпечних ситуацій S_s .

Дистанція найкоротшого зближення $\min D$ залежить від відносної позиції (D_{12}, α_{12}) і параметрів руху судна і цілі K_1, V_1, K_2, V_2 і її можна розрахувати за допомогою виразу:

$$\min D = \text{Abs}[D \sin(K_{\text{ot}} - \alpha)], \quad (2)$$

де K_{ot} - відносний курс, який визначається формулою:

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

Реалізація однієї з областей $S_{\omega i}$ підмножини ситуацій S_{ω} формалізується наступним співвідношенням:

$$S_{\omega i} = \begin{cases} S_{\omega 1}, & \text{если } \min D_{\text{dop}} < D \sin(K_{\text{ot}} - \alpha) < D_{\text{dop}} \\ S_{\omega 2}, & \text{если } \max(\min D) < D \sin(K_{\text{ot}} - \alpha) < \min D_{\text{dop}} \\ S_{\omega 3}, & \text{если } D \sin(K_{\text{ot}} - \alpha) < \max(\min D) < \min D_{\text{dop}} \end{cases} \quad (3)$$

У першій області $S_{\omega 1}$ реалізується перший тип взаємодії судна і цілі, при якому встановлюється тверде відношення пріоритету.

Другий тип взаємодії і координації суден, який реалізується в другій області взаємних обов'язків суден $S_{\omega 2}$, характеризується напівтвердим відношенням пріоритету, оскільки судно, якому поступаються дорогою, може здійснити маневр розходження.

Випадок третього типу взаємодії пов'язаний з екстремим маневруванням, яке незалежно від входу координатора вимагає маневру обох суден і не встановлює відношення пріоритету.

Таким чином по значенню вхідного вектора \mathbf{F} визначається область взаємних обов'язків і приналежність поточної ситуації до відповідної області ситуацій небезпечного зближення.

Для формалізації взаємодії Vz_M потрібно здійснити аналітичний опис двох процедур: першої - по вхідному вектору \mathbf{F} знайти відповідну йому підмножину збурених ситуацій $S_{\omega j}^f$, якій належить поточна ситуація S_i , і друга – вказати си-

гнали взаємодії Y_i і зв'язку ω_j , виникаючі при реалізації підмножини ситуацій $S_{\omega_j}^f$. Перша процедура визначає приватну взаємодію $Bz_{M1}^{(j)}$, яка реалізує відображення вхідного вектора \mathbf{F} в підмножину ситуацій, тобто $S_{\omega_j}^f = Bz_{M1}^{(j)}(\mathbf{F})$, а друга процедура встановлює відповідність $Bz_{M2}^{(j)}$ між підмножинами ситуацій $S_{\omega_j}^f$ і вихідними сигналами $\{Y_j, \omega_j\}$, причому $\{Y_j, \omega_j\} = Bz_{M2}^{(j)}(S_{\omega_j}^f)$. Об'єднання приватних взаємодій $Bz_{M1}^{(j)}$ і $Bz_{M2}^{(j)}$ визначає приватну взаємодію $Bz_M^{(j)}$, яка формально виражається таким чином:

$$Bz_M^{(j)} = \{ Bz_{M1}^{(j)} \wedge Bz_{M2}^{(j)} \}.$$

У дисертаційній роботі в табличному вигляді представлений перелік підмножин збурених ситуацій $S_{\omega_j}^f$ і відповідні їм сигнали координатора взаємодій $\{(q_{1i}, q_{2i}, q_{3i}), (q_{1j}, q_{2j}, q_{3j})\}$, причому фрагмент переліку показаний в табл. 1.

Таблиця 1

Сигнали координатора взаємодій $Bz_{M2}^{(j)}$

№ п/п	Ситуац.	Сигнали $Bz_{M2}^{(j)}$	Правило МППЗС-72
1.	$S_{\omega 1}^{p2}$	$Bz_{M2}^{(6)} = \{(1,1,1)(-1,-1,-1)\}$	Ситуація обгону, судно, яке обганяє, Правило 13.
2.	$S_{\omega 1}^{p3}$	$Bz_{M2}^{(7)} = \{(-1,-1,-1)(1,1,1)\}$	Ситуація обгону, судно, яке обганяють, Правило 13.
3.	$S_{\omega 1}^{r \neq}$	$Bz_{M2}^{(8)} = \{(-1,-1,-1)(1,1,1)\}$ $r_1 > r_2$	Судна з різним статусом, Правило 18.
4.	$S_{\omega 1}^{r1}$	$r_1 = r_2$	Судна з механічним двигуном, Правила 14 і 15.
5.	$S_{\omega 1}^o$	$Bz_{M2}^{(11)} = \{(1,1,-1)(1,1,-1)\}$	Протилежні курси, Правило 14.
6.	$S_{\omega 1}^c$		Пересічні курси, Правило 15.
7.	$S_{\omega 1}^{cs}$	$Bz_{M2}^{(13)} = \{(1,1,-1)(-1,-1,-1)\}$	Пересічні курси, ціль справа, Правило 15.
8.	$S_{\omega 1}^{cp}$	$Bz_{M2}^{(14)} = \{(-1,-1,-1)(1,1,-1)\}$	Пересічні курси, ціль зліва, Правило 15.

Результуюча приватна взаємодія $Bz_M^{(j)}$ представлена в табл. 2.

Таблиця 2.

Результуючі приватні взаємодії $Bz_M^{(j)}$

№ п/п	Приватна взаємодія $Bz_{M1}^{(j)} (S_i \in S_{\omega_j}^f)$	Сит. $S_{\omega_j}^f$	Сигнали $Bz_{M2}^{(j)}$
1.	$\{\dot{D} < 0, \min D_{\text{dop}} < D \sin(K_{\text{ot}} - \alpha) < D_{\text{dop}}\}$	$S_{\omega 1}$	
2.	$\{\dot{D} < 0, \max(\min D) < D_{\text{dop}}\}$	$S_{\omega 2}$	
3.	$\{\dot{D} < 0, \max(\min D) < \min D_{\text{dop}}\}$	$S_{\omega 3}$	$Bz_{M2}^{(36)} = \{(1,1,1)(1,1,1)\}$
4.	$\{Bz_{M1}^{(1)}, \sin(\alpha + 67,5 - K_2) > 0,$ $\sin(K_2 + 67,5 - \alpha) > 0\}$	$S_{\omega 1}^{p2}$	$Bz_{M2}^{(6)} = \{(1,1,1)(-1,-1,-1)\}$
5.	$\{Bz_{M1}^{(1)}, \sin(\alpha - 112,5 - K_1) > 0,$ $\sin(K_1 + 247,5 - \alpha) > 0\}$	$S_{\omega 1}^{p3}$	$Bz_{M2}^{(7)} = \{(-1,-1,-1)(1,1,1)\}$
6.	$\{Bz_{M1}^{(4)}, r_1 \neq r_2\} (r_1 > r_2)$	$S_{\omega 1}^{r \neq}$	$Bz_{M2}^{(8)} = \{(-1,-1,-1)(1,1,1)\}$
7.	$\{Bz_{M1}^{(10)}, \cos(\alpha - K_1) \leq \cos 5,$ $\cos(\alpha + 180 - K_2) \leq \cos 5\}$	$S_{\omega 1}^o$	$Bz_{M2}^{(11)} = \{(1,1,-1)(1,1,-1)\}$
8.	$\{Bz_{M1}^{(12)}, \sin(\alpha - K_1) > 0\}$	$S_{\omega 1}^{cs}$	$Bz_{M2}^{(13)} = \{(1,1,-1)(-1,-1,-1)\}$
9.	$\{Bz_{M1}^{(12)}, \sin(\alpha - K_1) < 0\}$	$S_{\omega 1}^{cp}$	$Bz_{M2}^{(14)} = \{(-1,-1,-1)(1,1,-1)\}$

У дисертаційній роботі також розглянуті взаємодії в умовах зниженої видимості і встановлені нестандартні ситуації і взаємодії, координація яких не передбачена МППЗС-72.

Таким чином, в розділі приведено формальний опис взаємодії суден при небезпечному зближенні.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 3, 8, 9, 10, 11].

У **четвертому розділі** розглянуті розробка способу ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення і визначення виникаючої бінарної взаємодії та створення методу визначення координуєності бінарних взаємодій суден в ситуаціях небезпечного зближення, що являється другою і третьою складовими задачами дисертаційного дослідження.

Взаємодія Bz є способом (механізмом) узгодження стратегій (маневрів) розходження суден по попередженню небезпечного зближення і перетворенню поточної ситуації з підмножини збурених S_{ω} у ситуацію підмножини S_s безпечних ситуацій. Оскільки предметом розгляду дисертаційного дослідження є бінарні взаємодії Bz , які координують стратегії розходження D_1 і D_2 пари су-

ден c_1 і c_2 , то як основні характеристики взаємодії В_z доцільно розглянути координуємість стратегій $\text{Coor}(D_1, D_2)$.

Стратегії є координовані, якщо їх сумісне застосування веде до збільшення дистанції найкоротшого зближення D_{\min} , в цьому випадку $\text{Coor}(D_1, D_2)=1$. Якщо ж D_{\min} в результаті використання стратегій D_1 і D_2 зменшується, то $\text{Coor}(D_1, D_2)=-1$.

Для оцінки координуємісті парних стратегій розглянута зміна дистанції найкоротшого зближення D_{\min} , яка виникає при їх застосуванні. З цією метою в дисертації спочатку одержано вираз для похідної дистанції найкоротшого зближення D_{\min} по курсу судна K_1 , який має наступний вигляд:

$$\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1} = G_s \frac{DV_1}{V_o^3} [V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha)] [V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)], \quad (4)$$

де $G_s = \text{sign} [(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) \cos \alpha - (V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2) \sin \alpha]$.

Необхідно врахувати, що даний вираз має сенс тільки у тому випадку, коли судно з ціллю зближуються і справедлива нерівність $\dot{D} = V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha) < 0$.

Очевидно, зміна знаку похідної $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ відбувається при значеннях курсу судна K_1 , в яких $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1} = 0$. В дисертаційній роботі одержані вирази для таких курсів K_1 . Виявилось, що похідна $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ у загальному випадку обертається в нуль при шести значеннях курсу судна $K_{11} \dots K_{16}$:

$$\begin{aligned} K_{11} &= \alpha + \arccos[\rho^{-1} \cos(K_2 - \alpha)], & K_{12} &= \alpha - \arccos[\rho^{-1} \cos(K_2 - \alpha)], \\ K_{13} &= K_2 + \arccos \rho, & K_{14} &= K_2 - \arccos \rho, \\ K_{15} &= \alpha + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_2 - \alpha)], \\ K_{16} &= \alpha + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_2 - \alpha)], \end{aligned}$$

з яких істотними є тільки ті, які належать до підмножини курсів зближення.

Для аналізу виразу (4) проводилося імітаційне моделювання, в якому досліджувався зв'язок знаку і величини похідної $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ від її аргументів і швидкості зміни відстані \dot{D} .

З цією метою була написана комп'ютерна програма на мові високого рівня Delphi, інтерфейс якої приведений на рис. 1.

Програма розраховує і виводить значення дистанції найкоротшого зближення D_{\min} , швидкості зміни дистанції \dot{D} і зміни відстані найкоротшого зближення $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$. Також на верхньому графіку рис. 1 виводиться графічна залежність

\dot{D} від K_1 , а на нижньому графіку показана залежність $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ від K_1 .

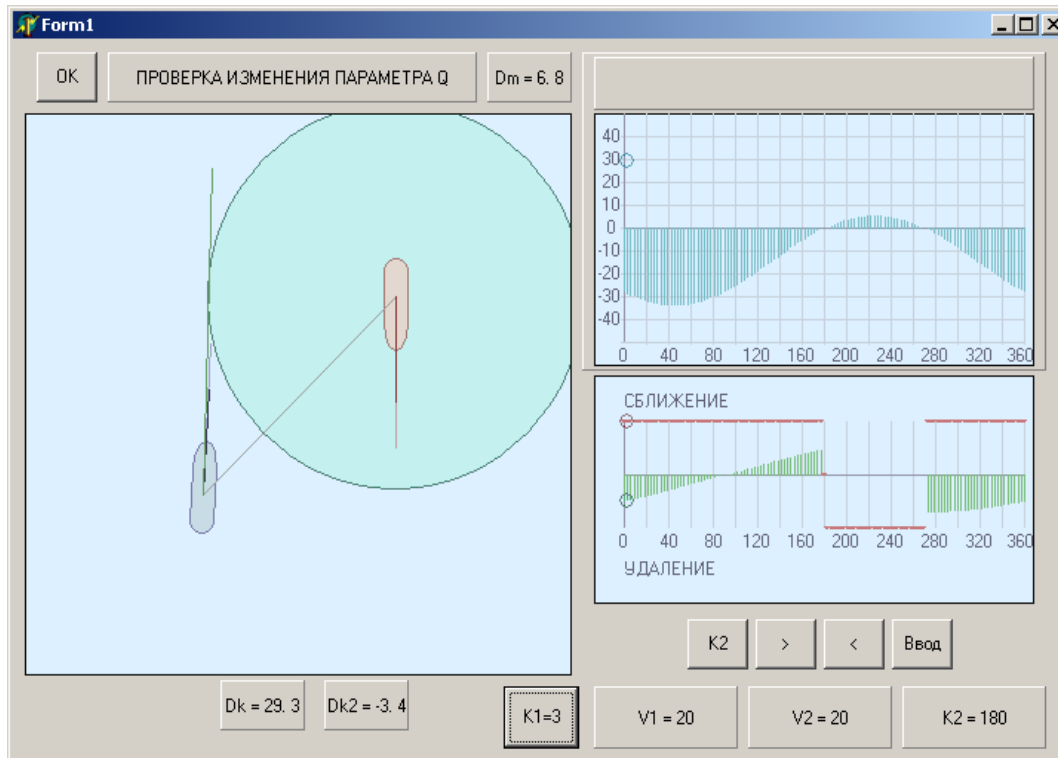


Рис. 1. Інтерфейс імітаційного моделювання залежності $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$

В результаті імітаційного моделювання були одержані наступні результати:

1. При $V_1=V_2$ і $K_2 < 180$ характер зміни D_{\min} стабільний, причому при $K_2 = 0$ значення D_{\min} тільки зростає, а у випадку $K_2 = 60$ і $K_2 = 120$ - тільки зменшується. Якщо $K_2 > 180$, то $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ може приймати різні знаки.

2. При $V_1 > V_2$ незалежно від значень K_2 похідна $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ має ділянку позитивних значень і ділянку негативних значень.

3. У випадку $V_1 < V_2$ для курсів цілі K_2 менше 180° похідна $\frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1}$ має по одній ділянці позитивного і негативного значення, а у разі величини K_2 більшої 180° дистанція D_{\min} має по дві ділянки зростання і зменшення, які чергуються один за одним.

Оскільки бінарні взаємодії передбачають зміну курсу обома суднами, то в дисертації одержана залежність зміни дистанції найкоротшого зближення D_{\min} від зміни курсів, як судна, так і цілі, причому:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D_{\min}}{\partial K_1 \partial K_2} = G_s \left\{ \left[\mp \frac{DV_1}{V_0^3} V_1 V_2 \sin(K_1 - K_2) \right] \frac{[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_0^2} + \right. \\ \left. + \frac{DV_1}{V_0} \times \frac{\mp V_2 \sin(K_1 - K_2) \{V_0^2 - 2V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]\}}{V_0^4} \right\} [V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha)] + \\ + \frac{DV_1}{V_0} \frac{[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_0^2} [-V_2 \sin(K_2 - \alpha)] \left. \right\}. \end{aligned}$$

В цьому випадку також проводилося імітаційне моделювання за допомогою комп'ютерної програми.

У табл. 3 приведені результати імітаційного моделювання, в якій для трьох ситуацій співвідношення швидкостей судна і цілі для різних значень різниці курсів судна і цілі ΔK вказані ділянки зростання і зменшення D_{\min}

Таблиця 3

Результати імітаційного моделювання

Перша ситуація $V_1 > V_2$				
Один знак зміни K_1 і K_2			Різні знаки зміни K_1 і K_2	
ΔK	зростання D_{\min}	зменшення D_{\min}	зростання D_{\min}	зменшення D_{\min}
0	0..90	270..0	0..93	270..0
60	40..130	310..40	25..55	235..25
120	20..110	290..20	35..70	250..35
180	0..90	270..0	0..90	270..0
240	340..70	250..340	325..110	290..325
300	325..50	230..325	340..125	305..340
Друга ситуація $V_1 < V_2$				
Один знак зміни K_1 і K_2			Різні знаки зміни K_1 і K_2	
ΔK	зростання D_{\min}	зменшення D_{\min}	зростання D_{\min}	зменшення D_{\min}
60	85..170	350..85	220..5	195..220
120	40..130	310..40	270..50	230..270
180	0..90	270..0	0..90	270..0
240	320..50	230..320	95..130	310..95
300	280..5	190..280	140..170	355..140

Третя ситуація $V_1 = V_2$		
Один знак зміни K_1 і K_2		
ΔK	зростання D_{\min}	зменшення D_{\min}
60	60..150	330..60
120	30..120	300..30
180	0..90	270..0
240	335..60	240..335
300	300..30	210..300

Бінарні взаємодії Bz_M можна розділити на два типи. До першого типу відносяться взаємодії, які передбачають при розходженні зміну курсу тільки одним активним судном. До другого типу віднесемо взаємодії, що передбачають зміну курсу обох суден.

Характеристика координуємості для ситуацій першого типу представлена в табл. 4.

Таблиця 4

Координуємість ситуацій першого типу

Правило	Ситуація	q_{2i}, q_{3i}	Bz	K_{2n}	K_{2k}	K_{1k}	Coor
15	$S_{\omega 1}^c$	1, -1	$Bz_M^{(12)}$	$\alpha + \pi$	$\alpha - 67,5$	α	1
13	$S_{\omega 1}^p$	1, 1	$Bz_M^{(5)}$	$\alpha - 67,5$	$\alpha + 67,5$	\bar{K}_1	1
18	$S_{\omega 1}^{r \neq}$	1, 1	$Bz_M^{(8)}$	-	-	-	1

Координуємість ситуацій другого типу представлена в табл. 5.

Таблиця 5

Координуємість ситуацій другого типу

Правило	Ситуація	Bz	q_{21}, q_{31}	q_{22}, q_{32}	« $x_1 x_2$ »	Coor
Перша область взаємних обов'язків $S_{\omega 1}$						
14	$S_{\omega 1}^o$	$Bz_M^{(11)}$	1, -1	1, -1	«+ +»	1
-	$S_{\omega 1}^{r > 2}$	$Bz_M^{(18)}$	-	-	-	-1
Друга область взаємних обов'язків $S_{\omega 2}$						
13	$S_{\omega 2}^p$	$Bz_M^{(24)}$	1, 1	1, 1	«+ +» «+ -»	-1, 1 1
Правило	Ситуація	Bz	q_{21}, q_{31}	q_{22}, q_{32}	« $x_1 x_2$ »	Coor
18	$S_{\omega 2}^{r \neq}$	$Bz_M^{(26)}$	1, 1	1, 1	«+ +» «+ -»	-1, 1 -1, 1
15	$S_{\omega 2}^c$	$Bz_M^{(31)}$	1, -1	1, 1	«+ +» «+ -»	-1 -1, 1

Третя область взаємних обов'язків $S_{\omega 3}$						
17	$S_{\omega 3}$	$BZ_M^{(36)}$	-	-	-	-1
Ситуації зниженої видимості						
19	$S_{\omega 01}$	$BZ_M^{(24)}$	1, -1	1, 1	«+ +» «+ -»	-1, 1 -1, 1
19	$S_{\omega 02}$	$BZ_M^{(30)}$	1, -1 -1, 1	1, 1	-	1
19	$S_{\omega 03}$	$BZ_M^{(33)}$	-	-	-	-1

Аналіз табл. 4 і табл. 5 дозволяє зробити наступні висновки:

1. Всі ситуації першого типу координовані, як і ситуація зближення на стрічних курсах $S_{\omega 1}^0$, що відноситься до ситуацій другого типу. Також є координованою ситуація $S_{\omega 02}$ в умовах зниженої видимості.

2. Ситуація другого типу зближення судна і мети однакового статусу більше другого $S_{\omega 1}^{>2}$ є некоординованою, як і ситуація надмірного зближення $S_{\omega 3}$ у третій області взаємних обов'язків.

3. Ситуації другого типу для другої області взаємних обов'язків є некоординовані через наявність другої області взаємних обов'язків, яка робить невизначеним поведінку судна, якій поступаються дорогою.

Таким чином, в розділі приведена розробка способу ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення і визначення виникаючої бінарної взаємодії та створення методу визначення координуєності бінарних взаємодій суден в ситуаціях небезпечного зближення.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [2, 4, 5, 6, 7, 10, 11].

У **п'ятому розділі** приведені результати імітаційного моделювання основних теоретичних результатів дисертаційного дослідження.

Приведений алгоритм ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення судна і цілі згідно вимогам МППЗС-72. Загальний алгоритм ідентифікації поточної ситуації S_i приведений на рис. 2.

У ньому прийняті наступні позначення:

$$Y1 = \{V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha)\} < 0,$$

$$Y2 = \{\max(\min D) < \min D_{\text{доп}}\},$$

$$Y3 = \{\min D_{\text{доп}} < \max(\min D) < D_{\text{доп}}\},$$

$$Y4 = \{D \sin(K_{\text{от}} - \alpha) < D_{\text{доп}}\}.$$

Для перевірки розробленого аналітичного методу, що дозволяє ідентифікувати будь-яку початкову відносну ситуацію, яка може виникнути між судном і ціллю, та при небезпечному зближенні визначити регламентовану МППЗС-72 взаємодію, була розроблена комп'ютерна імітаційна модель.

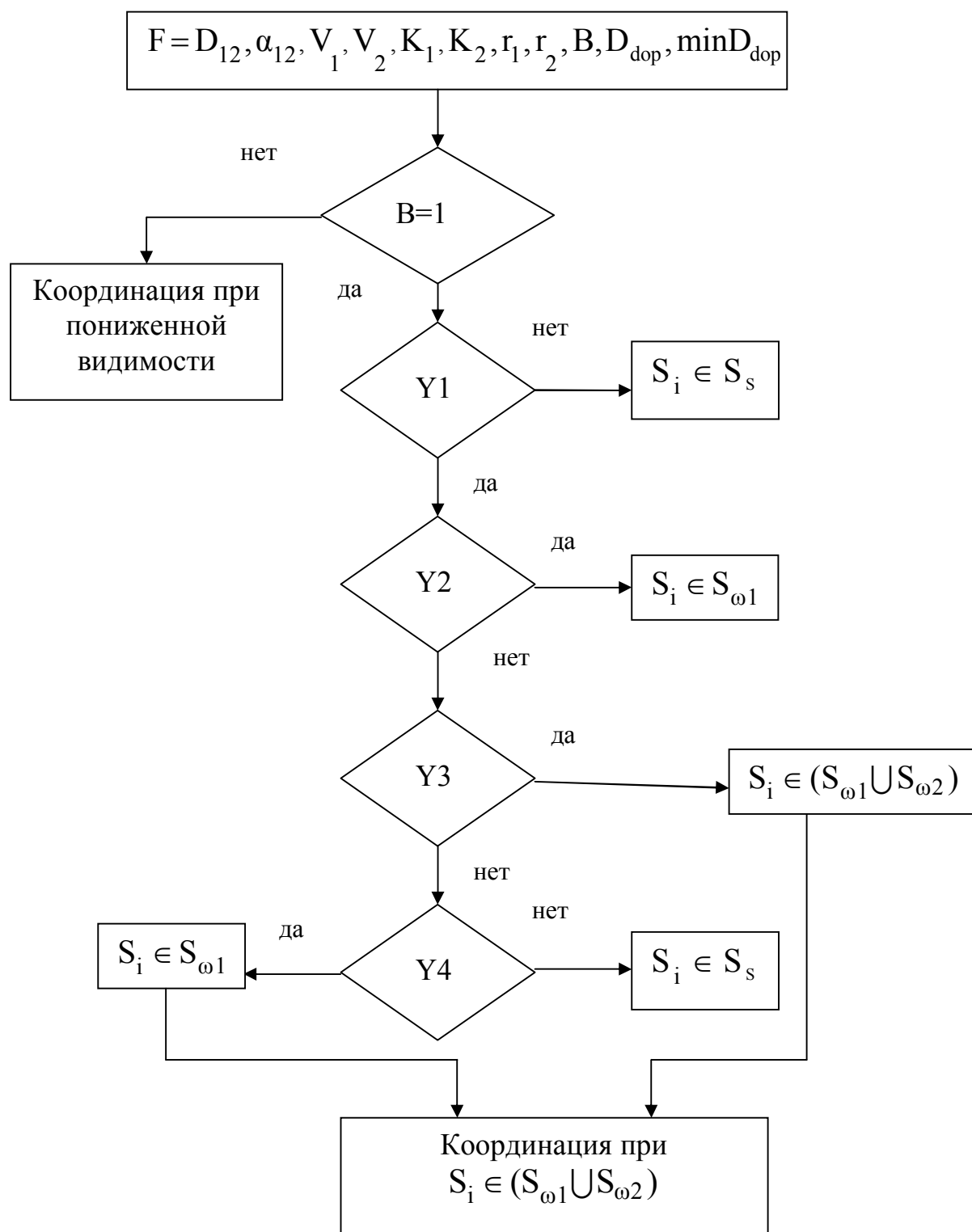


Рис. 2. Загальний алгоритм ідентифікації поточної ситуації S_i

В розділі описане застосування імітаційного моделювання для дослідження залежності зміни дистанції найкоротшого зближення від поточного курсу судна при повороті з урахуванням незмінних параметрів руху цілі.

Проведено імітаційне моделювання залежності дистанції найкоротшого зближення від одночасної зміни курсу судна і курсу цілі, причому розглянуто два випадки, коли відбувається одночасний поворот судна і цілі в одну сторону і їх повороти в різні боки.

ВИСНОВКИ

При виникненні загрози зіткнення суден характер маневру їх розходження визначають Міжнародні правила попередження зіткнень суден, які містять систему бінарної координації, регламентуючу поведінку суден для безпечного розходження.

Проте, питання формалізації взаємодії суден і особливо їх координуємісті мало досліджені, хоча проблема дуже актуальна, оскільки її рішення дозволяє забезпечити вищий рівень безпеки розходження суден, що обумовлює актуальність і перспективність даного дисертаційного дослідження.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки методу ідентифікації початкової ситуації небезпечного зближення суден, визначення її координуємісті і відповідних ухилень, який відрізняється урахуванням особливостей взаємодії суден в ситуації, що виникла, і дозволяє вибрати безпечний маневр розходження.

У результаті проведеного наукового дослідження вперше:

- запропоновано метод формального опису взаємодій суден при небезпечному зближенні і виникненні загрози зіткнення;
- розроблено спосіб ідентифікації ситуацій небезпечного зближення передбачених МППЗС-72 і бінарної взаємодії, що реалізувалася;
- запропоновано метод оцінки координації бінарних взаємодій суден при небезпечному зближенні;
- одержані залежності зміни дистанції найкоротшого зближення тільки від зміни курсу судна, а також при одночасному повороті судна і цілі;
- розроблена формальна модель МППЗС-72 і визначена координуємість взаємодій, що регламентуються МППЗС-72.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені: в компанії ТОВ «Морське Агентство» Україна »при підготовці вантажних помічників капітану (акт від 29.05.2014 р), центрі підготовки моряків -« Авант »- для предресовою підготовки судноводіїв (акт від 27.05. 2014), а також у навчальних програмах дисциплін ОНМА: спеціальності судноводіння (акт від 16.09.2015 р).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Цымбал Н.Н. Учет ограничений МППСС-72 при выборе маневра расхождения судов/ Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение. – 2006. - № 11. - С. 134 – 138. (*здобувачу належить формальний опис обмежень МППЗС-72*).
2. Цымбал Н.Н. Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении / Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 124 – 129. (*здобувачу належить формалізація МППЗС-72*).
3. Бужбецкий Р.Ю. Алгоритм идентификации начальных ситуаций опасного сближения судов в рамках МППСС-72/ Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение.- 2007. – № 13. – С. 124 – 129.
4. Цымбал Н.Н. Стратегии расхождения судов, учитывающие требования МППСС-72 / Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 21. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012 - С. 243-247
5. Бужбецкий Р.Ю. Определение структуры маневра расхождения с несколькими судами с учетом бинарной координации / Бужбецкий Р.Ю.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 21. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012 - С. 22-25.
6. Бужбецкий Р.Ю. Типы взаимодействия судов при опасном сближении/ Бужбецкий Р.Ю. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта: Вестник ГМУ им. адм. Ушакова/ ГМУ, Вып. 1(6) 2014. –Новороссийск, 2014 – С. 16-19.
7. Бужбецкий Р.Ю. Определение структуры маневра расхождения с несколькими судами с учетом требований МППСС-72 / Бужбецкий Р.Ю. // Мат. наук. - метод. конф. "Судовождение: перевозки, технические средства, безопасность". – Одеса. -2012.- С.139-140.
8. Бужбецкий Р.Ю. Выбор маневра расхождения судов с учетом требований МППСС-72 / Бужбецкий Р.Ю.// Мат. VI Всеукраїнської науково-технічної конф."Ефективна та безпечна експлуатація морських суден та споруд". - Севастополь.- 2013 .- С.122-125.
9. Бужбецкий Р.Ю. Формализация взаимодействия судов, предписанных МППСС-72/ Бужбецкий Р.Ю. // Мат. наук. - метод. конф. "Судовождение: перевозки, технические средства, безопасность". – Одеса. -2013.- С.77-80.
10. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака А.И., Бурмака И.А., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014 – 202с.
11. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015.-312 с.

АНОТАЦІЯ

Бужбецький Р.Ю. Вдосконалення методів попередження зіткнення суден з урахуванням особливостей їх взаємодії. – Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.13 – навігація і управління рухом. Одеська національна морська академія, Одеса, 2014 р.

Дисертаційна робота присвячена забезпеченню безпеки розходження суден в ситуації небезпечного зближення шляхом розробки методу, що враховує особливості їх взаємодії.

Одержані процедури визначення приналежності заданої початкової ситуації до стандартних підмножин областей взаємних обов'язків, які в сукупності представляють метод ідентифікації ситуацій небезпечних зближень.

В роботі представлений спосіб визначення взаємодії для ситуації небезпечного зближення, що реалізувалася, причому взаємодія представлена двома процедурами, одна з яких задає умову реалізації взаємодії, а друга – поведінку кожного з взаємодіючих суден.

Представлено формальний опис МППЗС-72 в частині маневрування суден, як системи бінарної координації, причому визначені області взаємних обов'язків, відповідні їм ситуації небезпечного зближення і відповідні способи поведінки. Розглянута координація бінарних взаємодій і запропонований спосіб її формалізації.

Показано, що координуємість взаємодії визначається зміною дистанції найкоротшого зближення, викликаного маневрами суден зазначеною взаємодією.

Одержана аналітична залежність зміни дистанції найкоротшого зближення від курсу судна, що виконує ухилення, при незмінних параметрах руху другого судна. Для взаємодій, що передбачають маневрування обох суден, одержана аналітична залежність зміни дистанції найкоротшого зближення від курсів обох взаємодіючих суден з урахуванням сторони повороту.

Коректність одержаних аналітичних залежностей підтверджена імітаційним моделюванням. Виконана оцінка координуємість взаємодій, передбачених МППЗС-72.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, області взаємних обов'язків, координуємість взаємодій, імітаційна модель.

АННОТАЦИЯ

Бужбецкий Р.Ю. Совершенствование методов предупреждения столкновения судов с учетом особенностей их взаимодействия. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность

05.22.13 – навигация и управление движением. Одесская национальная морская академия, Одесса, 2015 г.

Диссертационная работа посвящена обеспечению безопасности расхождения судов в ситуации опасного сближения путем разработки метода, учитывающего особенности их взаимодействия.

В зависимости от уровня опасности возможного столкновения ситуации опасного сближения и соответствующие им взаимодействия относятся к разным областям взаимных обязанностей.

Получены процедуры определения принадлежности заданной начальной ситуации к стандартным подмножествам, которые в совокупности представляют метод идентификации ситуаций опасных сближений.

В работе представлен способ определения взаимодействия для реализованной ситуации опасного сближения, причем взаимодействие представлено двумя процедурами, одна из которых задает условие реализации взаимодействия, а вторая – предписывает поведение каждого из взаимодействующих судов.

Произведено формальное описание МППСС-72 в части маневрирования судов, как системы бинарной координации, причем определены области взаимных обязанностей, соответствующие им ситуации опасного сближения и регламентируемые способы поведения. Рассмотрены взаимодействия в условиях хорошей и пониженной видимости.

Рассмотрена координация бинарных взаимодействий и предложен способ ее формализации.

Показано, что координируемость взаимодействия определяется изменением дистанции кратчайшего сближения, вызванного маневрами судов предписанным взаимодействием.

Получена аналитическая зависимость изменения дистанции кратчайшего сближения от курса судна, выполняющего уклонения, при неизменных параметрах движения второго судна. Имитационным моделированием произведена проверка корректности полученной зависимости.

Для взаимодействий, предусматривающих маневрирование обоих судов, получена аналитическая зависимость изменения дистанции кратчайшего сближения от курсов обоих взаимодействующих судов с учетом стороны поворота, когда поворот обоих судов производится в одну сторону или в противоположные стороны.

Корректность полученных аналитических зависимостей подтверждена имитационным моделированием. Произведена оценка координируемости взаимодействий, предусмотренных МППСС-72.

Ключевые слова: безопасность судоходства, предупреждение столкновений судов, области взаимных обязанностей, координируемость взаимодействий, имитационная модель.

ANNOTATION

Bugbetskiy R. Perfection of methods for vessels collision avoidance taking into account the peculiarity of their interaction. - The dissertation is the manuscript. The dissertation is on competition of scientific degree of candidate of engineering sciences. Speciality 05.22.13 – navigation and traffic control. Odessa national maritime academy, Odessa, 2015.

Dissertation work is devoted to development the method for preventing ship's collision which takes into account peculiarity of their interaction.

Interaction between vessels depend of the close quarter situation and the range of responsibilities (Rule 17 of COLREG).

In the dissertation the method of identification close water situations received.

Each of the vessels involved as estimation can get different ranges of mutual duties at the same beginning position. Therefore, observing the COLREG requirements, the vessels are forced to make decision of existing risk of collision and choice of proper strategy for safe passing in the the close quarter situation.

Procedures of determination of belonging of the set initial situation to standard groups which in an aggregate represent the method of authentication of situations of dangerous rapprochements are got.

In work co-operation of vessels is represented by two procedures, one of which sets the condition of realization of co-operation, and second – orders the conduct of each of interactive ships.

The formal specification COLREG - 72 in part of maneuvering of vessels is produced, as systems of binary co-ordination, the regions of mutual duties are thus certain, proper to them situations of dangerous rapprochement and regulated methods of conduct.

Co-ordination of binary co-operations is considered and the method of its formalization is offered.

Collected analytical dependence of change of distance of the CPA from the course of ship executing deviations, at the unchanging parameters of motion of the target. For co-operations foreseeing maneuvering of both vessels, collected analytical dependence of change of CPA from the courses of both interactive vessels taking into account the side of turn.

Correctness of the got analytical dependences is confirmed by the imitation design.

Keywords: safety of navigation, risk of collision, region of mutual duties, co-ordination of binary co-operation, ships interaction.

Підп. до друку 25.03.2016. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И16-03-75

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