ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ

**Алексішин Андрій Вікторович**

УДК 656.61.052.484

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ БЕЗПЕЧНОГО РУХУ СУДНА**

05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Одеса – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній морській академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктортехнічних наук, професор **Вагущенко Леонід Леонідович,** Одеська національна морська академія, завідуючий кафедрою електронних комплексів судноводіння

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Гладких Ігор Іванович,** Одеська національна морська академія, декан факультету судноводіння на морських і внутрішніх водних шляхах

кандидат технічних наук **Дуднік Сергій Антонович**, провідний фахівець ТОВ «Каалбай Шипинг», м. Одеса

Захист відбудеться 17 квітня 2008 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Одеській національній морській академії за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідання вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської національної морської академії за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2.

Автореферат розісланий " 14" березня 2008 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,

д.т.н., професор В.В. Тарапата

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Переважна більшість навігаційних аварій морських суден трапляється в стислих водах, що обумовлено складністю умов плавання в них і недостатнім рівнем забезпечення процесу судноводіння ефективними методами і засобами в таких районах. Подальша розробка систем забезпечення безпеки і сучасне технічне оснащення суден практично мало вплинуло на зниження аварійності в стислих районах через зростаючі інтенсивність судноплавства, швидкості та габарити суден.

Тому заходи, які передбачають вдосконалення методів судноводіння в стислих водах, ведуть до підвищення безпеки судноводіння, що обумовлює зростання рівня охорони людського життя на морі, попередження екологічних катастроф і зниження економічних втрат, виникаючих при навігаційних аваріях.

Необхідність підвищення рівня безпеки судноводіння в стислих водах і відсутність методу формування зони безпечного руху судна або безпечної суднової зони (обидва терміна широко представлені у спеціальній літературі з судноводіння і тому мають право на рівне застосування у роботі) відповідає сучасним запитам практики і визначає актуальність та перспективність теми дисертаційних досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи пов'язана з «Державною програмою вдосконалення функціонування державної системи забезпечення безпеки судноплавства на 2002-2006 роки» (Постанова КМ України від 28.01.2002 р., №296) та темами держбюджетних науково-дослідних робіт «Удосконалення методів безпечного судноводіння в складних умовах плавання» (№ ДР 0103U006406) і «Підвищення безпеки управління суднами під час морських перевезень» (№ ДР 0106U002117), в яких автору належать самостійно виконані розділи.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення безпеки судноплавства шляхом створення методу формування зони безпечного руху судна в стислих водах. Головна задача дослідження полягає в синтезі алгоритму формування зони безпечного руху судна в стислих водах.

У дисертаційному дослідженні загальне рішення головної задачі забезпечується трьома складовими:

- розробка способу розрахунку параметрів зони безпечного руху судна в просторі відносного руху;

- пошук процедури відображення відносної зони безпечного руху судна в просторі істинного руху;

- використання зони безпечного руху судна при плаванні в стислих водах.

*Об'єктом дослідження*являється процес судноводіння в стислих водах.

*Предметом дослідження*є зона безпечного руху судна.

Для вирішення поставлених в дисертації задач були застосовані наступні **методи досліджень**:

- дослідження операцій при декомпозиції головної задачі на незалежні складові;

- теорії вірогідності в частині випадкових багатовимірних величин для опису математичної моделі формування стохастичної складової зони безпечного руху судна яка залежить від точності контролю місця судна;

- теорії похибок для опису ситуацій системи залежних і незалежних випадкових величин при формуванні зони безпечного руху судна;

- теорії управління судном;

- розробки імітаційної моделі визначення зони безпечного руху судна.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному.

1. Підтверджена гіпотеза про те, що сукупність істотних параметрів навігаційної ситуації та інерційно-гальмівні характеристики судна можуть бути представлені у вигляді зони безпечного руху судна, яка характеризує поточну безпеку плавання.

2. Розроблено спосіб розрахунку параметрів зони безпечного руху судна, відмінний тим, що при завданих двовимірній густини імовірностей розподілу місця судна, його габаритів, інерційно-гальмівних характеристик і параметрів навігаційної ситуації дозволяє оцінити поточну безпеку плавання судна і визначити істинні курси ухилення судна при зближенні з рухомою ціллю і нерухомими навігаційними перешкодами.

3. Одержала подальший розвиток модель відображення зони безпечного руху судна з простору відносного руху в просторі істинного руху.

4. Вдосконалена процедура використання зони безпечного руху судна при плаванні в стислих водах.

**Практичне значення одержаних результатів**. Запропонований в роботі спосіб розрахунку зони безпечного руху судна можна використовувати не тільки стосовно морських суден, але і для інших рухомих об'єктів, що володіють істотною інерційністю і знаходяться в стислих водах.

Алгоритми і програми, одержані в дисертації, доцільно використовувати на суднах для формування зони безпечного руху судна, запропонований в дисертації спосіб рекомендується використовувати в суднових інформаційних системах спільно з електронними картами, в учбовому процесі і при підвищенні кваліфікації.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в компаніях «.Ships» та «Епсилон» для тренінгу судноводійського складу (акти впровадження від 15.11.2007 р. та 22.10.2007 р.), а також використані в учбовій програмі ОНМА з дисціпліни «Засоби автоматизованої радіолокаційної прокладки та радіолокаційний тренажер» (акт впровадження від 21.09.2007 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати і розробки, які наведені у дисертації та виносяться на захист, автором одержані самостійно.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях: «Стан та проблеми судноводіння», м. Одеса, 24-26 жовтня 2005 р.; «Інтегровані комплекси транспортних засобів та безпека судноплавства», м. Одеса, 23-24 травня 2006 р.; «Підвищення безпеки управління суднами під час морських перевезень», м. Одеса, 10-11 жовтня 2007 р.

**Публікації**. Основний зміст дисертації опублікований у 5 статтях у збірнику наукових праць ОНМА «Судноводіння», що входить до Переліку ВАК, та матеріалах трьох науково-технічних конференцій.

**Структура й обсяг роботи*.*** Робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, додатку та списку використаних джерел з 117 найменувань. Повний об'єм роботи – с., у тому числі: 172 с. основного тексту, рис., 11 с. списку літератури, 4 с. додатку.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ**

**Перший розділ** дисертації присвячений огляду наукової літератури з основних аспектів дослідження проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих водах.

Як свідчать автори, до основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих водах відносяться питання керованості суден і їх управління, проблема попередження зіткнень суден при надмірному зближенні, питання забезпечення безпеки судноводіння шляхом підвищення точності контролю місця судна та питання формалізації перехідних процесів руху суден і розрахунку їх інерційно-гальмівних характеристик.

Значне число публікацій присвячено моделюванню руху судна в стислих водах і виконання різних маневрів, що сприяє ефективнішому і безпечнішому плаванню судна в них. Також пропонується використання концепції ризику в моделях для призначення динамічних індексів ризику певним категоріям суден, залежно не тільки від статичних параметрів (вік судна, його прапор, клас, тип вантажу), але і від таких чинників як умови судноплавства і погода в даному районі плавання.

Актуальним напрямком є синтез законів автоматичного управління рухом судна завданим курсом з фіксованим кутом дрейфу, зокрема нульовим, а також із завданою швидкістю поперечного руху судна при швартуванні з одночасною стабілізацією завданого курсу. Для підвищення ефективності роботи існуючих авторульових приводяться закони логічного управління рухом судна, які стали можливими завдяки тому, що система стабілізації судна повністю спостережувана і керована. Ця властивість досягнута використовуванням носових підрулюючих пристроїв і приймача супутникової навігаційної системи.

Різні автори, у тому числі А.С. Мальцев, М.М. Цимбал, мірою небезпечного зближення суден вибирають різні характеристики, до яких, перш за все, відноситься ризик зіткнення суден, що має міру вірогідності. Важливим поняттям при оцінці ризику зіткнень також є, так звана, безпечна суднова зона - оточуючого судно водного простору, який повинен бути вільним від рухомих і нерухомих об'єктів. Фактично поняття безпечної суднової зони є розвитком загальноприйнятого поняття допустимої відстані найкоротшого зближення, узагальнення його на двовимірний випадок, коли радіус зони є змінною величиною, причому зона може мати різну геометричну форму.

Такою фігурою офіційно прийнято круг, в центрі якого знаходиться судно, а двовимірна зона характеризується одновимірним радіусом круга, що називається гранично допустимою дистанцією найкоротшого зближення. В якості безпечної суднової зони у ряді робіт пропонується еліпс, або вказуються тільки максимальні розміри зони без визначання ії форми.

Конфігурація і розміри безпечної суднової зони, як указується у ряді робіт, залежать від численних чинників, до яких в першу чергу відносяться курсовий кут, розміри і маневрені характеристики суден, відносна швидкість їх зближення, інтенсивність руху суден і гідрометеорологічні умови. Проте ніхто з авторів не пропонував спосіб розрахунку зони безпечного руху судна з урахуванням більшості цих чинників .

**В другому розділі** на підставі системного підходу виконаний вибір теми дослідження зв’язаний з проблемою безпеки плавання судна в стислих водах за наявності цілей, що маневрують і нерухомих небезпек, міститься опис методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, викладено обґрунтування його тематики і приведена методика проведення дисертаційного дослідження. При цьому вказуються використанні методи для вирішення головної та складових задач.

В розділі визначена мета дисертаційного дослідження, його головна задача, виконана постановка наукового дослідження. Виходячи з тематики дисертаційного дослідження, запропонована його робоча гіпотеза, згідно якої вплив основних чинників на безпеку судноводіння виражається формуванням безпечної області навколо судна.

Для відображення системності дисертаційного дослідження розроблена технологічна карта, яка відображає методологію виконання дисертації. Головна задача дослідження представлена трьома складовими задачами. Рішення кожної з яких є науковим результатом. Для вирішення поставлених в дисертації задач були застосовані методи: дослідження операцій при декомпозиції головної задачі на незалежні складові; теорії вірогідності в частині випадкових багатовимірних величин для опису математичної моделі формування стохастичної складової зони безпечного руху судна, яка залежить від точності контролю місця судна; теорії похибок для опису ситуацій системи залежних і незалежних випадкових величин при формуванні зони безпечного руху судна; теорії управління судном; розробки імітаційної моделі визначення зони безпечного руху судна.

Показані практична значущість і наукова цінність дисертації, які забезпечені теоретичними результатами і імітаційним моделюванням. Узагальнення теоретичних результатів наукового дослідження дозволило сформулювати наукове положення дисертаційної роботи.

**Третій розділ** присвячено вирішенню першої та другої складових задач – визначенню способу розрахунку параметрів безпечної суднової зони у просторі відносного руху та пошуку процедури її відображення у просторі істинного руху. Проведене обґрунтування основних чинників, що визначають форму і розміри безпечної суднової зони.

Для вирішення цих задач була використана теорія вірогідності в частині випадкових багатовимірних величин для опису математичної моделі формування стохастичної складової безпечної судової зони, яка залежить від точності контролю місця судна та теорія похибок для опису ситуацій системи залежних і незалежних випадкових величин при формуванні зони безпечного руху судна;Попередній аналіз проблеми формування безпечної суднової зони показав, що її геометрична форма і розміри визначаються наступними основними чинниками, до яких відносяться:



- точність визначення місця судна, яка задана, в кращому разі, щільністю розподілу вірогідністей f(x,y) двовимірної векторіальної похибки щодо обсервованого місця судна, або коваріаційною матрицею – в гіршому.

- габарити судна (довжина і ширина), передбачувані габарити цілей і ракурси суден;

- інерційність судна, що характеризується його поворотністью і гальмівними характеристиками, які бажано представити математичною моделлю у вигляді диференціальних рівнянь.

Геометричне представлення першого чинника полягає в пошуку двовимірної області , яка із завданою вірогідністю , близькою до одиниці, містила б істинне місце судна. Для пошуку області потрібно знайти рішення рівняння:



У загальному випадку рішенням такого рівняння є деяка множина областей, з яких слід вибрати оптимальну, наприклад ту, що має мінімальні розміри. Так, якщо щільність розподілу вірогідностей f(x,y) підкоряється нормальному закону, то найбільш економною областю є еліпс. Причому орієнтація і форма області не залежить від курсу судна, а визначається геометрією ліній положення, їх точністю і маргінальним законом розподілу похибок навігаційних вимірювань.



При формуванні безпечної суднової зони судно не можна розглядати у вигляді крапки, площу судна в площині горизонту необхідно враховувати спільно з областю , причому габарити судна в першому наближенні доцільно враховувати таким чином: межа області зміщується на половину довжини судна по напряму діаметральної площини і на половину ширини перпендикулярно їй. Одержану область з урахуванням габаритів судна позначена (рис.1). Якщо приріст до області розглянути у вигляді радіальних приростів поточного радіусу кривизни щодо центру області, то максимальні значення досягаються у напрямі діаметральної площини і рівня L/2, а мінімальні – перпендикулярно діаметральній площині і складають B/2.



Завершальним, третім чинником є урахування динаміки рухомого судна, що обумовлює необхідність додаткового запасу простору для маневру. Цей чинник враховується у вигляді деякої області в просторі істинного, а частіше відносного руху.



Рис 1. Урахування габаритів судна при формуванні безпечної зони

Якщо йдеться про попередження зіткнення суден, то, природно, область задається в просторі відносного руху. У найпростішому випадку область задається в просторі відносного руху кругом з радіусом, рівним гранично допустимій дистанції найкоротшого зближення. Оскільки область задана в просторі істинного руху, то і область необхідно з простору відносного руху відобразити в простір істинного руху, і одержану область об'єднати з областю .



Операція перетворення області відносного руху у відповідну область істинного руху передбачає відображення точок границі області в простір істинного руху.



Для безпечної зони судна необхідно здійснити сумісне урахування областей і , тобто . Аналіз можливих альтернатив показав, що доцільним є спосіб складання полярних координат границі області , завданої щодо обсервованого місця судна, з полярними координатами області , одержаним щодо того ж початку координат, як показано на рис. 2.



Для пошуку двовимірної області Z1 використовувався розподіл Гауса, який відноситься до стійких розподілів, а його двовимірна щільність для випадку залежних похибок вимірювань має вигляд:

,



де і - середні квадратичні відхилення векторіальної похибки відповідно по осях *x* і *у*, а , причому - другий змішаний момент. Якщо похибки вимірювань навігаційних параметрів залежні, то за допомогою методу обертань з коваріаційної матриці можна виключити недіагональний елемент, тобто другий змішаний момент . При цьому змінюються значення дисперсій і , які характеризують діагональну коваріаційну матрицю, яка позначена , а нові значення дисперсій - і , тобто:



Рис 2. Об’єднання областей і в безпечну зону судна



.



Вирази для і приймають вигляд:



;



.



Після вказаних перетворень вираз двовимірної щільності приймає наступний вигляд:



,



причому півосі еліпса є функціями дисперсій і , а також вірогідність попадання істинного місця судна в заданий еліпс.



Якщо півосі еліпса позначити через *а* (велика) і *b* (менша), то задачу побудови області формулюється таким чином: знайти півосі еліпса *а* і *b*, зберігаючи незмінним його стиснення, при яких виконується рівність:



=.



Дане рівняння рішається таким чином. Спочатку максимальне значення *h* щільності розподілу вірогідностей знаходиться з виразу:



.



Область двовимірної щільності, яка відсікається площиною 1-1, як показано на рис. 3, рівна по величині гранично допустимій вірогідності , є сумою складових, що мають форму еліпса, товщиною *h*. Якщо кожну складову позначити , то: .



Рис. 3. Пошук параметрів стохастичної області Z1

Починаючи з першої, верхньої, еліптичної складової з мінімальними півосями, додаються подальші складові, причому ведеться контроль за сумою складових. Коли сума складових найближче рівна значенню, то півосі останньої складової є шуканими параметрами стохастичної області .



При цьому визначається кут , під яким еліпс орієнтований відносно опорної системи координат з допомогою виразу:

.



Урахування динаміки рухомого судна при формуванні безпечної суднової зони вимагає додаткового запасу простору для маневру, яке, як правило, є деякою областю, причому її доцільно задавати в просторі відносного руху, з тим, щоб уникнути можливих зіткнень зі стрічними суднами. Для нерухомих об'єктів, зона буде задана в просторі істинного руху. Саме в просторі істинного руху задані інші складові безпечної суднової зони (за габарити судна, за точність контролю його місця), тому область, що враховує динаміку судна, необхідно відобразити з простору відносного в простір істинного руху. Таке відображення можливе в три етапи: спочатку необхідно завдати аналітичний вираз для області в просторі відносного руху, потім записати цей вираз в полярних координатах відносно судна або цілі і, нарешті, виконати перетворення кожної точки границі безпечної суднової зони з простору відносного руху в простір істинного.



У простому випадку, як вже наголошувалося, область задається в просторі відносного руху кругом радіусу *R*, рівним гранично допустимій дистанції найкоротшого зближення.У роботі показано, що рівняння кола в полярних координатах і відносно центру, розташованого по пеленгу і дистанції від судна, має наступний аналітичний вираз:



, ,



де - вільний параметр, що змінюється від нуля до 2р.



Якщо область задається еліпсом з великою *b* і малої *а* півосями, його також можна задати в параметричному вигляді, аналогічно попередньому випадку, тільки необхідно ввести змінний радіус *R*:



.



В цьому випадку прямокутні координати еліпсу розраховуються слідуючими формулами:

і .



Потім за допомогою стандартної процедури необхідно виконати поворот системи координат на величину курсу судна і врахувати зміщене положення центру еліпса щодо центру судна. Перетворення в полярні координати і здійснюється згідно вищенаведеним виразам.



Якщо безпечна зона задається лише шириною *b* і завдовжки по носу та кормі судна значеннями і , то її доцільно використовувати у вигляді прямокутника із заданими параметрами (рис. 4), який визначається чотирма кутовими крапками 1, 2, 3 і 4, завданими відносно центру судна.



З урахуванням курсу судна *K* і положення його центру, в опорній системі координат, координати кутових крапок 1, 2, 3 і 4 в цій же координатній системі визначаються наступними виразами:



=+, =+,



=+, =+,



=+, =+,



=+, =+.



Враховуючи, що безпечна суднова зона має прямокутну форму, то її границею між сусідніми кутовими крапками є пряма лінія.

Завершальним етапом є перетворення полярних координат *D* і ** кожної точки границі безпечної суднової зони з простору відносного руху в полярні координати *L* і ** простору істинного руху, з допомогою формул:

, при *p* > 0;



, при *p* =1;



, при *p* < 1 і  > 0,



, при *p* < 1 і  < 0,



де *p* – відношення швидкості судна до швидкості цілі,  - відносне ухилення.

,



де і - відповідно швидкість судна і відносна швидкість.



Таким чином результатами вирішення перших двох складових задач явились розробка наукового способу, який містить метод розрахунку параметрів зони безпечного руху судна в просторі відносного руху і процедуру відображення відносної зони безпечного руху судна в просторі істинного руху.

**Четвертий розділ** присвячений вирішенню третьої складової задачі – застосуванню безпечної суднової зони при управлінні судном в обмежених водах. В розділі розроблена процедура врахування інерційності судна при формуванні безпечної зони, для чого використовується математична модель обертального руху судна, яка представлена диференційним рівнянням зміни його курсу залежно від кута перекладання керма. Рішення цього завдання виконано методами управління судном.

Формування безпечної суднової зони з урахуванням його інерційності при повороті здійснюється таким чином. Якщо кут ш між напрямами руху судна і навігаційної небезпеки (рис.5) не рівний нулю і навігаційна небезпека перешкоджає реалізації програмної траєкторії судна, то існує гранична відстань між судном і навігаційною небезпекою, на якому судно повинне почати поворот, траєкторія якого не потрапляє в область навігаційної небезпеки (рис. 5).



Для побудови безпечної суднової зони , з урахуванням параметрів поворотності судна (у простому випадку радіус циркуляції ) необхідно знайти залежність величини граничної відстані між судном і навігаційною небезпекою від кута ш орієнтації навігаційної небезпеки в судновій системі координат. При цьому сукупність таких дистанцій в функції кута ш являє собою безпечну суднову зону .



У простому випадку динамічна модель описує обертальний рух судна з постійною кутовою швидкістю , пропорційною куту кладки керма , а зміна курсу судна описується виразом:,



де , а коефіцієнт ефективності рулювання.



Для цього випадку одержана залежність дистанції від кута ш, що має вигляд:



, при ,



де - радіус циркуляції судна, причому .



На рис. 6 показана безпечна суднова зона, одержана описаним способом при повороті судна праворуч.

Рис. 6. Суднова зона при повороті судна праворуч в залежності від курсового кута Ш



В дисертації показаний підхід більш точного урахування інерційності судна при повороті за допомогою математичної моделі його обертального руху, яка представлена диференційним рівнянням третього порядку зміни курсу.

В деяких випадках виникає необхідність застосовувати гальмування судна, що обумовлює урахування даного маневру в описі безпечної суднової зони. Оскільки формування безпечної суднової зони проводиться в припущенні використовування найефективніших маневрів, то в роботі розглянуте активне гальмування. Причому основною характеристикою для формування безпечної зони є відстань, необхідна для повної зупинки судна.

Ця відстань, як показано в роботі, розраховується по формулі:

.



У приведеному виразі - швидкість, яка виникає від упору гвинта на задній хід, - початкова швидкість судна, а - мінімально можлива (близька до нуля) швидкість в режимі активного гальмування.



Розрахована відстань характеризує запас дистанції судна на одному напрямі: прямо по носу, і залежить від інерційно-гальмівної характеристики, яка виражається відношенням .



За визначенням, для попередження навігаційних аварій безпечна суднова зона при плаванні судна повинна бути вільна від будь-яких рухомих і нерухомих об'єктів. Тому принцип управління судном з урахуванням безпечної суднової зони передбачає вибір такої траєкторії руху судна, щоб в зону не потрапляли навігаційні перешкоди і розходження з небезпечною ціллю здійснювалося без їх попадання в зону . Слід зазначити, що при маневруванні по розходженню з небезпечною ціллю зона повинна задаватися в просторі відносного руху, а для нерухомих об'єктів, зона задається в просторі істинного руху.



Оскільки при використанні зон безпеки (окрім круга) значення гранично-допустимої дистанції найкоротшого зближення між судном і ціллю є змінним, яке залежить від відносного положення суден, то існуюча оцінка виявлення

небезпеки зближення шляхом порівняння найкоротшої і гранично-допустимої відстаней стає некоректною. В даному випадку замість гранично-допустимої дистанції потрібно оперувати поняттями граничних пеленгів на зону безпеки судна, які обмежують сектор неприпустимих відносних курсів, що ведуть до попадання цілі в зону безпеки судна. Тому необхідно розглянути метод розрахунку граничних пеленгів до зони безпеки цілі для випадків, коли її форма не є кругом.

Найскладнішим є випадок, коли безпечна суднова зона представлена еліпсом зі зміщеним центром (рис. 7), тому розрахунок граничних пеленгів розглянуто саме для цього випадку.

При розрахунку екстремальних значень пеленгів і спочатку обчислюються значення чотирьох пеленгів, , , і за допомогою наступних виразів:



= ,



= ,



= ,



= ,



де значення і знаходяться за допомогою виразів:



,



.



Тут прийняті позначення:

, .



Екстремальні значення пеленгів знаходяться за допомогою виразів:

= min{,,,}, = max{,,,}.



Слід зазначити, що вибір безпечних курсів, за наявності нерухомих навігаційних перешкод, що заважають, проводиться аналогічно. При цьому слід враховувати, що задача розглядається в просторі істинного руху, і замість допустимих відносних розраховуються істинні курси.

Таким чином, визначено вплив інерційних характеристик судна на площу суднової безпечної зони в просторах відносного і істинного руху при активному і пасивному гальмуванні і використання зони безпечного руху судна при плаванні в стислих водах.

**В п'ятому розділі** вирішена головна задача дисертаційного дослідження – розроблено алгоритм формування безпечної суднової зони на базі рішень складових задач с використанням методу розробки моделей при створенні імітаційної моделі та здійснено імітаційне моделювання.

Для перевірки коректності одержаних процедур формування безпечної суднової зони (області ) і вибору безпечних курсів ухилення при небезпечному зближенні з рухомою ціллю і нерухомими навігаційними перешкодами в дисертаційній роботі розроблена імітаційна модель, що є комп'ютерною програмою, написаною на мові високого рівня (Delphi).



Програма складається з декількох модулів, що дозволяють зробити перевірку достовірності і коректності одержаних математичних моделей, а також в графічному вигляді провести формування областей , , , і загальну область , як для простору відносного, так і простору істинного руху. У імітаційній моделі передбачена процедура визначення безпечних курсів ухилення при небезпечному зближенні, як при відносному, так і при істинному русі. При цьому використана можливість графічного представлення безпечної суднової області і ліній, що відображають відносні і істинні курси.



Перший модуль імітаційної програми моделює формування областей і залежно від двовимірної щільності векторіальної похибки, габаритів судна і його курсу. Здійснюється графічний показ зон і згідно параметрам, що вводяться.



Другий модуль програми призначений для перетворення області урахування інерційності судна в просторі відносного руху в область в просторі істинного руху. Модуль забезпечує графічну індикацію областей і залежно від введених початкових даних.



Формування області виконується третім модулем, причому передбачені три типи області , як для відносного, так і для істинного руху. Здійснюється графічна ілюстрація області , за допомогою якої можна визначити безпечні істинні курси судна, що враховують попередження зіткнення судна з рухомим або нерухомим об'єктом.



На рис. 8 приведена область у вигляді кривої поворотності для відносного (жовтий колір) та істинного руху.



В загальному випадку для імітаційного моделювання розглянуто три варіанти завдання границі області, що враховує інерційність судна: у вигляді круга, центр якого співпадає з центром судна; у вигляді еліпса, центр якого зміщений в ніс судна; у вигляді кривої, яка враховує радіус циркуляції судна. Кожний з трьох варіантів дозволяє аналітично задати границю області в прямокутних або полярних координатах.



У імітаційній моделі також передбачена процедура визначення безпечних курсів ухилення при небезпечному зближенні, як при істинному (рис.9), так і при відносному русі (рис. 10).

Імітаційне моделювання за допомогою описаної програми показало коректність і ефективність одержаних теоретичних результатів і їх практичної реалізації, які стосуються формування безпечної суднової зони і способу визначення безпечних курсів ухилення, незалежно від її форми.

При імітаційному моделюванні виявлено, що при контролі місця судна за допомогою сучасних супутникових навігаційних систем складова області, яка обумовлена точністю визначення місця судна, не перевищує габарити судна і може не братися до уваги. Цього не можна рекомендувати при інших менш точних способах обсервації судна.

Імітаційне моделювання показало, що скорочення стохастичної складової безпечної суднової зони складає в середньому 15% - 35% .

Таким чином вирішена головна задача дослідження - синтезу алгоритму, що дозволяє формувати зону безпечного руху судна при плаванні в стислих умовах.

**ВИСНОВКИ**

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове рішення задачі розробки способу розрахунку параметрів зони безпечного руху судна, яке полягає в урахуванні двовимірної щільності вірогідностей розподілу місця судна, його габаритів, інерційно-гальмівних характеристик і параметрів навігаційної ситуації, що дозволяє оцінити поточну безпеку плавання судна і визначити істинні курси ухилення судна при зближенні з рухомою ціллю і нерухомими навігаційними перешкодами.

Головні наукові результати роботи:

- .підтверджена гіпотеза про те, що сукупність істотних параметрів навігаційної ситуації та інерційно-гальмівні характеристики судна можуть бути представлені у вигляді зони безпечного руху судна, яка характеризує поточну безпеку плавання.

- вперше одержано спосіб розрахунку параметрів і формування зони безпечного руху судна для різних ситуацій зближення судна з рухомою ціллю і нерухомими навігаційними перешкодами, причому ураховуються характеристики точності визначення місця судна, його динамічні властивості та габарити. Для одержання параметрів у явному вигляді приймається нормальний закон розподілу похибок навігаційних вимірів;

- одержала подальший розвиток модель відображення безпечної області судна з простору відносного руху в простір істинного руху. Встановлено, що суднова зона рухливої цілі змінює положення в просторі істинного руху;

- вдосконалена процедура використання зони безпечного руху судна при плаванні в стислих водах, яка забезпечує вибір граничних курсів ухилення судна. При цьому слід ураховувати параметри руху судна та цілі.

Практичне значення та цінність виконаної роботи визначається тим, що:

- одержаний в дисертації спосіб можна використовувати не тільки стосовно морських суден, але і для інших рухомих об'єктів, які володіють істотною інерційністю і переміщаються в стислих водах;

- алгоритми і програми, одержані в дисертації, доцільно використовувати на суднах для формування зон їх безпечного руху;

- запропонований в дисертації спосіб рекомендується використовувати в суднових інформаційних системах спільно з електронними картами, у навчальному процесі та при підвищенні кваліфікації судноводіїв. Одержаній спосіб може використовуватися при наявності декількох рухомих і нерухомих перешкод.

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Алексишин А.В. Использование зоны безопасности судна для снижения аварийности // Судовождение. – 2005. - № 10. – С. 3 – 8.

2. Алексишин А.В. Учет динамики судна при формировании его безопасной зоны // Судовождение. – 2006. - № 11. – С. 3 – 8.

3. Алексишин В.Г., Алексишин А.В. Зависимость параметров судовой безопасной зоны от стохастических позиционных погрешностей // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 3 – 10.

Здобувачу належить запропонована модель впливу випадкових позиційних похибок, що виникають при контролі місця судна, на значення параметрів суднової безпечної зони.

4. Алексишин А.В. Плавание в стесненных водах с учетом судовой безопасной зоны // Судовождение. – 2007. - № 13. – С. 3 – 8.

5. Алексишин В.Г., Алексишин А.В. Формирование судовой безопасной зоны с учетом поворотливости судна // Судовождение. – 2007.- № 14. – С. 3-8.

Здобувачу належить математична модель, що описує суднову безпечну зону залежно від радіусу циркуляції судна і орієнтації навігаційної перешкоди.

6. Алексишин А.А. Использование судовых доменов для обеспечения безопасного плавания / Стан та проблеми судноводіння: Матер. наук. -тех. конф. ОНМА 24-26 жовтня 2005 р. – Одеса: ОНМА, 2005.- С. 57-58.

7. Алексишин А.В. Судовые безопасные зоны и способ их построения / Інтегровані комплекси транспортних засобів та безпека судноплавства: Матер. наук.-тех.конф. ОНМА 23-24 травня 2006 р. – Одеса: ОНМА, 2006.- С. 12-13.

8. Алексишин А.В. Учет динамики судна при расчете параметров судовых доменов / Інтегровані комплекси транспортних засобів та безпека судноплавства: Матер. наук.-тех.конф. ОНМА 10-11 жовтня 2007 р. – Одеса: ОНМА, 2006.- С. 8-12.

**АНОТАЦІЯ**

Алексишин А.В. Розробка методу формування зони безпечного руху судна. - Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.13 - Навігація та управління рухом. Одеська національна морська академія, Одеса, 2007 р.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі забезпечення безпеки судноводіння в стислих умовах плавання. У ній одержано метод формування зони безпечного руху судна.

Обґрунтовані основні чинники, які визначають форму і розміри зони безпечного руху судна. До них відносяться точність контролю місця судна і навколишніх цілей, його габарити та інерційно-гальмівні характеристики.

Одержане відображення зони безпечного руху судна з простору відносного руху в простір істинного руху. Розглянуті суднові безпечні області, що мають форми круга, еліпса і прямокутника, для яких одержані аналітичні вирази перетворення в простір істинного руху.

Розроблена процедура урахування поворотності судна при формуванні його безпечної зони, що враховує математичну модель обертального руху судна, яка представлена диференційними рівняннями зміни курсу залежно від кута перекладання керма (від першого до третього порядку).

Запропонована процедура забезпечення безпечного плавання в обмежених водах за допомогою використання зони безпечного руху судна. Процедура дозволяє розрахувати граничні пеленги, а потім і курси судна, які забезпечують безаварійне ухилення судна при різних формах і розмірах безпечної суднової зони.

У роботі проведене імітаційне моделювання, яке підтвердило коректність і достовірність теоретичних результатів дисертації.

**Ключові слова**: безпека судноводіння, зона безпечного руху судна , двовимірна щільність розподілу, інерційність судна, імітаційна модель.

**АННОТАЦИЯ**

Алексишин А.В. Разработка метода формирования зоны безопасного движения судна - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.22.13 - Навигация и управление движением. Одесская национальная морская академия, Одесса, 2007 г.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме обеспечения безопасности судовождения в стесненных условиях плавания. В ней рассмотрена разработка метода формирования зоны безопасного движения судна.

Обоснованы основные факторы, которые определяют форму и размеры зоны безопасного движения судна. К ним относятся точность контроля места судна и окружающих целей, его габариты и инерционно-тормозные характеристики.

Получена математическая модель учета стохастической составляющей зоны безопасного движения судна, которая безотносительно к закону распределения вероятностей векториальной погрешности определяется ковариационной матрицей обсервованного места судна, полученного с помощью нескольких линий положения. Рассмотрено формирование двумерной плотности распределения вероятностей векториальной погрешности в случае независимых случайных погрешностей измерений, когда число линий положения больше двух. В случае зависимых погрешностей навигационных измерений показана возможность замены системы зависимых случайных величин системой независимых.

Для нормального распределения погрешностей навигационных измерений составлено интегральное уравнение и найдено его решение для определения параметров стохастической составляющей зоны безопасного движения судна.

Рассмотрено преобразование зоны безопасного движения судна из пространства относительного движения в пространство истинного движения. Рассмотрены судовые безопасные области, имеющие формы круга, эллипса и прямоугольника, получены аналитические выражения преобразования в пространство истинного движения для каждого частного случая.

Произведена разработка процедуры учета поворотливости судна при формировании его безопасной зоны, учитывающая математическую модель вращательного движения судна, которая представлена дифференциальным уравнением изменения курса в зависимости от угла перекладки пера руля (от первого до третьего порядка).

Рассмотрена простейшая модель вращательного движения судна с постоянной угловой скоростью. Делается допущение о том, что на небольшом участке навигационную опасность можно представить в виде отрезка прямой, которая имеет некоторое направление.

В работе получены аналитические выражения для построения составляющей судовой безопасной области при повороте судна, как на правый борт, так и на левый. Учитывается, что область существует при повороте судна в сторону навигационной опасности.

Более точный учет инерционности судна при повороте возможен с помощью математической модели вращательного движения, которая представлена дифференциальным уравнением изменения курса третьего порядка.

Определено влияние инерционных характеристик судна на параметры безопасной судовой зоны в пространствах относительного и истинного движения при активном торможении. Рассмотрен одновременный учет инерционности судна при повороте и торможении в активном режиме.

Предложена процедура обеспечения безопасного плавания в стесненных водах с помощью использования зоны безопасного движения судна. Приведены аналитические выражения для расчета граничных пеленгов, ограничивающих множество относительных курсов, ведущих к попаданию в безопасную зону посторонних подвижных объектом или неподвижных навигационных препятствий.

Процедура расчета граничных пеленгов, а затем и курсов судна, позволяющих производить безопасное уклонение судна, приведена для разных форм и размеров зоны безопасного движения судна.

Получен алгоритм формирования зоны безопасного движения судна, учитывающий основные существенные факторы.

В работе приведено описание имитационной модели и представлены результаты имитационного моделирования. Для имитационного моделирования рассмотрены три варианта задания границы безопасной области, учитывающей инерционность судна: в виде окружности, центр которой совпадает с центром тяжести судна; в виде эллипса, центр которого смещен к носу судна; в виде кривой, учитывающей радиус циркуляции судна. Каждый из трех вариантов позволяет аналитически задать границу безопасной области в прямоугольных или полярных координатах.

Описана имитационная модель, которая представляет собой компьютерную программу, позволяющую в графическом режиме отображать зону безопасного движения судна. Имитационное моделирование с помощью описанной программы показало корректность и эффективность полученных теоретических результатов и их практической реализации, касающейся формирования зоны безопасного движения судна и способа определения безопасных курсов уклонения, независимо от ее формы.

Имитационное моделирование показало, что сокращение стохастической составляющей безопасной судовой зоны составляет в среднем 15...35% .

**Ключевые слова**: безопасность судовождения, безопасная судовая зона, двумерная плотность распределения, инерционность судна, имитационная модель.

**THE SUMMARY**

Аlеxishin А.V. Development of method of forming of area of safe motion of ship. The dissertation is the manuscript. Dissertation on competition of scientific degree of candidate of the engineering sciences. Speciality 05.22.13 - Navigation and traffic control. Odessa national maritime academy, Odessa, 2007.

Dissertation work is devoted to the issue of the day of providing of safety of navigation in the straitened terms of sailing. Development of method of forming of ship safe area is considered in her.

Basic factors which determine a form and sizes of ship safe area are grounded. To them behave exactness of control of place of ship and surrounding targets, his sizes and inertia-brake descriptions.

Transformation of ship safe area from space of relative motion in space of veritable motion is considered. Ship safe regions, having the forms of circle, ellipse and rectangle, are considered, analytical expressions of transformation to space of veritable motion for every special case are got.

Development of procedure of account of agility of ship at forming of his safe area is produced, taking into account the mathematical model of rotator motion of ship, which is represented by differential equalization of change of course depending on the corner of position of helm (from the first to the third order).

Procedure of providing of the safe sailing in the straitened waters by the use of ship safe area is offered. Procedure allows to expect scope bearing, and then and courses of ship, providing safe deviation of ship, at different forms and sizes of safe ship area.

The imitation design which confirmed correctness and authenticity of theoretical results of dissertation is conducted in work.

**Keywords**: safety of navigation, ship safe area, inertia of ship, simulation model.