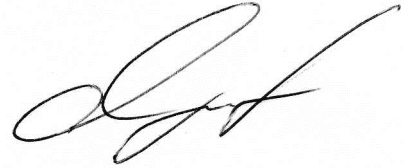


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

(НУ «ОМА»)



Якушев Олександр Олегович

УДК 656.61.052.484

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ФОРМИ
БЕЗПЕЧНОЇ ОБЛАСТІ СУДНА І ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ РОЗМІРІВ**

05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в НУ «ОМА» Міністерства освіти і науки України, м. Одеса

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Алексішин Віктор Григорович,
НУ «ОМА», завідувач кафедру
судноводіння

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент,
Корбан Віктор Харітонович,
Одеська національна академія зв'язку
імені
О.С. Попова, завідувач кафедри
моніторингу надзвичайних ситуацій та
митного контролю

кандидат технічних наук,
Репетей Володимир Дмитрович,
Філія “Дельта-лоцман” Державного
підприємства “Адміністрація морських
портів України, Міністерства
інфраструктури України
начальник служби безпеки мореплавства

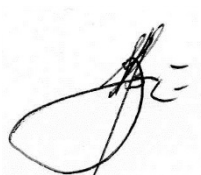
Захист відбудеться 27 квітня 2016 року о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в НУ «ОМА» за адресою: вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зал засідань вченої ради, м. Одеса, 65029.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці НУ «ОМА» за поштовою адресою: вул. Дідріхсона, 8, корп. 2, м. Одеса та за електронною адресою:

http://onma.edu.ua/index.php?quater_ua.

Автореферат розісланий 25 березня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



В.В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одна з найважливіших проблем морського транспорту полягає в забезпеченні безпеки судноводіння, оскільки її рішення сприяє зменшенню кількості аварійних випадків і, як наслідок, зниженню шкоди людському життю, навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам.

У обмежених умовах плавання морських суден ускладнених інтенсивним судноплаванням, створюється передумови для виникнення аварійних ситуацій. Маневрування суден в таких районах ускладнене і пов'язане з можливими посадками на мілину, особливо за поганих погодних умов.

Тому актуальною у таких районах стає проблема попередження зіткнення суден, оскільки через інтенсивне судноплавання виникають ситуації одночасного небезпечного зближення декількох суден. Для вирішення таких ситуацій пропонується використовувати програмний апарат безпечних областей суден, але за його браком розробка механізму безпеки у вигляді програмного продукту стає необхідною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до положень 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), Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), а також в рамках планів наукових досліджень Одеської національної морської академії по держбюджетних темі «Вдосконалення діяльності операторів в судовій ергатичній системі», № ДР в 0113U000636 (2015), в якій здобувач виконав окремий розділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки судноводіння та мінімізації шляхових втрат методом вибору оптимальної форми безпечної області судна.

Робоча гіпотеза дослідження містить припущення про залежність безпечної області судна від відхилення курсу судна від початкового.

Головна задача дослідження полягає в розробці алгоритму визначення розмірів безпечної області судна, яка забезпечує мінімальне відхилення судна від лінії заданого шляху.

Вирішення головної задачі представляє собою поетапне дослідження із застосуванням системного аналізу, тому головну задачу доцільно розкласти на наступні допоміжні завдання:

- аналіз методів формалізації безпечних областей судна і формування їх аналітичного опису з урахуванням істотних чинників.

- формування процедури розрахунку параметрів стохастичної області заданої форми;

- вибір критерію та оптимальної форми безпечної області судна .

Об'єктом дисертаційного дослідження є процес судноводіння.

Предметом дослідження є безпечні області судна.

Методи дослідження. У дисертаційному дослідженні застосовані наступні методи:

- дедукції при аналізі основних підходів рішення проблеми безпеки судноводіння;

- системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи та при формуванні технології наукового дослідження;

- аналітичної геометрії для формалізації безпечної області цілі заданої форми;

- теорії вірогідності для визначення розмірів стохастичної складової безпечної області;

- математичного аналізу для визначення площі безпечної області чисельним інтегруванням;

- оптимізації при виборі форми безпечної області.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні методу вибору оптимальної форми безпечної області судна за мінімуму відхилення курсу судна від початкового який визначає її розміри з сумісним врахуванням двомірної щільності в розподілу позиційної векторіальної похибки, габаритів суден та запасу відстані на форс-мажорні обставини.

У дисертаційній роботі вперше:

- математична модель детермінованої складової безпечної області судна при розходженні з ціллю, яка враховує габарити суден, явища присмоктування меж суднами та запас відстані на форс-мажорні обставини ;

- математична модель стохастичної складової безпечної області судна при розходженні з ціллю, яка враховує випадкову похибку навігаційних вимірювань представленої двомірною щільністю нормального та змішаних законів розподілу;

- оптимальна форма та розміри безпечної області судна встановлюються за критерієм мінімуму кута відхилення курсу судна від початкового що забезпечує підвищення ефективність плавання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що одержані в дисертації основні результати можуть бути використані розробниками в нових поколіннях ЕКДІС і САРП, а також дослідження можуть бути застосовані при створенні рекомендацій по попередженню зіткнень суден. Практичні результати дисертаційного дослідження упроваджені у виробничу діяльність компанії «Daphne Shipping Agency, LLC» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт упровадження від 25.11.2015 р.), приватного вищого навчального закладу «Інститут

післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт упровадження від 23.11.2015 р.), Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в наукових дослідженнях Одеської національної морської академії (акт упровадження від 29.12.2015 р.), а також в учбовому процесі кафедри Судноводіння в розділах забезпечення безпеки судноводіння (акт від 25.12.2015 р.).

Особистий внесок пошукача. Автором самостійно виконані всі етапи дисертаційної роботи: їм проведений інформаційний пошук і огляд літературних джерел по проблемі забезпечення безпеки судноводіння, виконано методологічне обґрунтування вибраного дослідження, розроблений і викладений метод вибору оптимальної форми безпечної області судна і визначення її розмірів, виконане імітаційне моделювання, упроваджені результати роботи у виробничий процес. З наукових робіт, опублікованих в співавторстві, в дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто: вибір маневру розходження судном в умовах шторму [1], методика визначення розмірів безпечної суднової стохастичної області [6], забезпечення безаварійного плавання за допомогою безпечної області судна складної форми [7], вибір оптимальної форми безпечної області [8], визначення розмірів безпечної області судна заданої форми [10], процедура визначення розмірів безпечної області [16,17], процедура розрахунку розмірів безпечної області судна заданої форми [18].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи докладалися, обговорювалися і були схвалені на науково-технічних конференціях: «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» (Одеса, 19-20 листопаду 2013 р.), «Ефективна і безпечна експлуатація морських суден і споруд» (Севастополь, 2-4 жовтня 2013 р.), «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 21-23 травня 2014 р.), « Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (Одеса, 18-19 листопаду 2014 р.), «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 20-22 травня 2015г.), Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014)» (Херсон, 27-29 травня. 2014 р.), науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)» (Херсон, 26-28 травня, 2015 р.).

Публікації. За наслідками виконаних досліджень автором опубліковано 18 наукових робіт (з них 10 одноосібно), зокрема: у наукових профільних виданнях, що входять в перелік МОН України — 9 наукових статей [1–8, 18]; у зарубіжних наукових профільних виданнях — 2 наукові статті [16, 17]; у збірках матеріалів наукових конференцій — 7 доповідей [9–15].

Структура роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних літературних джерел (168 найменувань) і двох додатків. Загальний об'єм роботи складає 288 сторінок і містить 69 малюнків і 25 таблиць, зокрема: 182 сторінки основного тексту, 17 сторінок списку використаних джерел, 89 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** роботи проведено обґрунтування актуальності теми дисертації, визначено мету та завдання дослідження, показано наукову новизну і практичне значення роботи.

У **першому розділі** після огляду основних напрямків дослідження проблеми забезпечення безпеки судноводіння вибрано напрям дисертаційного дослідження.

Проведений огляд і аналіз літератури по темі дисертаційної роботи показав, що основна увага приділена проблемі забезпечення безпеки судноводіння шляхом комплексного вирішення питань попередження зіткнень суден в стислих умовах плавання, підвищення точності визначення місця судна та вдосконалення методів управління суднами.

В рішення цих проблем значний внесок зробили багато вітчизняних та іноземних вчених, таких як: Вагущенко Л.Л., Кондрашихін В.Т., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Фрейдзон И.Р., Lisowski J., та інші, які показали, що актуальними є теоретичні та практичні дослідження з проблеми попередження зіткнень суден. Аналіз підходів для рішення цієї проблеми показав, що перспективним є розробка питань використання безпечних областей суден шляхом аналізу їх різних форм, розрахунку параметрів їх розмірів та вибору оптимальної форми, які потребують подальших наукових досліджень.

Такий висновок дав можливість обґрунтувати основні напрями дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** виконано методологічне забезпечення дисертаційного дослідження та з допомогою результатів першого розділу обґрунтовано вибір його теми.

Розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження з допомогою методів системного підходу, в якій визначені об'єкт та предмет дослідження, сформульовані робоча гіпотеза та головна задача дослідження.

Для вирішення головної наукової задачі були сформульовані три складові задачі.

У **третьому розділі** розглянуто аналітичний опис безпечної області цілі заданої форми з урахуванням істотних чинників, що являється першою складовою задачею дисертаційного дослідження.

Розглянемо чинники, що визначають розміри безпечної області

цілі. Перш за все, розміри безпечної області, яка розраховується судном і будується при цілі, залежать від габаритів судна і цілі, явища присмоктування, стохастичних характеристик векторіальної похибки положення цілі щодо судна і запасу на форс-мажорні обставини (непередбачені поломки, що позбавляють судно можливості управлятися).

Використовувані в даний час безпечні області мають різну форму, що забезпечує безпечне розходження судна з ціллю. Для вибору оптимальної форми безпечної області вибирається незмінна відносна позиція судна і цілі, а потім визначаються мінімальні відхилення ΔK_y курсу ухилення судна від початкового курсу для безпечного розходження з ціллю. Одержані відхилення курсу судна $\Delta K_{y1}, \dots, \Delta K_{yi}, \dots, \Delta K_{yn}$ по кожній з областей порівнюються між собою і оптимальною є та форма безпечної області, для якої значення відхилення ΔK_{y0} приймає мінімальне значення, тобто $\Delta K_{y0} = \min \{ \Delta K_{y1}, \dots, \Delta K_{yi}, \dots, \Delta K_{yn} \}$.

Розглянемо урахування габаритів судна і цілі в безпечній області D_b . Перш за все, слід врахувати габарити цілі, тобто її довжину L_t і ширину B_t , які представляють розміри області габаритів цілі, що має форму прямокутника, орієнтованого по напрямку діаметральної площини цілі. Довжина даної області складається з двох складових: L_{tn} і L_{tk} - відповідно відстані від обсервованої точки цілі до її носового краю і до кормового краю, причому $L_{tn} = 0,7L_t$ і $L_{tk} = 0,3L_t$. Ширина області габаритів цілі рівна її ширині B_t . Урахування габаритів судна проводиться наступним чином. При зближенні з ціллю на протилежних курсах і носових курсових кутах судна до ширини області габаритів цілі додається величина, рівна половині ширині B_v судна. На таку ж величину збільшується довжина області габаритів цілі, якщо зближення відбувається на взаємно перпендикулярних курсах.

Таким чином, сумісне урахування габаритів судна і цілі характеризуватимемо областю габаритів, яка має прямокутну форму і розміри: довжину $L_s = L_t + B_v$ і ширину $B_s = B_t + B_v$.

Явище присмоктування враховується середнім значенням максимальної дистанції L_{pr} , при якій починає виявлятися присмоктування. Отже, прямокутну область D_s необхідно збільшити на величину L_{pr} з кожної сторони.

Для обліку форс-мажорних обставин задається дистанція від обсервованої точки цілі по носу L_{fnn} , по кормі L_{fnc} і по бортах B_{fmb} . Вказані дистанції додаються до розмірів раніше одержаної області з урахуванням явища присмоктування. Таким чином, розглянуті три чинники формують детерміновану прямокутну область, орієнтовану по

напрямку діаметральної площини цілі і розташовану щодо обсервованої її точки. Відстань від точки у бік носа цілі $L_{\text{det n}}$ області D_{det} визначається виразом:

$$L_{\text{det n}} = 0,7L_t + 0,5B_v + L_{\text{pr}} + L_{\text{fmm}}.$$

Відстань від точки цілі у бік її корми $L_{\text{det k}}$ рівна:

$$L_{\text{det k}} = 0,3L_t + 0,5B_v + L_{\text{pr}} + L_{\text{fmk}}.$$

Область D_{det} по ширині B_{det} симетрична щодо обсервованої точки цілі, причому:

$$B_{\text{det}} = B_t + B_v + 2(L_{\text{pr}} + B_{\text{fmb}}).$$

В даному випадку детермінована область цілі D_{det} має форму прямокутника. Цю ж область можна представити в іншій формі.

Розглянемо можливість представлення детермінованої області цілі D_{det} у формі круга, причому її радіус R_s визначається наступним виразом:

$$R_s = 0,7L_t + 0,5B_v.$$

Явище присмокування і можливість форс-мажорних обставин враховуються надбавкою до радіусу R_s значень L_{pr} і, тому детермінована область цілі D_{det} кругової форми визначається радіусом, величина якого:

$$R_{\text{det}} = 0,7L_t + 0,5B_v + L_{\text{pr}} + L_{\text{fmm}}.$$

У разі, коли детерміновану область цілі D_{det} необхідно задати у формі еліпса, то, очевидно, напівосі еліпса виражаються таким чином:

$$a_{\text{det}} = 0,5(L_{\text{det n}} + L_{\text{det k}}) \text{ і } b_{\text{det}} = 0,5B_{\text{det}},$$

причому центр еліпса зміщений щодо обсервованої точки цілі по осі X в ніс на величину $\Delta X_{\text{det}} = 0,5(L_{\text{det n}} - L_{\text{det k}})$.

Таким чином, детерміновану область цілі D_{det} можна задати різними формами: у вигляді круга ($D_{\text{det}}^{(\text{Rd})}$), у вигляді еліпсу ($D_{\text{det}}^{(\text{El})}$) і прямокутної форми ($D_{\text{det}}^{(\text{Rt})}$).

Крім детермінованої області D_{det} безпечну область цілі D_b формує ще і стохастична область, яка позначена D_{st} . Так, як безпечна область цілі D_b є об'єднанням детермінованої D_{det} і стохастичної D_{st} областей, причому області D_b і D_{det} можуть виражатися в різних заданих формах, то виникає питання, яку форму має стохастична область D_{st} при заданих формах областей D_b і D_{det} .

У загальному випадку співвідношення між областями мають наступний вигляд:

$$D_b = D_{\text{det}} \cup D_{\text{st}} \text{ і } D_{\text{st}} = D_b - D_{\text{det}}.$$

Отже, для виявлення форми стохастичної області D_{st} необхідно розглянути можливі форми безпечної області цілі, враховуючи, що

детермінована область може представлятися в трьох формах: круга $D_{\text{det}}^{(\text{Rd})}$, еліпса $D_{\text{det}}^{(\text{El})}$ і прямокутника $D_{\text{det}}^{(\text{Rt})}$.

В даний час запропоновано більше десяти форм безпечної області цілі D_b . Досліджуються найчастіше використовувані п'ять форм безпечної області (рис. 1):

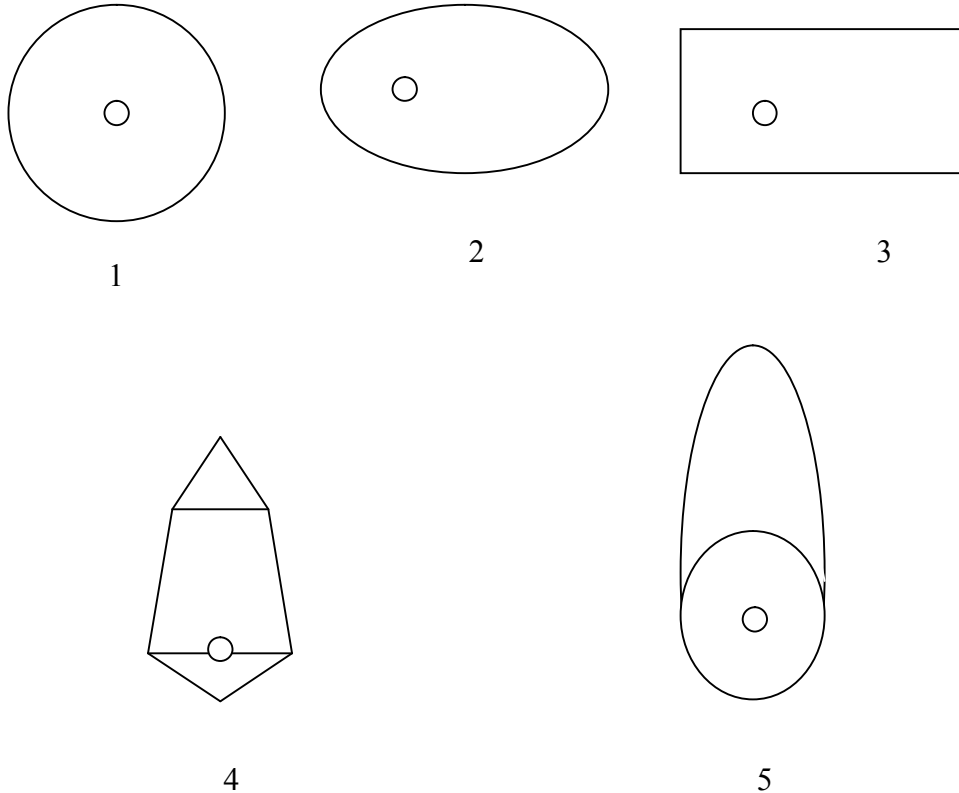


Рис. 1 - Основні форми безпечної області цілі D_b : 1 - $D_b^{(\text{Rd})}$ - форма круга з метою в центрі; 2 - $D_b^{(\text{El})}$ - форма еліпса із зміщеною метою; 3 - $D_b^{(\text{Rt})}$ - форма прямокутника із зміщеною метою; 4 - $D_b^{(\text{Cm})}$ - складна форма із зміщеною метою; 5 - $D_b^{(\text{RE})}$ - форма півколо – напівеліпс із зміщеною метою.

Перші три типи безпечної області цілі D_b є простими, а два останніх – складними. Розміри області D_b залежно від її форми характеризуються наступними параметрами.

Перша область $D_b^{(\text{Rd})}$ має форму круга з єдиною характеристикою – радіусом R_b . Друга область, що має еліптичну форму, характеризується трьома параметрами: напівосями a_b і b_b , а також зсувом ΔX_b обсервованої точки цілі щодо центру області D_b .

Третя область $D_b^{(Rt)}$ прямокутної форми визначається також трьома параметрами: довжина області від обервованої точки цілі в носовому напрямі L_{bn} , в кормовому напрямі - L_{bk} і ширина області B_b . Четверта область $D_b^{(Cm)}$ складної форми має чотири параметри: носова L_{bn} і кормова L_{bk} частини довжини області, а також менша b_1 і більша b_2 ширина області.

І, нарешті, п'ята область, що має форму півкола-півеліпса, характеризується двома параметрами: радіусом круга R_b і більшою напіввіссю еліпса a_b . Відзначимо, що три форми (кругова, еліптична і прямокутна) областей D_b і D_{det} співпадають.

У розділі одержані рівняння для меж безпечних областей всіх п'яти форм.

При дослідженні питання форми області стохастичної області D_{st} слід враховувати визначальне співвідношення, причому області D_b і D_{det} мають однакову форму для перших трьох типів областей. В цілому для всіх п'яти форм безпечної області D_b одержані форми і рівняння меж стохастичних областей D_{st} .

Точність визначення положення цілі щодо судна характеризується двовимірною щільністю $f(x, y)$ векторіальної похибки.

Центр стохастичної області D_{st} пов'язаний з місцем цілі, в якому елементи коваріаційної матриці досягають мінімуму.

Двовимірна стохастична область D_{st} , побудована щодо місця цілі, повинна містити (накривати) істинне місце судна із заданою вірогідністю, близькою до одиниці. Для пошуку двовимірної області D_{st} слід скористатися наступним рівнянням:

$$\iint_{D_{st}} f(x, y) dx dy = P_d \quad (1)$$

У табл.1 приведені інтегральні і чисельні рівняння відповідних до (1) для всіх п'яти форм безпечної області.

Таблиця 1- Рівняння розрахунку параметрів стохастичних областей

Область Б	Інтегральне рівняння	Чисельне рівняння
$D_{st}^{(Rd)}$	$4 \int_0^{R_{st}} \int_0^{\sqrt{R_{st}^2 - x^2}} f(x, y) dy dx = P_d$	$4 \sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} f(i, j) = P_d$

Продовження таблиці 1

$D_{st}^{(El)}$	$4 \int_0^a \gamma \sqrt{a^2 - x^2} \int_0^a f(x, y) dy dx = P_d$	$4 \sum_{i=0}^a \gamma \sqrt{a^2 - i^2} \sum_{j=0}^a f(i, j) = P_d$
$D_{st}^{(Rt)}$	$2 \int_{-r_{rn_k}}^{r_{rn_n}} \int_0^{r_{rn_b}/2} f(x, y) dy dx = P_d$	$2 \left[\sum_{i=0}^{\gamma_k B_{st}} \sum_{j=0}^{B_{st}/2} f(i - \gamma_k B_{st}, j) + \sum_{i=0}^{\gamma_n B_{st}} \sum_{j=0}^{B_{st}/2} f(i, j) \right] = P_d$
D_{st4}	$2 \left[\int_0^{0,5(s+B_{det})} \int_0^{\frac{s}{0,5(s+B_{det})}x} f(x, y - s - L_{detk}) dy dx + \int_0^{0,5s} \int_0^{L_{detn} + L_{detk} - \frac{L_{detn} + L_{detk}}{0,5s}x} f(x, y - L_{detk}) dy dx + \int_0^{0,5B_{det}} \int_0^{\frac{s}{0,5B_{det}}x} f(x, y + L_{detn}) dy dx \right] = P_d$	$2 \left[\sum_{i=0}^{0,5(s+B_{det})} \sum_{j=0}^{\frac{s}{0,5(s+B_{det})}i} f(i, j - s - L_{detk}) + \sum_{i=0}^{0,5s} \sum_{j=0}^{L_{detn} + L_{detk} - \frac{L_{detn} + L_{detk}}{0,5s}i} f(i, j - L_{detk}) + \sum_{i=0}^{0,5B_{det}} \sum_{j=0}^{\frac{s}{0,5B_{det}}i} f(i, j + L_{detk}) \right] = P_d$
$D_{st}^{(RE)}$	$2 \left[\int_0^{R_{st}} \int_0^{\sqrt{R_{st}^2 - x^2}} f(x, y) dy dx + \int_0^{R_{st}/\gamma} \int_0^{\gamma \sqrt{(R_{st}/\gamma)^2 - x^2}} f(x, y) dy dx \right] = P_d$	$2 \left[\sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} f(i, j) + \sum_{i=0}^{R_{st}/\gamma} \sum_{j=0}^{\gamma \sqrt{(R_{st}/\gamma)^2 - i^2}} f(i, j) \right] = P_d$

Таким чином, в розділі розглянута формалізація безпечних областей цілі різної форми з урахуванням істотних чинників.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 3, 4, 11, 17].

У **четвертому розділі** запропонована процедура розрахунку параметрів стохастичної області заданої форми та здійснена розробка способу вибору оптимальної форми безпечної області судна, чому присвячені друга та третя складові задачі дисертаційного дослідження.

У розділі розглянуто використання двовимірного розподілу векторіальної похибки для визначення розмірів стохастичної області.

Двовимірна щільність розподілу векторіальної похибки положення цілі з урахуванням незалежності похибок ліній положення в

прямокутній системі координат XOY у першому наближенні виражається таким чином:

$$f(x, y) = f_x(x)f_y(y),$$

$f_x(x)$ і $f_y(y)$ - маргінальна щільність похибок вимірювань по осях системи координат.

Щільність двовимірного нормального розподілу незалежних випадкових похибок навігаційних вимірювань описується формулою:

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

де σ_x і σ_y - середні квадратичні відхилення векторіальної похибки.

Проте останнім часом у багатьох випадках при обробці статистичних даних похибок навігаційних вимірювань, одержаних в натурних спостереженнях, встановлено, що вони не підкоряються нормальному закону. Виявляється, в таких випадках похибки навігаційних вимірювань підкоряються змішаним законам розподілу першого або другого типу, щільність розподілу яких виражається в явному вигляді, причому двовимірна щільність першого типу змішаного розподілу (узагальнений розподіл Коші) описується наступним виразом:

$$f_1(x, y) = \frac{A_x A_y}{(x^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (y^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}, \quad (n \leq 6)$$

де

$$A_x = \frac{2^n \alpha_x^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}, \quad A_y = \frac{2^n \alpha_y^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}.$$

Двовимірна щільність змішаного розподілу другого типу описується наступним виразом:

$$f_2(x, y) = \frac{B_x B_y}{(x^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (y^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}}, \quad (n \leq 5)$$

де

$$B_x = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha_x^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!}, \quad B_y = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha_y^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!}.$$

Надалі при визначенні розмірів стохастичних областей розглядатимемо три закони розподілу векторіальної похибки: нормальний закон, змішані закони першого і другого типу.

Аналітичні вирази для розрахунку визначальних параметрів S_{st} стохастичної області у разі розподілу похибок навігаційних вимірювань по нормальному закону приведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Формули розрахунку визначальних параметрів стохастичних областей при нормальному законі

D_{st}	S_{st}	Вирази для розрахунку розмірів стохастичної області D_{st}
$D_{st}^{(Rd)}$	R_{st}	$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = \frac{\pi\sigma_x\sigma_y}{2} P_d$
$D_{st}^{(El)}$	a	$\sum_{i=0}^a \sum_{j=0}^{\sqrt{a^2 - i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = \frac{\pi\sigma_x\sigma_y}{2} P_d$
$D_{st}^{(Rt)}$	B_{st}	$\sum_{i=0}^{\gamma_k B_{st}} \sum_{j=0}^{B_{st}/2} \exp\left[-\left(\frac{(i - \gamma_k B_{st})^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] +$ $+ \sum_{i=0}^{\gamma_n B_{st}} \sum_{j=0}^{B_{st}/2} \exp\left[-\left(\frac{(i - \gamma_n B_{st})^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = \pi\sigma_x\sigma_y P_d$
D_{st4}	s	$\sum_{i=0}^{0,5(s+B_{det})} \sum_{j=0}^{\frac{s}{0,5(s+B_{det})} i} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(j - s - L_{detk})^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] +$ $+ \sum_{i=0}^{0,5s} \sum_{j=0}^{L_{detn} + L_{detk} - \frac{L_{detn} + L_{detk}}{0,5s} i} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(j - L_{detk})^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] +$ $+ \sum_{i=0}^{0,5B_{det}} \sum_{j=0}^{\frac{s}{0,5B_{det}} i} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(j + L_{detk})^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = \pi\sigma_x\sigma_y P_d$
$D_{st}^{(RE)}$	R_{st}	$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] +$ $+ \sum_{i=0}^{R_{st}/\gamma} \sum_{j=0}^{\gamma\sqrt{(R_{st}/\gamma)^2 - i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = \pi\sigma_x\sigma_y P_d$

У табл. 3 приведені вирази для розрахунку визначальних параметрів S_{st} стохастичної області у разі розподілу похибок навігаційних вимірювань по змішаному закону першого типу.

Таблиця 3 - Формули розрахунку визначальних параметрів стохастичних областей при змішаному законі першого типу

D_{st}	S_{st}	Вирази для розрахунку розмірів стохастичної області D_{st}
$D_{st}^{(Rd)}$	R_{st}	$\sum_{i=0}^{R_{st}} \frac{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^{R_{st}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}} = \frac{1}{4A_x A_y} P_d$
$D_{st}^{(El)}$	a	$\sum_{i=0}^a \frac{\gamma \sqrt{a^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^a \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}} = \frac{1}{4A_x A_y} P_d$
$D_{st}^{(Rt)}$	B_{st}	$\sum_{i=0}^{\gamma_k B_{st}} \frac{\sum_{j=0}^{B_{st}/2} \frac{1}{[(i - \gamma_k B_{st})^2/2 + \alpha_x]^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}}{+ \sum_{i=0}^{\gamma_n B_{st}} \frac{\sum_{j=0}^{B_{st}/2} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}} = \frac{1}{2A_x A_y} P_d$
D_{st4}	s	$\sum_{i=0}^{0,5(s+B_{det})} \frac{\sum_{j=0}^{0,5(s+B_{det})} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} [(j - s - L_{detk})^2/2 + \alpha_y]^{n+1}}}{+ \sum_{i=0}^{0,5s} \frac{\sum_{j=0}^{L_{detn} + L_{detk} - \frac{L_{detn} + L_{detk}}{0,5s} i} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} [(j - L_{detk})^2/2 + \alpha_y]^{n+1}}}{+ \sum_{i=0}^{0,5B_{det}} \frac{\sum_{j=0}^{0,5B_{det}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} [(j + L_{detk})^2/2 + \alpha_y]^{n+1}}} = \frac{1}{2A_x A_y} P_d$
$D_{st}^{(RE)}$	R_{st}	$\sum_{i=0}^{R_{st}} \frac{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^{R_{st}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}}{+ \sum_{i=0}^{R_{st}/\gamma} \frac{\gamma \sqrt{(R_{st}/\gamma)^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^{R_{st}/\gamma} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}} = \frac{1}{2A_x A_y} P_d$

У табл. 4 приведені вирази для розрахунку визначальних параметрів S_{st} стохастичної області у разі розподілу похибок навігаційних вимірювань по змішаному закону другого типу.

Таблиця 4 - Формули розрахунку визначальних параметрів стохастичних областей при змішаному законі другого типу

D_{st}	S_{st}	Вирази для розрахунку розмірів стохастичної області D_{st}
$D_{st}^{(Rd)}$	R_{st}	$\sum_{i=0}^{R_{st}} \frac{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^{R_{st}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}}} = \frac{1}{4B_x B_y} P_d$
$D_{st}^{(El)}$	a	$\sum_{i=0}^a \frac{\gamma \sqrt{a^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^a \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}}} = \frac{1}{4B_x B_y} P_d$
$D_{st}^{(Rt)}$	B_{st}	$\sum_{i=0}^{\gamma_k B_{st}} \sum_{j=0}^{B_{st}/2} \frac{1}{[(i - \gamma_k B_{st})^2/2 + \alpha_x]^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}} +$ $+ \sum_{i=0}^{\gamma_n B_{st}} \sum_{j=0}^{B_{st}/2} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}} = \frac{1}{2B_x B_y} P_d$
D_{st4}	s	$\sum_{i=0}^{0,5(s+B_{det})} \frac{s}{0,5(s+B_{det})} \frac{i}{\sum_{j=0}^{0,5(s+B_{det})} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} [(j - s - L_{detk})^2/2 + \alpha_y]^{n+3/2}}}$ $+ \sum_{i=0}^{0,5s} \frac{L_{detn} + L_{detk} - \frac{L_{detn} + L_{detk}}{0,5s} i}{\sum_{j=0}^{0,5s} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} [(j - L_{detk})^2/2 + \alpha_y]^{n+3/2}}}$ $+ \sum_{i=0}^{0,5B_{det}} \frac{s}{0,5B_{det}} \frac{i}{\sum_{j=0}^{0,5B_{det}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} [(j + L_{detk})^2/2 + \alpha_y]^{n+3/2}}} = \frac{1}{2B_x B_y}$
$D_{st}^{(RE)}$	R_{st}	$\sum_{i=0}^{R_{st}} \frac{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^{R_{st}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}}} +$ $+ \sum_{i=0}^{R_{st}/\gamma} \frac{\gamma \sqrt{(R_{st}/\gamma)^2 - i^2}}{\sum_{j=0}^{R_{st}/\gamma} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}}} = \frac{1}{2B_x B_y}$

Для вибору оптимальної форми безпечної області в розділі розглянута процедура визначення мінімальних курсів ухилень судна при заданій формі області.

Ефективність безпечної області визначається мінімальним приростом ΔK_{ymin} курсу ухилення судна K_{ymin} до початкового курсу, відносний курс якого рівний пеленгу на ціль, тобто, як показано на рис. 2. При цьому для одноманітності мінімальне ухилення розглядатимемо ухиленням судна управо.

Для кожної з п'яти типів безпечної області цілі різної форми, одержано вирази ΔK_{ymin} . При цьому для кожної області зберігаються незмінні значення α , D і параметри руху судна, а також швидкість V_c і курс K_c цілі, причому $V_o > V_c$.

Кругова область $D_b^{(Rd)}$ характеризується мінімальним відносним курсом ухилення судна K_{otymin} :

$$K_{otymin} = K_{otn} + \arcsin \frac{R_b}{D}.$$

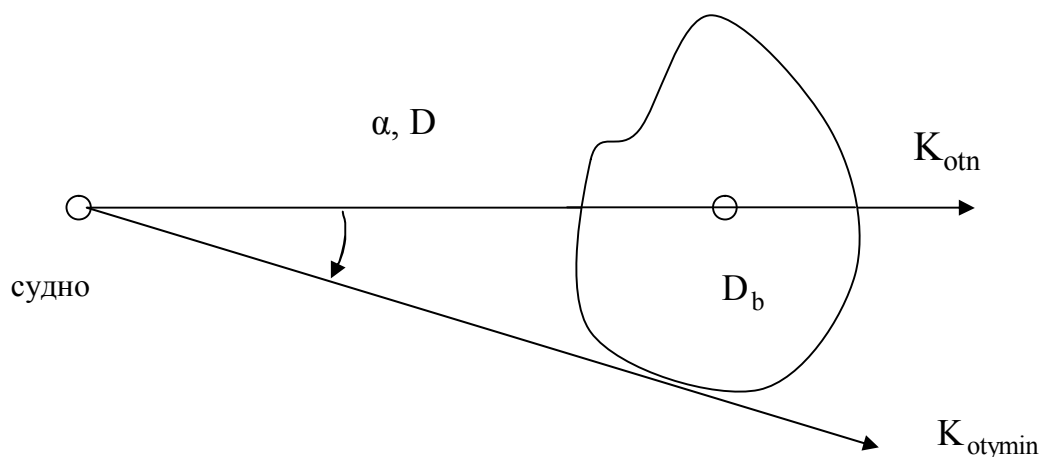


Рис. 2 - Мінімальний приріст ΔK_{ymin}

У разі безпечної еліптичної області $D_b^{(El)}$ відносний курс мінімального ухилення K_{otymin} визначається з виразу:

$$\bar{K}_{ymin} = \max \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \},$$

де

$$\bar{K}_{ymin1} = \arctg \frac{\bar{X}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin2} = \arctg \frac{\bar{X}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin3} = \arctg \frac{\bar{X}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin4} = \arctg \frac{\bar{X}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c}.$$

При розрахунку відносного мінімального курсу ухилення судна \bar{K}_{ymin} для безпечних областей цілі $D_b^{(Rt)}$ прямокутної форми і складної форми знаходяться пеленга на кутові точки області, а потім вибирається максимальний пеленг, який і приймається за відносний мінімальний курс ухилення судна.

Розрахунок відносного мінімального курсу ухилення судна \bar{K}_{ymin} для безпечної області цілі складної форми проводиться за допомогою виразу:

$$\bar{K}_{ymin} = \begin{cases} K_{otn} + \arcsin \frac{R_b}{D}, & \text{если } \sin \beta < 0, \\ \max \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \}, & \text{если } \sin \beta > 0, \end{cases}$$

де β - курсовий кут судна з цілі;

$$\bar{K}_{ymin1} = \arctg \frac{\bar{X}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c};$$

$$\bar{K}_{ymin2} = \operatorname{arctg} \frac{\bar{X}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin3} = \operatorname{arctg} \frac{\bar{X}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin4} = \operatorname{arctg} \frac{\bar{X}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c}.$$

При раніше прийнятих допущеннях у випадку $V_o > V_c$ оптимальна область характеризуватиметься мінімальним відхиленням відносного курсу ухилення від початкового відносного курсу, тобто $\Delta \bar{K}_{yi} = K_{отн} - \bar{K}_{ymin}$. Тому для оптимальної безпечної області справедливе співвідношення $\Delta \bar{K}_{yo} = \min \{ \Delta \bar{K}_{y1}, \dots, \Delta \bar{K}_{yi}, \dots, \Delta \bar{K}_{yn} \}$. Звертаємо увагу на наступну обставину. Відносне мінімальне ухилення $\Delta \bar{K}_{yi}$ визначається відносним мінімальним курсом \bar{K}_{ymini} , лінія якого співпадає з дотичної до безпечної області цілі. Але тільки для кругової безпечної області цілі величина відносного мінімального курсу $\bar{K}_{ymin}^{(Rd)}$ не залежить від курсу цілі. Решта чотирьох безпечних областей позбавлена такої особливості - для них відносний мінімальний курс \bar{K}_{ymini} при незмінному пеленгу залежить від курсу цілі K_c . Тому розрахунок $\Delta \bar{K}_{yi}$ чотирьох згаданих безпечних областей слід проводити по усередненому значенню відносного мінімального курсу, причому, очевидно, розрахунок здійснюється за допомогою наступної формули: $\bar{K}_{ymin}^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \bar{K}_{ymini}(K_c) dK_c$.

Таким чином, в розділі розглянуті процедура розрахунку параметрів стохастичної області заданої форми та способу вибору оптимальної форми безпечної області судна. Матеріали розділу опубліковано у роботах [2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15].

У п'ятому розділі викладено результати імітаційного моделювання, з допомогою якого визначалась оптимальна форма безпечної області судна.

В процесі імітаційного моделювання перевірена коректність процедур розрахунку розмірів детермінованих, стохастичних і безпечних областей різної форми. Для кожної форми безпечної області вираховувались з допомогою імітаційного моделювання усередненого відносного мінімального ухилення ΔK_{oty} , як показано на рис. 3 для області форми півкола-півеліпса.

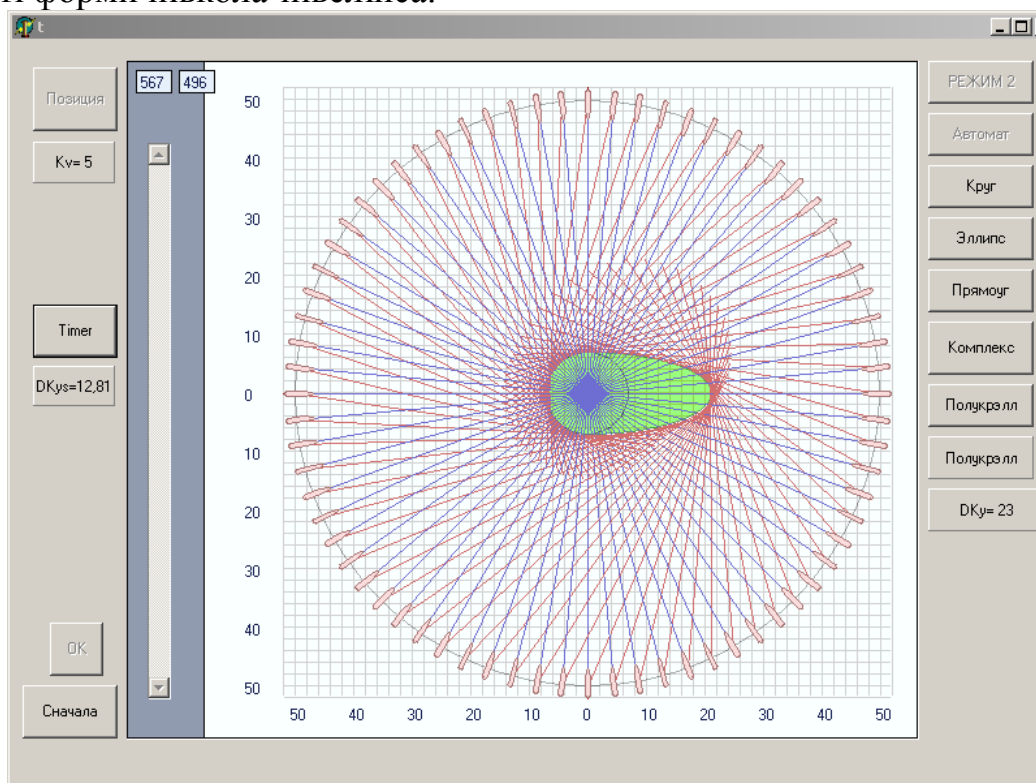


Рис. 3 - Розрахунок ΔK_{oty} для області форми півкола-півеліпса

Порівняльний аналіз безпечних областей різної форми для однакових габаритів судна і незмінного значення середнього квадратичного відхилення показав, що мінімальне середнє значення кута ухилення відповідає безпечній області, яка має форму півкола-півеліпса. Тому вказана форма безпечної області є оптимальною, при якій ухилення судна на безпечний курс розодження забезпечує мінімальні втрати пройденої відстані.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [18].

ВИСНОВКИ

Вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння є найбільш актуальною проблемою безпеки мореплавання. Одним із істотних аспектів цієї проблеми є попередження зіткнень суден в

стислих водах, що передбачує дослідження використання суднових безпечних областей.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового методу вибору оптимальної форми безпечної області судна і розрахунку її розмірів, який відрізняється сумісним урахуванням двовимірної щільності розподілу позиційної векторіальної похибок, габаритів судна і запасу відстані на форс-мажорні обставини.

У дисертаційній роботі вперше:

- математична модель детермінованої складової безпечної області судна при розходженні з ціллю, яка враховує габарити суден, явища присмоктування меж суднами та запас відстані на форс-мажорні обставини ;
- математична модель стохастичної складової безпечної області судна при розходженні з ціллю, яка враховує випадкову похибку навігаційних вимірювань представленої двовірною щільністю нормального та змішаних законів розподілу;
- оптимальна форма та розміри безпечної області судна встановлюються за критерієм мінімуму кута відхилення курсу судна від початкового що забезпечує підвищення ефективність плавання.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено в компанії «Daphne Shipping Agency, LLC», в вищому навчальному закладі „Институт последипломного образования” „Одесский морской тренажерный центр”, в науково-дослідній діяльності, а також у навчальних програмах судноводіїв з дисциплін кафедри Судноводіння ОНМА, що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Якушев, А.О. Выбор маневра расхождения судном в условиях штурмования [Текст] / А.О. Якушев, В.Г. Алексишин // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 19. – Одесса: «ИздатИнформ», 2010. – С. 209 - 211.

2. Якушев, А. О. Выбор оптимальной формы судовой безопасной безопасной зоны [Текст] / А.О.Якушев // Судовождение: сб. научн. трудов/ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013. – С. 163 - 167.

3. Якушев, А.О. Процедура определения параметров судовой безопасной области в системах предупреждения столкновений судов [Текст] / А.О.Якушев // Проблемы техники: научно-виробничий журнал. - 2013.-№ 4 . - С. 183 – 187.

4. Якушев, А.О. Предупреждение столкновения судов в системе параметров прямоугольной области [Текст] / А.О.Якушев // Проблемы техники: научно-виробничий журнал. - 2014. - № 1 . – С 113 - 117.

5. Якушев, А. О. Зависимость размеров судовой безопасной области от плотности распределения вероятностей позиционных погрешностей / А.О. Якушев [Текст] // Водный транспорт. – 2014. - №2 (20). – С. 84 – 88.
6. Волков, А. Н. Определение размеров безопасной судовой стохастической области [Текст] / А.Н.Волков, А.О. Якушев // Проблеми техніки: науково-виробничий журнал. - 2014. №4 . – С 86 - 95.
7. Волков, А. Н. Использование безопасной области судна сложной формы для обеспечения безаварийного плавания [Текст] / А.Н. Волков, А.О. Якушев // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – № 20. – С. 30 – 35.
8. Якушев, А. О. Выбор формы безопасной области, обеспечивающей минимальное уклонение судна при расхождении [Текст] / А.О. Якушев, Э.Н. Пятаков // Автоматизация судовых технических средств. – 2015. – № 21. – С. 77 – 81.
9. Якушев, А. О. Оценка эффективности судовой безопасной зоны/ А.О. Якушев [Текст] // Эффективная и безопасная эксплуатация морских судов и сооружений: материалы VI Всеукраинской научно-технической конференции, 2-4 октября 2013 г.- Севастополь: СевНТУ, 2013.- С. 227-229.
10. Волков А. Н. Определение размеров безопасной области судна заданной формы и использование ее в процессе судовождения [Текст] / А.Н. Волков, А.О.Якушев // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 21-23 травня 2014 р. – Миколаїв: МУК, 2014. – С. 42–47.
11. Якушев, А.О. Расчет вероятности нахождения судна в области заданной формы [Текст] / А.О.Якушев // Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека: матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2013 – Одеса: ОНМА, 2013. – С. 106–107.
12. Якушев, А. О. Выбор оптимальной формы безопасной области судна [Текст] / А.О.Якушев // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні: Матеріали наук.-техн. конф., 18-19 листоп. 2014 – Одеса: ОНМА, 2014. – С. 59–61.
13. Якушев, А. О. Определение размеров судовой безопасной области заданной формы [Текст] / А.О.Якушев // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014): матеріали VI Міжнародної наук. -практ. конф., 27-29 травня. 2014 – Херсон: ХДМА, 2014. – С. 149–151.
14. Якушев, А. О. Определение оптимальной формы судовой безопасной области [Текст] / А.О. Якушев // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015): матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 26-28 травня. 2015 – Херсон: ХДМА, 2015. – С. 130–133.
15. Якушев, А. О. Определение оптимальной формы безопасной области судна [Текст] / А.О.Якушев // Сучасні технології проектування,

побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 20-22 травня 2015 р. – Миколаїв: МУК, 2015. – С. 14–17.

16. Yakushev A. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation [Текст] / A. Yakushev, E. Pyatarov & A. Volkov // Activities in Navigation.-Adam Weintrit/ - 2015, P. 195 – 199.

17. Волков, А.Н. Использование безопасной области судна в процессе судовождения [Текст] / А.Н.Волков, А.О.Якушев // Вестник КамчатГТУ. – 2015. - № 31.- С. 7-11.

18. Якушев, А.О. Имитационное моделирование процедуры выбора оптимальной формы судовой безопасной области [Текст] / А.О.Якушев // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015, – С. 172 - 178.

АНОТАЦІЯ

Якушев О.О. Розробка методу вибору оптимальної форми безпечної області судна і визначення її розмірів. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом. Одеська національна морська академія, Одеса, 2016 р.

У роботі розглянуто істотні чинники, що впливають на розміри безпечної області судна, до яких відносяться габарити судна і цілі, явище присмоктування суден, випадкове положення цілі щодо її одержаного місця і можливі форс-мажорні обставини.

Розглянуті найчастіше пропоновані форми безпечної області цілі, до яких віднесені три типи простих форм: круг, еліпс і прямокутник і два типи складних форм, що є комбінацією деяких простих форм.

Одержане рівняння для розрахунку розмірів стохастичної області. З урахуванням рівняння меж стохастичної області для кожної з форм одержані інтегральні рівняння для розрахунку визначальних параметрів.

Розроблена процедура вибору оптимальної форми безпечної області, яка передбачує визначення розмірів безпечної області заданої форми залежно від закону розподілу вірогідності векторіальної похибки. Процедура передбачає порівняння величин усереднених курсів ухилення.

Приведені результати імітаційного моделювання, яке реалізоване за допомогою розробленої комп'ютерної програми. В процесі імітаційного моделювання перевірена коректність процедур розрахунку розмірів детермінованих, стохастичних і безпечних областей різної форми. Імітаційна програма виконує розрахунок безпечних областей залежно від габаритів судна і закономірностей векторіальної похибки позиції судна.

Ключові слова: безпека судноводіння, безпечна область, оптимальна форма безпечної області, імітаційне моделювання.

АННОТАЦІЯ

Якушев А.О. Розробка метода вибору оптимальної форми безпечної області судна і визначення її розмірів. – Рукопис. Дисертація на соискание ученої ступені кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.13 – навігація і управління рухом. Одеська національна морська академія, Одеса, 2016 г.

В роботі розглянуті суттєві фактори, що впливають на розміри безпечної області цілі, до яких належать габарити судна і цілі, явище присасування судів, випадкове положення цілі відносно її отриманого місця і можливі форс-мажорні обставини.

Розглянуті найбільш часто пропонувані форми безпечної області цілі, до яких віднесені три типи простих форм: круг, еліпс і прямокутник і два типи складних форм, що є комбінацією деяких простих форм.

Отримано рівняння для розрахунку розмірів стохастическої області, що залежить від рівняння межі стохастическої області і двовимірної густоти розподілу векторіальної похибки положення цілі.

З урахуванням рівняння межі стохастическої області для кожної з форм отримані інтегральні, а потім і модифіковані рівняння, що містять замість визначених інтегралів еквівалентні сумми, для розрахунку визначаючих параметрів.

Розроблено процедуру вибору оптимальної форми безпечної області, що передбачає визначення розмірів безпечної області заданої форми в залежності від закону розподілу ймовірностей векторіальної похибки. Розроблено спосіб визначення мінімальних курсових ухилів судна при заданій формі безпечної області судна.

Викладено процедуру вибору оптимальної форми безпечної області судна, що передбачає порівняння величин осереднених курсових ухилів і в якості оптимальної вибирається та форма безпечної області, для якої значення осередненого курсового ухилу є мінімальним.

Наведено результати імітаційного моделювання, що реалізовано з допомогою розробленої комп'ютерної програми. В процесі імітаційного моделювання перевірено коректність процедур розрахунку розмірів детермінованих, стохастических і безпечних областей різної форми. Імітаційна програма

производит расчет безопасных областей в зависимости от габаритов судна и закономерностей векториальной погрешности позиции судна.

Ключевые слова: безопасность судовождения, безопасная область, оптимальная форма безопасной области, имитационное моделирование.

ANNOTATION

Yakushev A.O. Development of method of choice of optimum form of safe region of ship and determination of its sizes. - 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, 2016.

Substantial factors influencing on the sizes of safe region of purpose are considered in work, which the sizes of ship and target, casual position of target in relation to its got place and possible force-majeure circumstances.

The most often offered forms of safe region of target are considered, to which delivered three types of simple forms: circle, ellipse and rectangle and two types of difficult forms being combination of some simple forms.

Equalization for the calculation of sizes of stochastic region is got. Taking into account equalization of scopes of stochastic region for each of forms integral equalizations for the calculation of determining parameters are got.

Procedure of choice of optimum form of safe region is developed, foreseeing determination of sizes of safe region of the set form depending on the law of probability distribution of errors.

The results of imitation design which is realized by the developed computer program are resulted. In the process of imitation design correctness of procedures of calculation of sizes of the determined, stochastic and safe regions of a different form is tested.

Keywords: safety of navigator, safe region, optimum form of safe region, imitation design.

Підп. до друку 24.03.2016. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,33.
Тираж 100 пр. Зам. № И16-03-76

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