

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ "

Калініченко Григорій Євгенович



УДК 656.61.052

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН З
УРАХУВАННЯМ ЇХ ДИНАМІКИ ТА
НАВІГАЦІЙНИХ ПЕРЕШКОД**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Бурмака Ігор Олексійович,
Національний університет "Одеська морська академія",
завідувач кафедри управління судном (м. Одеса)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Кондратенко Юрій Пантелійович,
Чорноморський державний університет ім. Петра
Могили, професор кафедри інтелектуальних
інформаційних систем (м. Миколаїв)

кандидат технічних наук,

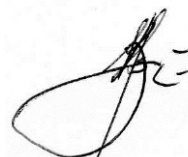
Репетєй Володимир Дмитрович,
Одеська філія "Дельта-лоцман" Державного
підприємства "Адміністрація морських портів України",
начальник служби безпеки мореплавства (м. Одеса)

Захист відбудеться 30 січня 2019 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті "Одеська морська
академія" за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань
вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного
університету "Одеська морська академія" за адресою: м. Одеса,
вул. Дідріхсона, 8, корп. 2 та за електронною адресою:
[www.onma.edu.ua/zakhist -dissertatsiy](http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy).

Автореферат розісланий 27 грудня 2018 р.

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



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема безпеки судноводіння являється однією з найважливіших проблем, так як її успішне рішення веде до охорони людського життя на морі, зменшення збитків майну і виробничим процесам, зниження шкоди навколишньому середовищу.

Плавання морських суден в берегових районах ускладнюють інтенсивне судноплавство та навігаційні небезпеки, які являються обставинами для виникнення аварійних ситуацій. В стислих районах плавання навігаційна ситуація підлягає швидким змінам, тому необхідна розробка сучасних простих в використанні методів оцінки небезпеки зближення та вибору маневру розходження з використанням комп'ютерних інформаційних технологій. Тому розробка сучасних способів управління процесом розходження суден, що небезпечно зближуються, чому присвячена дана робота, є актуальним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання роботи проводилось відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), а також в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ДР 0115U003580, 2016 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження стало вдосконалення методів попередження зіткнення пари суден та вибір безпечного маневру їх розходження.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження є допущення про можливість підвищення швидкодії вибору маневру розходження пари суден, які знаходяться у динамічному стані, зміною їх курсів поза зоною небезпечного руху.

Головна задача дослідження полягає у розробці алгоритмів для визначення безпечного маневру розходження суден поза зоною небезпечних курсів.

Вирішення головної задачі дисертації здійснюється шляхом її декомпозиції на три допоміжні задачі, а саме:

- вплив динаміки судна при повороті на форму і розміри області небезпечних значень курсів пари суден;
- урахування навігаційних перешкод в разі вибору маневру розходження за допомогою області небезпечних значень курсів суден;
- розробка способу комп'ютерного відображення області небезпечних значень курсів суден і вибір з її допомогою безпечного маневру розходження.

Об'єктом дисертаційного дослідження став процес руху пари суден.

Предметом дослідження є маневр розходження пари суден.

Методи дослідження. В роботі використані наступні методи для вирішення поставлених завдань:

- дедукції при аналізі основних підходів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- експертного оцінювання;
- дослідження операцій для розподілення головної задачі на допоміжні задачі;
- системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і при формуванні технології наукового дослідження;
- математичного аналізу для одержання рівнянь руху судна і пошуку залежності параметрів руху судна від керуючих впливів;
- аналітичної геометрії для формалізації області небезпечних курсів двох суден.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні алгоритму вибору безпечного маневру розходження суден зміною напрямків руху поза зоною небезпечних значень курсів при наявності навігаційних перешкод, реалізованого у вигляді комп'ютерного модуля.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено динамічну послідовність руху пари суден на повороті при формуванні області небезпечних значень їх курсів;
- отримав подальший розвиток алгоритм визначення меж області небезпечних значень курсів суден з урахуванням навігаційної перешкоди;
- удосконалено процес візуального відображення області небезпечних значень курсів суден та вибору маневру безпечного розходження під час руху при наявності навігаційних перешкод.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна для попередження зіткнень, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління суднами.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 01.06.2018 р.), компанією «MSC Shipmanagement Ltd, Surgus» для навчання офіцерів навігаційної вахти за предметами «Навігація у обмеженому водному просторі» та «Менеджмент команди на мостику» (акт впровадження від 15.06.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Маневрування та управління судном» (акт від 19.06.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертант виконав дисертаційну роботу самостійно: ним виконано аналіз основних підходів вирішення проблеми підвищення безпеки судноводіння і проведено інформаційний пошук в цьому напрямку, він обґрунтував методологічне забезпечення дослідження, розробив і виклав метод вибору маневру розходження суден із урахуванням динаміки суден та навігаційних перешкод, ним також розроблені необхідні алгоритми, що дозволяють формування комп'ютерної системи вибору

безпечного маневру розходження, здобувачем виконано імітаційне моделювання, впроваджені результати роботи в виробничий процес. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті положення, які належать автору особисто: дослідження взаємодії суден в стандартній ситуації небезпечного зближення [1], використання кінематичної моделі повороту судна [2], визначення зовнішнього керування процесом судноводіння [3], процедура оцінки небезпечності ситуації зближення суден [4], використання області небезпечних курсів для вибору маневру розходження [5], урахування навігаційних небезпек при розходженні суден [7], урахування динаміки суден при формуванні області небезпечних курсів [9], процедура формування області небезпечних курсів [12,13], вплив течії на гальмування судна [14], визначення рівня ситуативного збурення [15], умова існування допустимої множини маневрів розходження [17], вплив моделі обертального руху судна на похибку у визначенні дистанції найкоротшого зближення [19].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях: науково-технічна конференція "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні" (Одеса, 18-19 листопада 2014 р.), науково-технічна конференція "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні" (Одеса, 19-20 листопада 2015 р.), VI Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)» (Херсон, 26-28 травня 2015 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 грудня 2017 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 19 наукових праць (з них 5 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 7 наукових статей [1, 2, 3, 5, 9, 10, 12]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 3 наукові статті [4, 6, 11]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 9 доповідей [7, 8, 13-19].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (134 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 261 сторінку і містить 89

рисунків, зокрема: 201 сторінка основного тексту, 16 сторінок списку використаних джерел, 44 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведені актуальність, мета, головне та допоміжні завдання, наукова новизна та практичне значення наукового дослідження.

У **першому розділі** методом дедукції здійснено огляд літературних джерел стосовно безпеки руху суден та створена ієрархія основних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння: від загального до часткового через особисте.

Виявлено, що основними напрямками рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння є розробка методів управління та моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, що сприяє їх більш безпечному плаванню, забезпеченню точності контролю місця судна і оцінки безпеки судноводіння при розходженні пари суден.

В результаті інформаційного пошуку було встановлено, що основними напрямками рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння є вдосконалення методів управління рухом суден, що сприяє їх більш безпечному плаванню та попередженні зіткнень.

Питання по даній тематиці потребують подальших наукових досліджень, що і обумовлює актуальність дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** здійснений вибір теми дисертаційного дослідження методом експертного оцінювання та його методологічного забезпечення. Вибір теми дослідження здійснений за наступними факторами: актуальність, наукова новизна, економічна ефективність, відповідність паспорту спеціальності 05.22.13 та строки реалізації дослідження.

Ціль та завдання роботи реалізовані на підґрунті глибокого вивчення досліджень А.С. Мальцева, Л.Л. Вагущенко, М.С. Алексійчука та багатьох інших дослідників, направлених на безпечне розходження суден в стислих умовах плавання.

Технологічна карта дослідження відображає його послідовність відповідно до етапів системного аналізу, що дозволяє обґрунтувати методи вирішення завдань, спрогнозувати наукові результати та наукове положення дослідження.

У **третьому розділі** вирішується перша допоміжна задача дослідження: вплив динаміки судна при повороті на форму і розміри області небезпечних значень курсів пари суден.

Для рішення першої допоміжної задачі були використані наступні методи наукового дослідження: системний аналіз, математичний аналіз, аналітична геометрія.

Для формалізації процесу розходження суден приведено аналітичний опис закономірностей відносного руху пари суден і його характеристика з точки зору безпеки плавання. Одержано залежності параметрів відносного

руху від параметрів істинного руху кожного із суден. Показано, що принципово важливим для залежності відносного курсу від істинного курсу судна, що маневрує є відношення швидкостей суден. Отримано аналітичний вираз залежності істинного курсу судна K_0 від відносного курсу K_{ot} при відомих значеннях відношення швидкостей суден та курсу іншого судна.

При аналізі ситуації зближення суден визначною являється швидкість зміни дистанції між ними \dot{D} , вираз для визначення якої має вигляд:

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

де K_1 , K_2 і V_1 , V_2 - відповідно курси і швидкості суден.

На кожному із суден проводиться поточний контроль і прогноз значення дистанції найкоротшого зближення D_{min} і зіставляється його значення із значенням гранично - допустимої дистанції D_{dop} , яка забезпечує безпечне розходження. В розділі наведені формули для розрахунку дистанції найкоротшого зближення D_{min} і моменту часу досягнення значення D_{min} , - час найкоротшого зближення T_{min} . У даній роботі вважається, що безпечна область судна є кругом з радіусом D_d . В розділі розглянуто поняття ситуаційного збурення, яке є характеристикою небезпеки зближення пари суден.

Кожне із суден характеризується двовимірною областю неприпустимих позицій, в якій небажано перебування будь-яких сторонніх об'єктів. Область неприпустимих позицій формується таким чином, щоб її межа відповідала нульовій ймовірності зіткнення. Ситуаційне збурення виникає при прогнозованому попаданні суден в область неприпустимих позицій і виявляє небезпечну позицію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції пари суден мінімальної динамічної системи.

Проведений аналіз показує, що сукупність суден в ситуації небезпечного зближення являє собою динамічну систему, тому в розділі детально розглянуто її опис і можливості для формалізації процесу розходження суден. За визначенням динамічною системою являється будь-який об'єкт або процес, для якого однозначно визначено поняття стану, як сукупності деяких величин в даний момент часу і задано закон, який описує зміну початкового стану з плином часу. За допомогою цього закону за початковим станом динамічної системи можна прогнозувати її майбутній стан. Математична модель динамічної системи вважається заданою, якщо введені параметри (координати) системи, що визначають однозначно її стан, і зазначений закон зміни стану. Залежно від ступеня наближення одній і тій же системі можуть бути поставлені у відповідність різні математичні моделі.

Локальна близькість суден, які належать до певної області S_c , дозволяє розглядати їх сукупність, як деяку динамічну систему Σ , яка утворилася за принципом локальної близькості суден і їх приналежності до області S_c .

Враховуючи, що центральним питанням, що диктує розробку математичної моделі, є забезпечення безпечного руху суден в аналізованій області, динамічна система Σ повинна описуватися з позицій їх безпечного відносного переміщення.

В розділі задана динамічна система, що описує сукупність n суден, з урахуванням, що така система є керованою усіма n суднами. Даний опис має відношення тільки до динамічної системи без урахування впливу збурень зовнішнього середовища, яке формалізується у вигляді додаткових параметрів в математичній моделі. Фазовими координатами системи, які описують її стан, є координати $\xi_i(t)$ і $\eta_i(t)$ кожного із суден і їх параметри руху $V_i(t)$ і $K_i(t)$ в двовимірній прямокутній системі координат, пов'язаної з областю контролю S_c і орієнтованої в напрямку N-S.

Окремий стан $x = x(t)$, як елемент множини станів, є $4n$ -вимірним вектором, а множина станів - $4n$ -вимірною областю, причому $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, де X_i - множина станів i -го судна. Множина станів $X_i = (\xi_i, \eta_i, V_i, K_i)$ обмежується граничними значеннями фазових координат:

$$\xi_i \in [\xi_{\min i}, \xi_{\max i}]; \eta_i \in [\eta_{\min i}, \eta_{\max i}]; V_i \in [V_{\min i}, V_{\max i}]; K_i \in [0, 2\pi].$$

Динамічна система Σ характеризується ще двома додатковими атрибутами. По-перше, це множина миттєвих значень вхідних керуючих впливів W , до яких в даному випадку відносяться кут кладки пера керма і обороти двигуна кожного i -го судна. По-друге, множина стратегій поведінки Ω , які характеризують правила вибору значень вхідних керуючих впливів у часі в залежності від поточних обставин. У розглянутій динамічній системі вхідний вплив «розділено» між учасниками спільного управління ($i=1, \dots, n$). Причому кожному учаснику поставлені у відповідність дві непустих множини U_i і D_i , які називаються відповідно множиною миттєвих значень управлінь i -го учасника та множиною стратегій того самого учасника.

Перехідна функція стану $\chi: [t_0, T] \times [t_0, T] \times X \times \Omega \rightarrow X$, (закон зміни стану системи) завершує опис керованої динамічної системи стандартного типу. В даному випадку зміна динамічної системи Σ описується диференціальними рівняннями.

Взаємодія суден мінімальної динамічної системи Σ_{2s} можлива тільки в рамках принципу їх взаємодії $G(D_1, D_2, X)$, покладеного в основу функціонування координатора s_0 . Ще раз звертаємо увагу на те, що при даному типі управління координатор виконує тільки узгодження стратегій, а параметри маневру розходження, в рамках норм координатора, розраховуються самими суднами. На відміну від розглянутого типу управління, зовнішнє управління передбачає вибір типу стратегії розходження і розрахунку параметрів безпечного маневру, а судна тільки реалізують покладені на них стратегії.

У розділі приведені рівняння меж області небезпечних курсів, які не враховують інерційність судна при повороті, в результаті чого дистанція

найкоротшого зближення менше гранично - допустимої дистанції D_d на величину ΔD_d , яка визначається виразом:

$$\Delta D_d = MN \sin(K_{oty}^* - \psi),$$

де $MN = \sqrt{\Delta x_{ot}^2 + \Delta y_{ot}^2}$;

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta x_{ot}}{\Delta y_{ot}}.$$

В свою чергу:

$$\Delta x_{ot} = \frac{V_1}{\omega_p} (\cos K_{1o} - \cos K_{1y}) - V_2 \frac{K_{1y} - K_{1o}}{\omega_p} \sin K_{2o},$$

$$\Delta y_{ot} = \frac{V_1}{\omega_p} (\sin K_{1y} - \sin K_{1o}) - V_2 \frac{K_{1y} - K_{1o}}{\omega_p} \cos K_{2o},$$

причому ω_p - кутова швидкість повороту судна;

K_{1o} та K_{1y} - курси судна до і після повороту.

Величина ΔD_d , розрахована для повороту судна з курсу $K_{1o} = 45^\circ$ на курс $K_{1y} = 90^\circ$ з кутовою швидкістю $\omega_p = 1^\circ/\text{с}$ при параметрах ситуації небезпечного зближення: $\alpha = 90^\circ$, $D = 3,0$ милі, $D_d = 1,0$ милі, $V_1 = 15$ вузлів, $V_2 = 20$ вузлів, $K_{2o} = 315^\circ$ становить близько 0,45 милі. Тому для розходження на дистанції 1 миля необхідно проводити розрахунок області небезпечних курсів для граничної дистанції $D_d + \Delta D_d = 1,45$ милі.

У розділі викладено основну ідею врахування навігаційних перешкод при формуванні областей небезпечних курсів. Для цього необхідно розрахувати граничні курсу ухилення судна вправо $K_{yn}^{(s)}$ і вліво $K_{yn}^{(p)}$:

$$K_{yn}^{(s)} = \alpha_n + \operatorname{arcsin} \frac{\hat{D}_n}{D_n}, \quad K_{yn}^{(p)} = \alpha_n - \operatorname{arcsin} \frac{\hat{D}_n}{D_n}.$$

Тому множина неприпустимих курсів ухилення судна M_n визначається виразом $M_n = [K_{yn}^{(s)}, K_{yn}^{(p)}]$. Курс ухилення судна K_y при розходженні не повинен належати множині неприпустимих курсів M_n , тобто $K_y \notin M_n$.

В розділі розглянуто ситуацію небезпечного зближення суден при наявності точкової навігаційної небезпеки. Параметри ситуації зближення мають такі значення $V_1 = 10$ вуз., $V_2 = 20$ вуз., $D = 3$ милі, $\alpha = 0^\circ$, $D_d = 1$ миля, $\hat{D}_n = 0,5$ милі, $\alpha_{n1} = 27^\circ$, $D_{n1} = 2,24$ милі, $\alpha_{n2} = 135^\circ$, $D_{n2} = 1,41$ милі. Ситуацію відображено на рис. 1.

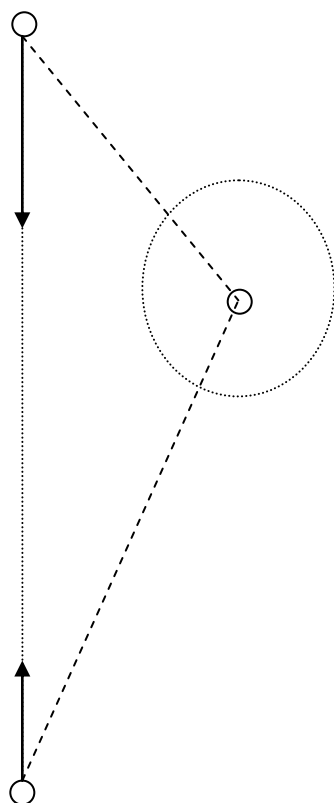


Рис. 1. Початкова ситуація небезпечного зближення

Для даної ситуації отримані наступні граничні неприпустимі курси: $K_{yn1}^{(s)}=39,9^\circ$, $K_{yn1}^{(p)}=14,1^\circ$, $K_{yn2}^{(s)}=155,8^\circ$, $K_{yn2}^{(p)}=114,2^\circ$. Область небезпечних курсів з урахуванням точкової навігаційної безпеки показано на рис. 2.

При проходженні суден початковими курсами $K_1=0$ і $K_2=180$ відповідна точка, як впливає з рис. 2, належить області небезпечних курсів. При виборі маневру розходження слід уникати вибору точок, що знаходяться між пунктирними лініями.

Таким чином, в розділі визначено мінімальну динамічну систему, як формалізацію пари взаємодіючих суден в ситуації небезпечного зближення, та її характеристики, отримано області небезпечних значень курсів для пари суден.

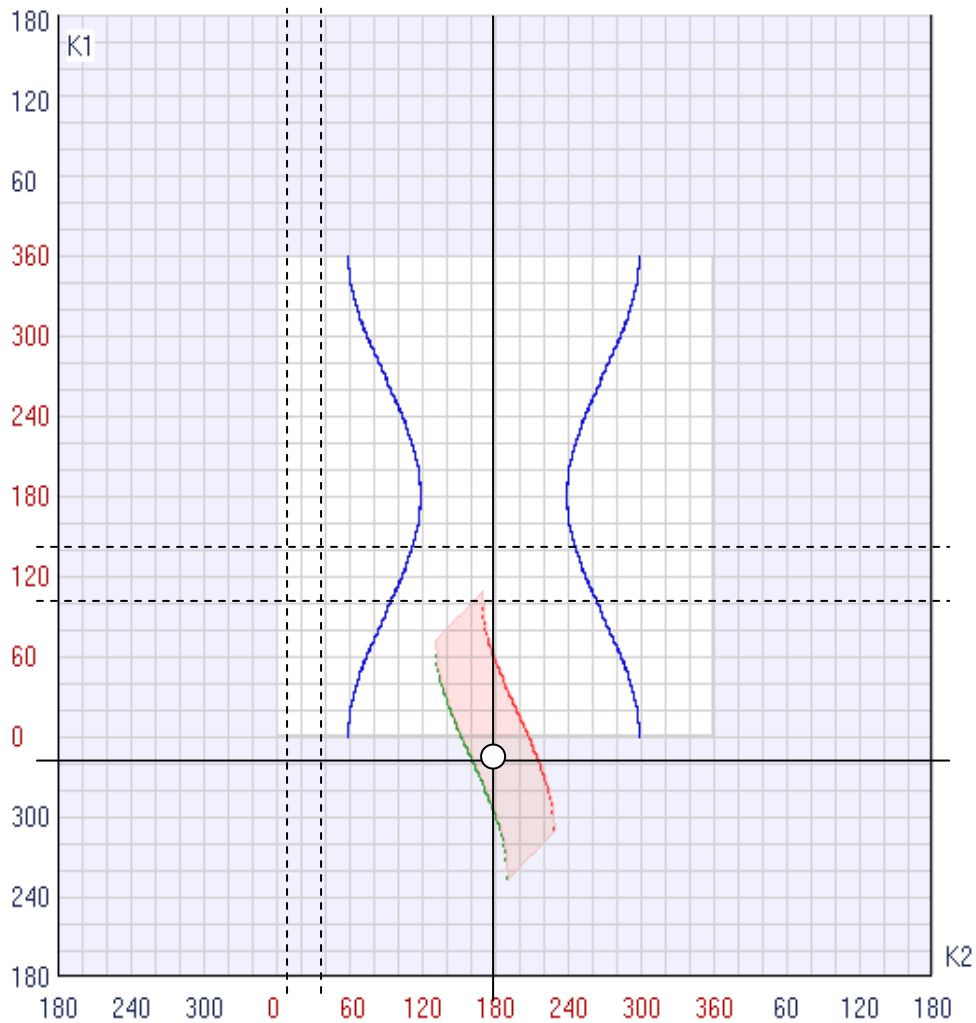


Рис. 2. Область S_{Dij} з урахуванням точкової навігаційної небезпеки

Науковим результатом рішення першої допоміжної задачі є вдосконалення способу формування області небезпечних значень курсів пари суден із урахуванням їх динаміки. При розгляді ситуації небезпечного зближення пари суден було отримано межі області небезпечних значень курсів, які є лінійними функціями. Показано, як впливає інерційність суден на формування області небезпечних значень курсів при повороті, а також визначено множину неприпустимих курсів. Наведено приклад ситуації небезпечного зближення пари суден при наявності точкової навігаційної небезпеки.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [1-3, 8, 12, 17].

Четвертий розділ присвячений рішенням другої допоміжної задачі дисертаційного дослідження, а саме: урахуванню навігаційних перешкод в разі вибору маневру розходження за допомогою області небезпечних значень курсів.

Під час рішення даної задачі були використані наступні методи наукового дослідження: математичний аналіз та аналітична геометрія.

Для урахування впливу інерційності при повороті на форму області

небезпечних курсів пари суден потрібно застосувати модель його обертального руху, яка враховує інерційність при повороті і нерівномірну зміну кутової швидкості повороту, яка характеризує тривалість першої τ_1 і другої τ_2 фаз повороту, а також приращення координат судна Δx_i і Δy_i в результаті виконання повороту.

В роботі розглянуті загальноприйняті дві основні моделі обертального руху судна, які враховують інерційність судна. У першій моделі обертальний рух судна описується диференціальним рівнянням другого порядку зміни його курсу при повороті, а тривалість першої τ_1 і другої τ_2 фаз повороту визначається методом простих ітерацій з рівнянь:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= T_1 [1 - \exp(-\tau_1/T_1)] + \tau_2 - T_1 [2 - \exp(-\tau_1/T_1)][1 - \exp(-\tau_2/T_1)] + \Delta K_i / \omega_p, \\ \tau_2 &= T_1 \ln [2 - \exp(-\tau_1/T_1)],\end{aligned}$$

де $\Delta K_i = K_{iy} - K_{io}$, T_1 - постійна часу, що характеризує інерційність судна при обертальному русі. Початковим наближенням в ітераційному циклі приймається $\tau_1 = \Delta K_i / \omega_p$.

Обертальний рух судна при зміні курсу в другій моделі описується диференціальним рівнянням третього порядку. За допомогою методу простих ітерацій визначаються значення інтервалів часу τ_1 і τ_2 на першій і другій фазах повороту судна:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \tau_2 + \{T_1^2 [1 - \exp(-\tau_1/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\tau_1/T_2)]\} / (T_1 - T_2) - \\ &\quad - \{2 - [T_1 \exp(-\tau_1/T_1) - T_2 \exp(-\tau_1/T_2)]\} / (T_1 - T_2) \} \times \\ &\quad \{T_1^2 [1 - \exp(-\tau_2/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\tau_2/T_2)]\} / (T_1 - T_2) + \Delta K_i / \omega_p, \\ \tau_2 &= -T_1 \ln \{(T_2/T_1) \exp(-\tau_2/T_2) + [(T_1 - T_2)/T_1] L^{-1}\},\end{aligned}$$

де $L = 2 - [T_1 \exp(-\tau_1/T_1) - T_2 \exp(-\tau_1/T_2)] / (T_1 - T_2)$.

T_1 і T_2 - постійні часу, що характеризують інерційність судна при обертальному русі.

В розділі розглянуто процедуру урахування інерційності судна в процесі обертального руху при формуванні області небезпечних курсів S_{Dij} .

При розрахунку меж області небезпечних курсів S_{Dij} без урахування інерційності суден була використана залежність:

$$K_i = \alpha_{ij} - \arcsin \frac{D_d}{\Delta_{ij} D_{ij}} + \arcsin \left\{ \rho_{ij} \left[\sin(K_j - \alpha_{ij} - \arcsin \frac{D_d}{\Delta_{ij} D_{ij}}) \right] \right\}. \quad (1)$$

Для формування області небезпечних курсів S_{Dij} з урахуванням інерційності суден при повороті в рівняннях меж необхідно гранично - допустиму дистанцію D_d збільшити на величину приращення дистанції ΔD_d , тобто попереднє рівняння меж набирає вигляду:

$$K_{iy} = \alpha_{ij} - \arcsin \frac{D_d + \Delta D_d}{\Delta_{ij} D_{ij}} + \arcsin \{ \rho_{ij} [\sin(K_{jy} - \alpha_{ij} - \arcsin \frac{D_d + \Delta D_d}{\Delta_{ij} D_{ij}})] \}. \quad (2)$$

Розглянемо врахування інерційності при повороті суден в разі $V_1 > V_2$, коли оцінка небезпеки зближення і вибір курсів ухилення визначається за допомогою області S_{Dij} , яка побудована без урахування інерційності суден тільки з урахуванням гранично - допустимої дистанції D_d . Для точки межі області з координатою K_{iy} , отриманої за заданою координатою K_{jy} за допомогою виразу (1), знаходимо приращення курсів суден щодо початкових значень $\Delta K_i = K_{iy} - K_{io}$ і $\Delta K_j = K_{jy} - K_{jo}$, за якими визначаємо приращення координат $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2$ і Δy_2 обох суден за час їх поворотів з урахуванням динамічної моделі їх обертального руху. Потім розраховуються приращення відносних координат $\Delta x_{ot}, \Delta y_{ot}$ і обчислюється перше наближення $\Delta D_d^{(1)}$ значення шуканого приращення дистанції ΔD_d . Потім отримане значення $\Delta D_d^{(1)}$ підставляємо в формулу (2) і отримуємо уточнене значення $K_{iy}^{(1)}$. Знаходимо приращення координати $\Delta K_i^{(1)} = K_{iy}^{(1)} - K_{io}$, а потім за описаним алгоритмом знаходимо друге наближення приращення $\Delta D_d^{(2)}$, тільки при розрахунку відносного курсу ухилення K_{oty}^* замість гранично - допустимої дистанції D_d беремо суму $D_d + \Delta D_d^{(1)}$. Зазначена процедура послідовних наближень проводиться до тих пір, поки різниця приращень $\Delta D_d^{(n)} - \Delta D_d^{(n-1)}$ не опиниться рівною або менше заданої величини δD . Після цього для даної точки межі області S_{Dij} розраховується координата $K_{iy} = K_{iy}^{(n)}$, відповідна до гранично - допустимої дистанції $D_d + \Delta D_d^{(n)}$. Таким чином розраховуються всі точки межі області небезпечних курсів S_{Dij} .

Для розрахунку меж області S_{Dij} з урахуванням інерційності суден при повороті було розроблено комп'ютерну програму, яка реалізує алгоритм, представлений на рис. 3. У програмі розрахунок збільшення координат суден при повороті проводиться за допомогою першої моделі обертального руху. В алгоритмі показаний розрахунок координат окремої точки межі області S_{Dij} . За допомогою розробленої комп'ютерної програми для випадку $V_1 > V_2$ було згенеровано ситуацію небезпечного зближення суден з параметрами: відносна позиція зближення $\alpha_{12} = 158^\circ$, $D_{12} = 2,0$ милі і параметри руху обох суден $K_1 = 117^\circ$, $V_1 = 23$ вузла, $K_2 = 58^\circ$, $V_2 = 14$ вузлів, величина гранично - допустимої дистанції зближення суден D_d обрано рівною 1 милі. Прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення в розглядуваній ситуації дорівнює 0,16 милі, що менше величини D_d . У даній ситуації межі

області небезпечних курсів при врахуванні інерційності суден значно відрізняються від меж без її врахування.

Без врахування інерційності повороту для безпечного розходження досить було б змінити курс другого судна вліво на значення $K_{2y}=321^\circ$, не

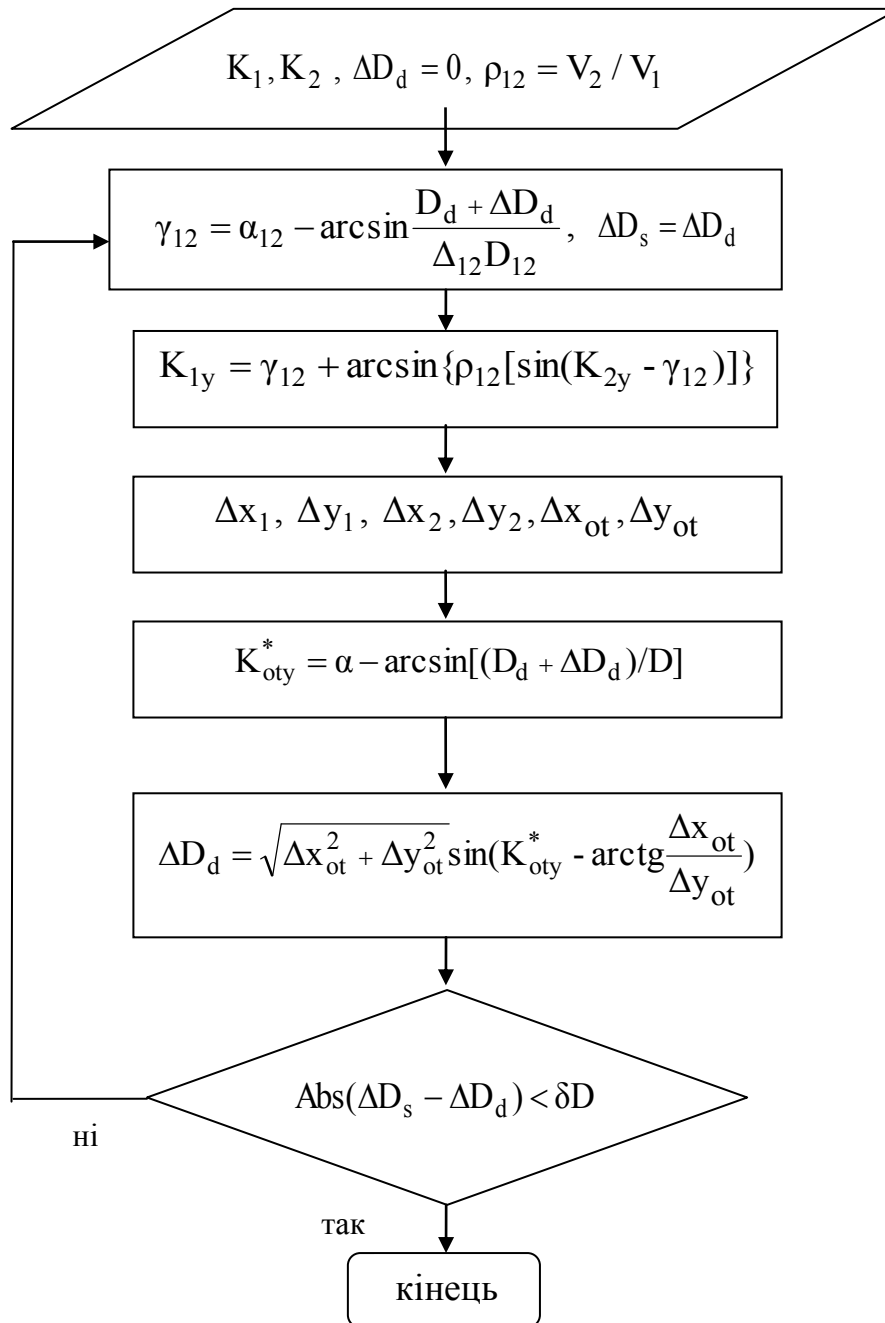


Рис. 3. Алгоритм розрахунку точки межі області S_{Dij}

змінюючи курсу першого судна, що показано на рис. 4. У цьому випадку відповідна вертикальна темна лінія проходить через червону нижню межу області небезпечних курсів, перетинаючись з горизонтальною лінією початкового курсу першого судна $K_1 = 117^\circ$. Однак нижня межа області небезпечних курсів з урахуванням інерційності суден синього кольору проходить набагато нижче і для безпечного розходження необхідно ще й ухилення першого судна вліво на курс $= 84^\circ$ (нижня горизонтальна темна лінія). Таким чином, для безпечного розходження суден з урахуванням їх інерційності на допустимій дистанції $= 1$ миля суднам слід лягти на курси ухилення $K_1 = 84^\circ$ і $K_2 = 321^\circ$.

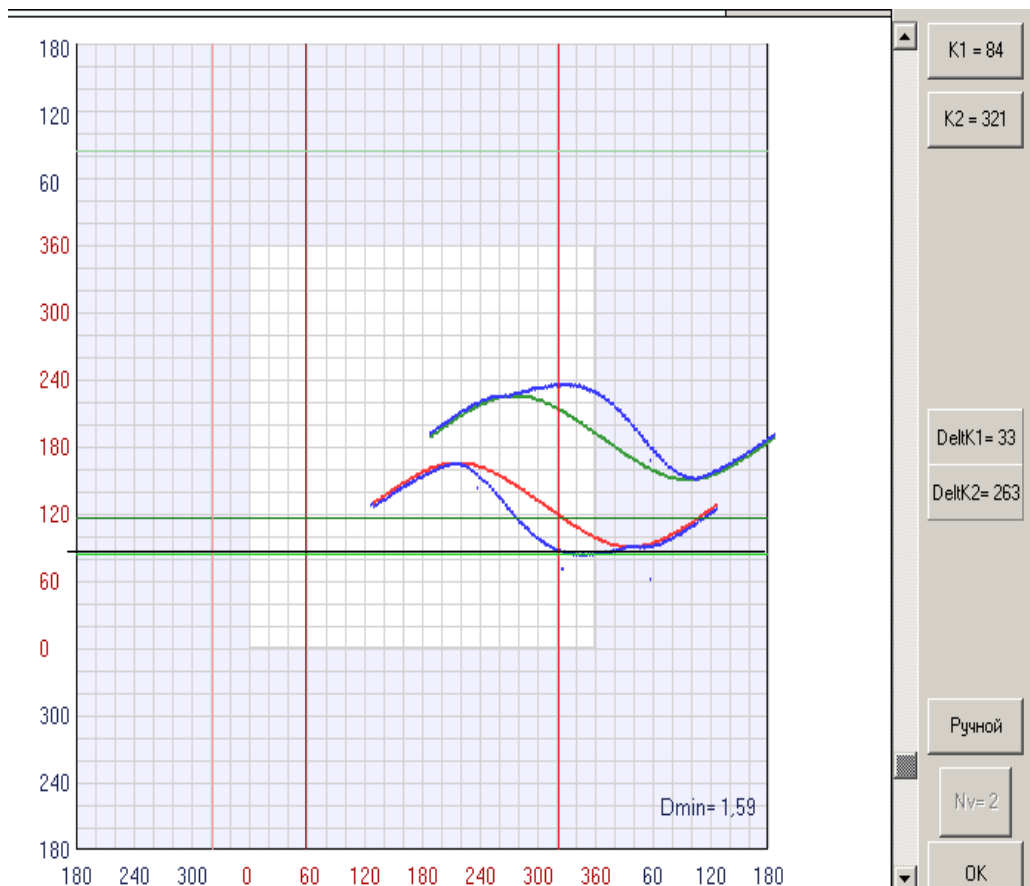


Рис. 4 . Межі області S_{Dij} ситуації зближення при $V_1 > V_2$

В розділі розглянуто вибір маневру розходження за допомогою області небезпечних курсів суден урахуванням навігаційних перешкод різних типів. Спочатку приведено аналітичний опис навігаційних перешкод в залежності від типу, з допомогою якого визначаються граничні допустимі курси ухилення суден, що в подальшому відображається на площині області небезпечних курсів суден. Так, на рис. 5 показано визначення граничних допустимих курсів ухилення K_{yn1} і K_{yn2} одного із суден.

В якості прикладу небезпечного зближення суден при наявності

розподіленої лінійної навігаційної перешкоди і вибору в такій ситуації безпечного маневру розходження зміною курсу розглянуто ситуацію небезпечного зближення з параметрами: відносне положення суден $\alpha_{12} = 54^\circ$, $D_{12} = 2,5$ милі і параметрами руху суден $K_1 = 12^\circ$, $V_1 = 15$ вузлів, $K_2 = 268^\circ$, $V_2 = 20$ вузлів, причому $D_d = 1,0$ миля.

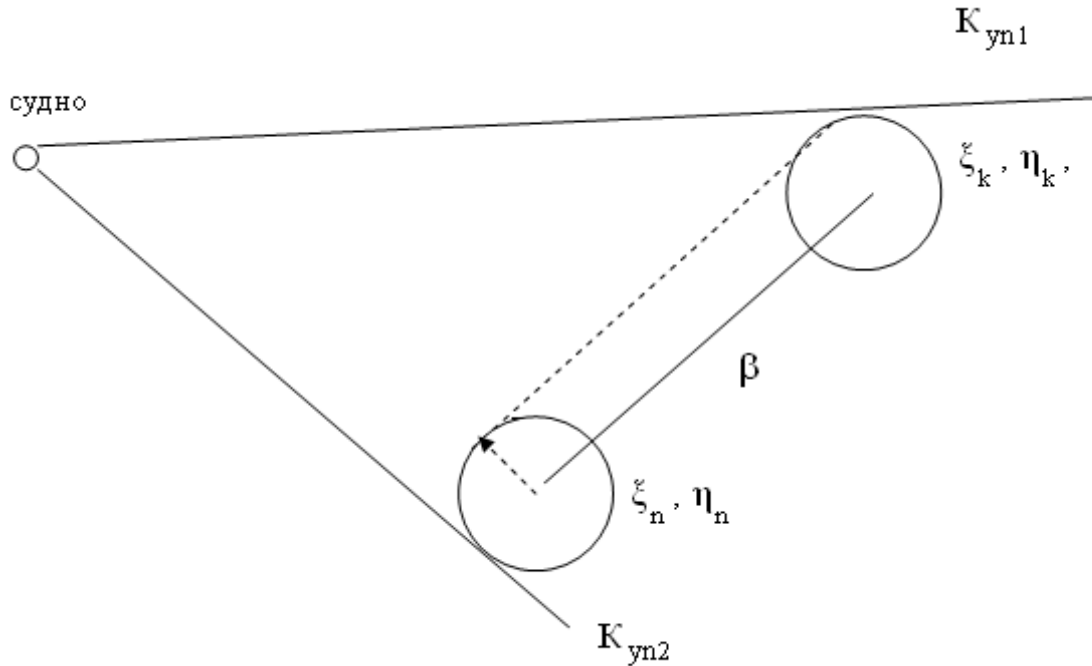


Рис. 5. Граничні курси ухилення K_{yn1} і K_{yn2} при лінійній перешкоді

Для даної ситуації небезпечного зближення на рис. 6 показана область небезпечних курсів суден S_{Dij} . На розширену площину курсів суден пунктирними лініями нанесені граничні безпечні курси ухилення, між якими забороняється використовувати курси ухилення в процесі вибору маневру безпечного їх розходження. В даному прикладі для вибору спільного безпечного маневру розходження слід вибрати точку нижньої межі області S_{Dij} , яка перетинається граничним безпечним курсом $K_{1y}^* = 9^\circ$, при цьому другому судну слід ухилитися курсом $K_{2y} = 230^\circ$. При цих курсах ухилення судна безпечно розходяться без загрози посадки на мілину.

Науковий результат рішення другої допоміжної задачі: отримав подальший розвиток алгоритм визначення меж області небезпечних значень курсів суден із урахуванням їх інерційності та при наявності розподіленої лінійної навігаційної перешкоди. Алгоритм розрахунку меж області небезпечних значень курсів реалізований у комп'ютерному модулі, за допомогою якого розглянуто декілька ситуацій небезпечного зближення пари суден та визначено умови, при яких обраний маневр розходження є безпечним: визначення фаз повороту суден за допомогою моделі

обертального руху, необхідне прирощення допустимої дистанції розходження та послідовне наближення прирощення дистанції (дистанція найкоротшого зближення суден менше або дорівнює гранично-допустимій дистанції).



Рис. 6. Область небезпечних курсів S_{Dij} з урахуванням лінійної перешкоди

Матеріали розділу опубліковано у роботах [4, 5-11, 18].

П'ятий розділ присвячений рішенням третьої допоміжної задачі: розробці способу візуального відображення області небезпечних значень курсів пари суден за допомогою комп'ютерного модулю і вибір безпечного маневру розходження.

Під час рішення даної задачі були використані наступні методи наукового дослідження: математичний аналіз, аналітична геометрія та системний аналіз.

Отримані в дисертаційній роботі теоретичні результати, що дозволяють здійснювати вибір курсів суден, що розходяться, за допомогою області небезпечних курсів, межі якої розраховані з урахуванням інерційності суден при повороті, реалізовані за допомогою комп'ютерної програми, яка може бути використана при розробці навігаційної інформаційної системи для безпечного розходження суден. При цьому на курси ухилення суден накладаються обмеження за наявними навігаційними перешкодами.

В розділі розглянуто ряд ситуацій небезпечного зближення суден при наявності різних типів навігаційних перешкод і комп'ютерне відображення

для них відповідних областей небезпечних значень курсів суден та вибір з її допомогою оптимального маневру розходження графічним способом.

Приклад ситуації небезпечного зближення суден, коли в районі маневрування знаходиться розподілена навігаційна перешкода, показано на рис. 7, а на рис. 8 показано область небезпечних курсів з урахуванням інерційності суден при повороті, а також показані обмеження, викликані наявністю лінійної розподіленої навігаційної небезпеки, які виражаються граничними курсами неприпустимих відхилень. Так, для першого судна лінійна розподілена навігаційна небезпека обмежує курси ухилення від 2° до 63° , а для другого судна неприпустимі курси ухилення через навігаційної небезпеки укладені в діапазоні від 305° до 7° . Межі зазначених підмножин неприпустимих курсів ухилення виділені паралельними горизонтальними і вертикальними лініями. При виборі безпечних курсів ухилення слід враховувати дані обмеження і не вибирати курси з зазначених діапазонів. Маневр розходження передбачає ухилення обох суден з програмних траєкторій руху. Оптимальні курси ухилення суден знаходяться на межах навігаційного обмеження, причому курс ухилення першого судна дорівнює $K_{1y}=2^\circ$, а курс ухилення другого судна дорівнює $K_{2y}=305^\circ$.

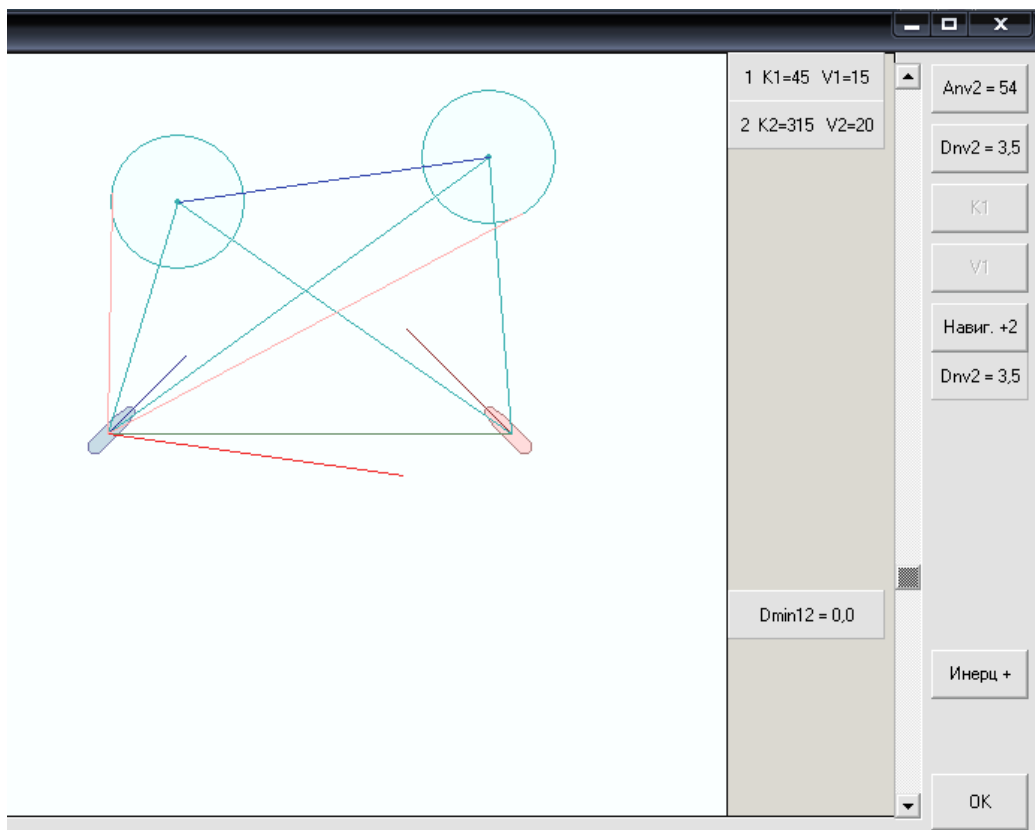


Рис. 7. Початкова ситуація небезпечного зближення суден

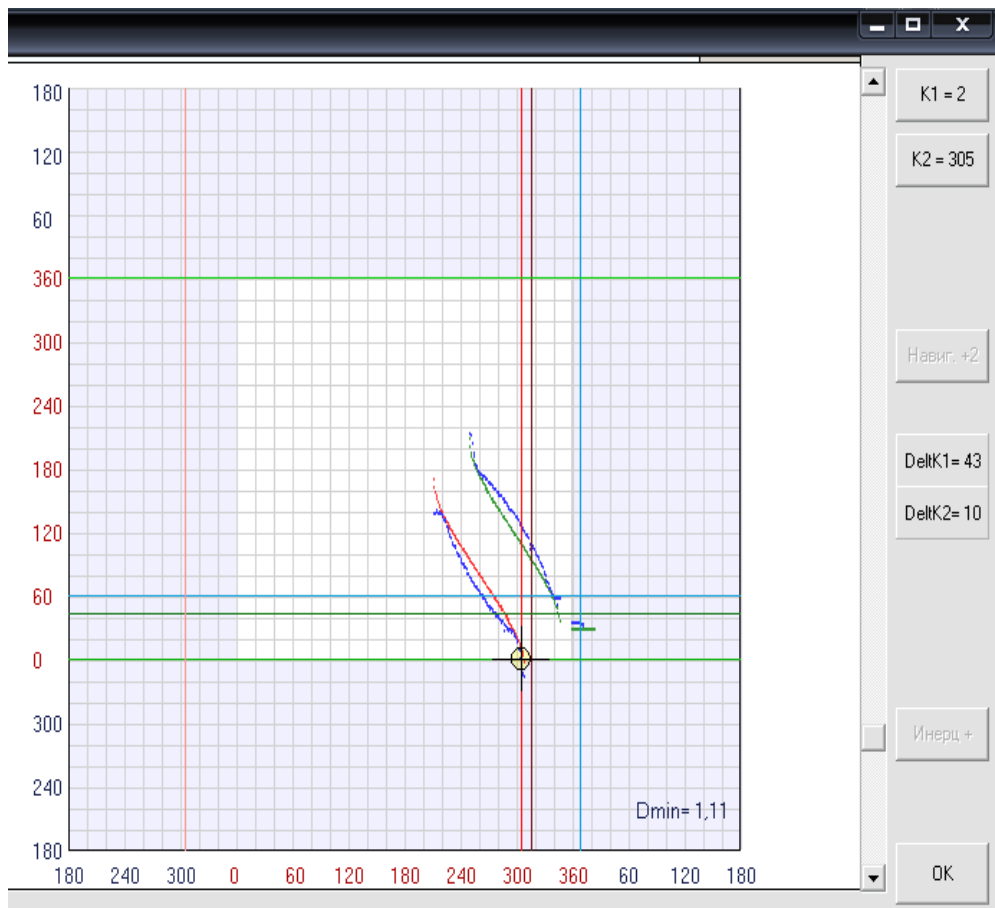


Рис. 8. Область небезпечних курсів і вибір курсів ухилення

Науковий результат рішення третьої допоміжної задачі: отримано спосіб візуального відображення області небезпечних значень курсів пари суден та вибір безпечного маневру розходження за допомогою комп'ютерного модуля.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [13, 14, 15-18].

Четвертий та п'ятий розділ присвячені рішенням головної задачі: розробці алгоритмів для визначення безпечного маневру розходження суден поза зоною небезпечних курсів.

Під час рішення головної задачі були використані наступні методи наукового дослідження: дедукція, системний аналіз, дослідження операцій, математичний аналіз та аналітична геометрія.

Кожна із трьох допоміжних задач накладає необхідні та достатні умови при виборі безпечного маневру розходження:

- урахування динаміки суден при повороті для формування меж області небезпечних значень їх курсів;
- прирощення допустимої дистанції зближення суден із урахуванням їх динаміки;
- наявність точкової або лінійної навігаційної безпеки та її вплив на межі області небезпечних значень курсів суден;
- інтеграція алгоритму розрахунку меж області небезпечних значень курсів у комп'ютерний модуль;

- візуальне відображення курсів безпечного маневру (поза зоною небезпечних значень) для спрощення його вибору.

Науковий результат рішення головної задачі: розроблено спосіб вибору безпечного маневру розходження пари суден за допомогою області небезпечних значень їх курсів, яка реалізована у вигляді комп'ютерного модуля.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процес їх експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, які служитимуть додатковим інформаційним забезпеченням при виборі маневру розходження.

Наукове положення – підвищення безпеки судноводіння в стислих умовах та вдосконалення методів попередження зіткнень суден забезпечується безпечним маневром при співвідношенні курсів цих суден, які не належать до області небезпечних значень.

ВИСНОВКИ

Зменшення кількості аварійних випадків, що веде до зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам, пов'язано з підвищенням безпеки судноводіння.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового методу вибору безпечного маневру розходження суден зміною курсів, що реалізований в комп'ютерному модулі із застосуванням області небезпечних значень курсів з урахуванням динаміки суден та навігаційних перешкод.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено динамічну послідовність руху пари суден на повороті при формуванні області небезпечних значень їх курсів;
- отримав подальший розвиток алгоритм визначення меж області небезпечних значень курсів суден з урахуванням навігаційної перешкоди;
- удосконалено процес візуального відображення області небезпечних значень курсів суден та вибору маневру безпечного розходження під час руху при наявності навігаційних перешкод.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 01.06.2018 р.), компанією «MSC Shipmanagement Ltd, Surgus» для навчання офіцерів навігаційної вахти за предметами «Навігація у обмеженому водному просторі» та «Менеджмент команди на мостіку» (акт впровадження від 15.06.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Маневрування та управління судном».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бурмака И.А. Взаимодействие судов с компенсацией ситуационного возмущения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. № 1 . – С 89 - 93.
2. Бурмака И.А. Учет динамики судна при плавании в стесненных водах/ Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Саков В.А.// Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. № 4 . – С 48 - 54.
3. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 35-41.
4. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения/ Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М. А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.
5. Кулаков М. А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ Кулаков М. А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 62 – 65.
6. Бурмака И.А. Предупреждение столкновений судов методами внешнего управления процессом расхождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 56 - 60.
7. Калиниченко Г. Е. Учет динамических характеристик судов при формировании области их опасных курсов/ Калиниченко Г. Е. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 28-34.
8. Калиниченко Г. Е. Учет навигационных опасностей при выборе маневра расхождения с помощью области опасных курсов / Калиниченко Г. Е. // XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 декабря 2017г. – Харьков – С. 22 - 29.
9. Калиниченко Г. Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик/ Калиниченко Г.Е., Пасечнюк С.С. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 44-51.
10. Калиниченко Г.Е. Учет динамических характеристик судна при расчете момента времени его поворота на программный курс // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. № 1 . – С 118 - 122.
11. Калиниченко Г.Е. Учет инерционности судна при формировании области опасных курсов / Калиниченко Г.Е. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 71 - 75.

12. Бурмака И.А. Методы внешнего управления судами в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Кулаков М.А., Калиниченко Г.Е. // Херсон, 2017 / №2 (17) – С. 23 – 27.

13. Бурмака И.А. Маневр расхождения нескольких судов изменением курсов / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Сааков // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні: Матеріали наук.-техн. конф., 18-19 листоп. 2014 – Одеса : ОНМА, 2014. – С. 110-112.

14. Бурмака И.А. Учет инерционности судна и навигационных опасностей при расчете опасных областей курсов/ Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е.// Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 114-115.

15. Калиниченко Е.В. Имитационное моделирование активного торможения судна с учетом течения/ Калиниченко Е.В., Калиниченко Г.Е. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015): Матеріали VI Міжнародної наук.-практ. конф., 26-28 травня. 2015 – Херсон: ХДМА, 2015. – С. 106-109.

16. Калиниченко Г. Е. Анализ условия сближения судов / Калиниченко Г. Е., Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 122–125.

17. Калиниченко Г. Е. Учет точечной навигационной опасности при использовании области недопустимых курсов судов / Калиниченко Г. Е. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 91–93.

18. Бурмака И. А. Определение допустимого множества маневров расхождения судов изменением скоростей / Бурмака И. А., Кулаков М.А., Калиниченко Г.М. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 21–23.

19. Казак Ю.В. Учет динамических моделей вращательного движения судна при обеспечении безопасности судовождения / Казак Ю.В., Калиниченко Г.Е. // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, авторматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : НУ «ОМА», 2017.

АНОТАЦІЯ

Калініченко Г.Є. Вдосконалення методів розходження суден з урахуванням їх динаміки та навігаційних перешкод. – Кваліфікаційна наукова праця на

правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271-Річковий та морський транспорт). - Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2018.

В роботі розглянуто мінімальну динамічну систему, поточний стан якої залежить від керуючих впливів обох суден. Проведено її формалізацію та отримано аналітичні вирази взаємної залежності параметрів істинного та відносного руху. Розглянуто ситуаційні збурення, які виникають при небезпечному зближенні суден і можуть приймати два значення, що визначають стандартне та екстремне маневрування. Наведено поняття області небезпечних курсів мінімальної динамічної системи та розглянуто її використання для вибору безпечного маневру розходження зміною курсів.

В роботі розглянуто питання врахування інерційності при повороті суден і навігаційних небезпек в районі їх маневрування при формуванні області небезпечних курсів суден. Показано, що через інерційність суден при їх повороті дистанція найкоротшого зближення виявляється менше розрахункової, тому при побудові області небезпечних курсів її межі розраховуються для гранично - допустимої дистанції зближення, яка збільшена на величину втрати дистанції найкоротшого зближення через інерційність судна. Розглянуто врахування навігаційних небезпек при виборі маневру розходження суден за допомогою області небезпечних курсів. Отримані вирази для розрахунку граничних курсів ухилення суден при наявності різних типів навігаційних небезпек: точкових, розподілених лінійних і складних розподілених. Показано відображення граничних курсів ухилення разом з областями небезпечних курсів і розроблено процедуру вибору безпечних курсів ухилення суден для розходження з урахуванням обмежень, що виникають через наявність навігаційних небезпек.

Для перевірки коректності одержаного в дисертаційній роботі способу вибору безпечного маневру розходження розглянута імітаційна комп'ютерна програма, приведено її опис, а також представлено результати імітаційного моделювання процесів коректного розходження суден в різних ситуаціях небезпечного зближення.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, область небезпечних курсів, навігаційні перешкоди.

АННОТАЦІЯ

Калиниченко Г.Е. Совершенствование методов расхождения судов с учетом их динамики и навигационных препятствий. – Квалификационная научная работа на правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.13 – навигация и управление движением (271 - Речной и морской транспорт). - Национальный Университет "Одесская морская академия", Одесса, 2018 г.

В работе рассмотрена минимальная динамическая система, текущее

состояние которой зависит от управляющих воздействий обоих судов. Проведена формализация минимальной динамической системы, рассмотрено пространство истинного движения судов системы и пространство относительного движения. Получены аналитические выражения преобразования параметров истинного движения в параметры относительного движения, также приведенные обратные преобразования относительных параметров в параметры истинного движения. Рассмотрены ситуационные возмущения, которые возникают при опасном сближении судов. Показано, что ситуационные возмущения могут принимать два значения, которые определяют стандартное маневрирование и экстренное маневрирование при чрезмерном сближении. Приведено понятие области опасных курсов минимальной динамической системы. Показано, что при разных соотношениях скоростей судов минимальной динамической системы области опасных курсов могут принимать разные формы. Рассмотрено использование области опасных курсов для выбора безопасного маневра расхождения изменением курсов.

В работе рассмотрен вопрос учета инерционности при повороте опасно сближающихся судов и наличия навигационных опасностей в районе их маневрирования при формировании области опасных курсов. Показано, что из-за инерционности судов при их повороте дистанция кратчайшего сближения оказывается меньше расчетной, поэтому при построении области опасных курсов ее границы рассчитываются для предельно-допустимой дистанции сближения, которая увеличена на величину потери дистанции кратчайшего сближения из-за инерционности судна. Предложены процедуры вычисления увеличения предельно-допустимой дистанции методом последовательных приближений для разных моделей вращательного движения судна. Разработана компьютерная программа расчета границ области опасных курсов с учетом инерционности судов и уточнено процедуру выбора безопасных курсов уклонения судов для расхождения.

Рассмотрен учет навигационных опасностей при выборе маневра расхождения судов с помощью области опасных курсов. Полученные выражения для расчета предельных курсов уклонения судов при наличии разных типов навигационных опасностей: точечных, распределенных линейных и сложных распределенных. Показано отображение предельных курсов уклонения вместе с областями опасных курсов и разработано процедуру выбора безопасных курсов уклонения судов для расхождения с учетом ограничений, которые возникают из-за наличие навигационных опасностей.

Для проверки корректности полученного в диссертационной работе способа выбора безопасного маневра расхождения рассмотрена имитационная компьютерная программа, приведено ее описание для проверки корректности теоретических результатов диссертационной работы, а также представлено результаты имитационного моделирования процессов расхождения судов в разных ситуациях опасного сближения, которые показывают корректность предложенного способа выбора курсов уклонения

судов с учетом их инерционности и имеющейся навигационной опасности.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновений судов, область опасных курсов, навигационные опасности.

ANNOTATION

Kalinichenko G. Ye. Perfection of methods of divergence of ships by the account of their dynamics and navigation obstacles. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences (Ph.D.) after specialty 05.22.13 - navigation and traffic control (271-river and marine transport). It is the National University "Odessa marine academy", Odessa, 2018.

The minimum dynamic system is considered in work, current status of which depends on the managing influencing of both ships. Its formalization is conducted and got analytical expressions of mutual dependence of parameters of veritable and relative motion. Situation indignations, which arise up at dangerous rapprochement of ships and can take on two values which determine the standard and urgent maneuvering, are considered.

The concept of region of dangerous courses of the minimum dynamic system is resulted and considered its use for the choice of safe maneuver of divergence by the change of courses.

In work the question of account of inertia is considered at the turn of ships and navigation dangers in the district of their maneuvering at forming of region of dangerous courses of ships. It is shown that through inertia of ships at their turn distance of the shortest rapprochement appears less calculation, therefore at construction of region of dangerous courses of its border settle accounts for maximum - possible distance of rapprochement, which is megascopic on the size of loss of distance of the shortest rapprochement through inertia of ship. The account of navigation dangers is considered at the choice of maneuver of divergence of ships by the region of dangerous courses. Got expressions for the calculation of maximum courses of deviation of ships at presence of different types of navigation dangers: point, distributed linear and difficult distributed. The reflection of maximum courses of deviation is shown together with the regions of dangerous courses and developed procedure of choice of safe courses of deviation of ships for divergence taking into account limitations which arise up through the presence of navigation dangers.

For verification of correctness of the method of choice of safe maneuver of divergence got in dissertation work the considered imitation computer program, its description is resulted, and also represented the results of imitation design of processes of correct divergence of ships in different situations of dangerous rapprochement.

Keywords: safety of navigation, warning of collisions of vessels, region of dangerous courses, navigation dangers.

Підп. до друку 27.12.2018. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И18-12-102

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