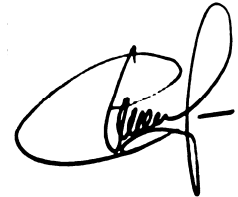


МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Соколенко Василь Інокентійович



УДК 656.61.052

**«ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ШЛЯХУ І
УПРАВЛІННЯ СУДНОМ В СТИСЛИХ ВОДАХ»**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса - 2021

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Ворохобін Ігор Ігорович,
Національний університет «Одеська морська
Академія», декан факультету морських
технологій та перевезень

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Кондратенко Юрій Пантелійович,
завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних
систем, Чорноморського державного університету
ім. Петра Могили Міністерства науки і освіти
України, м. Миколаїв

кандидат технічних наук

Репетей Володимир Дмитрович,
начальник служби безпеки мореплавства філії
«Дельта лоцман», м.Одеса

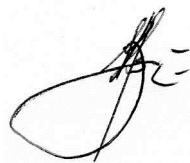
Захист відбудеться 23.03.2021 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої
Вченої ради Д 41.106.01 в НУ «ОМА» за адресою: 65029, м. Одеса,
вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань Вченої ради.

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

Автореферат розісланий

23.02.2021 року.

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



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення навігаційної безпеки судноплавства проводиться за рахунок: установки на водних шляхах плавучих і берегових знаків навігаційного огороження; обладнання суден навігаційними пристроями і системами для визначення курсу, швидкості, місця і управління ними при проводці по заданому шляху.

Впровадження електронних картографічних навігаційних - інформаційних систем викликало істотні зміни в методах судноводіння, однак до якісного стрибка - застосування систем підтримки прийняття рішень і передачі функцій управління процесом маневрування пристроям штучного інтелекту поки не відбулося.

Альтернативою навігаційній аварійності є навігаційна безпека плавання, коли забезпечується мінімальний ризик аварійної ситуації. Однак статистика аварій відображає лише довгострокові тенденції минулого, що знижує її значення для прийняття оперативних заходів. Тому поряд зі статистичним аналізом аварійності необхідно розробляти методи кількісної оцінки впливу окремих факторів на навігаційну безпеку і заходів щодо їх попередження.

В рішення цих проблем значний внесок зробили вітчизняні вчені Вагущенко Л.Л., Кондрашихін В.Т., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Голіков В.В., Бурмака І.О. та іноземні Юревич Е.І., Фрейдзон І.Р., Dutton D.R., Cutler T.J. та інші.

Відсутність методів, прийомів і засобів високоточного планування заданого алгоритму управління судном, які давали б відповіді на ці запитання ефективного і безаварійного переміщення, створює передумови виникнення аварійної ситуації.

Для організації безпечного управління рухом суден необхідно оцінити співвідношення геометричних їх розмірів та операційної акваторії, маневрені властивості, і розробити обґрунтований план проводки. Таким чином, проблема вдосконалення методів управління судном в районах стислих вод має науково - практичне значення і є досить актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася відповідно до транспортної стратегії України на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України №2174-р від 20.10. 2010 року), концепції безперервної національної транспортної політики розвитку всіх видів транспорту на 2007 - 2014 роки (наказ МТС України від 5.05.2007г ., №360), держбюджетної НДР (ДР №0110U00280) «Теоретичні основи гарантованої безпеки судноплавства в територіальному морі, внутрішніх водах та портах України», в якій автор підготував підрозділ «Забезпечення навігаційної безпеки судна в стислих водах», при виконанні господарчих договірних робіт на кафедрі Управління судном Національного університету ОМА за період 2012 по 2017 роки, в рамках планів досліджень НУ ОМА за держбюджетною темою «Забезпечення безпеки судноплавства в обмежених районах плавання» (№ ДР 0115U003580, 2015 р) в якій автор підготував окремий розділ, і при виконанні держбюджетної роботи (Підстава: Наказ МОН України № 1296 від 31.10.2016 р. «Про затвердження Переліку

проектів фундаментальних і прикладних досліджень та науково-технічних (експериментальний) розробок», наказ МОН України № 198 від 10.02.2017 р. «Про обсяги фінансування науково дослідних робіт, наукових заходів та інфраструктурі у 2017 році за КПКВК 2201040 », наказ МОН України № 199 від 10.02.2017 р. « Про формування тематичних планів у 2017 році ») в Херсонській державній морській академії, в якій автором підготовлено блок - схеми алгоритмів, розрахункові схеми, вихідні дані і контрольні приклади для перевірки роботи програм планування шляху траєкторними точками.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення безпеки руху суден в обмежених водах шляхом удосконалення способів обробки і забезпечення даними про процес планування координат заданого шляху і управління маневруванням за допомогою комп'ютерних програм.

Наукова гіпотеза полягає в можливості підвищення безпеки процесу управління судном в обмежених водах за рахунок високоточних методів планування оптимального шляху, автоматизації процесу розрахунку параметрів руху для оперативного контролю поточного місця.

Головне завдання виконуваних досліджень полягає в розробці високоточних методів планування шляху судна, включаючи криволінійні відрізки, і оперативного контролю його руху в стислих водах під час керування, для вирішення якого сформульовано три допоміжних задачі:

- вибір безпечного режиму руху в районах стислих вод;
- розробка високоточних методів планування шляху траєкторними точками (ТТ) і контролю руху по ньому для переходу в районах стислих вод;
- розробка інверсного методу сценарного планування і управління морськими операціями для навігаційних цілей.

Об'єктом дослідження є процес руху судна в стислих водах.

Предметом дослідження є методи високоточного планування шляху судна і управління по ньому в стислих водах.

Методи дослідження. Удосконалення технології високоточного планування заданого шляху і безпечного управління по ньому забезпечується теоретично - експериментальним рішенням дослідницьких завдань на загальному методологічному підґрунті. Шляхом аналізу основних підходів методом дедукції визначені проблеми безпеки судноводіння. Методи експертної оцінки використані для вибору теми і напрямку досліджень. Рішення рівнянь моделей руху судна здійснено з використання сучасного обчислювального комплексу дослідження операцій, при декомпозиції головної задачі, і теоретичної механіки при розробці диференціальних рівнянь руху та математичного аналізу для їх вирішення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше розроблено навігаційну систему, яка відрізняється способом представлення шляху переходу у вигляді матриць траєкторних точок прямолінійних і криволінійних відрізків, що дозволяє використовувати їх значення для автоматизації процесу планування заданого шляху по відомій таблиці шляхових точок, маневреним властивостям судна і конфігурації акваторії маневрування, а також для контролю процесу безпечного руху;

– отримали подальший розвиток формалізовані моделі вибору безпечного режиму руху в стислих умовах, які відрізняються способом вибору швидкості по одному навігаційному параметру – дальності до орієнтира в момент виявлення небезпеки і маневровим характеристикам судна, що дозволяє обґрунтовано призначати параметри безпечного переходу;

– отримала подальший розвиток методика перерахунку координат приймальної супутникової антени на центр ваги, яка відрізняється від існуючих розрахунковим алгоритмом, що дозволяє отримати комп'ютерні програми для навігаційних приладів;

– отримала подальший розвиток формалізована модель визначення допустимої точності отримання місця при проходженні на фарватері, яка відрізняється від існуючих врахуванням допустимого кута зсуву, що дозволяє виконати оцінку можливості безпечного плавання при існуючих погодних умовах;

– удосконалено інверсний спосіб сценарного планування руху для навігаційних цілей при плаванні в небезпечних районах обмежених вод і при лоцманській проводці, який відрізняється від існуючих способом планування траєкторії руху, що дозволяє використовувати планові координати для навігаційних цілей та автоматизувати процес управління;

– удосконалено методику оцінки коефіцієнта зайнятості судноводія безпомилковим рішенням навігаційних завдань, який відрізняється від існуючих врахуванням вимог ММО до ймовірності 0,95 безпомилкового вирішення навігаційних завдань, що дозволяє визначити раціональний інтервал часу для контролю обстановки.

На підставі отриманих результатів сформульовано наукове положення, згідно з яким безпека плавання суден в районах стислих вод забезпечується вибором режиму руху відповідно до навігаційних умов, використанням високоточних методів планування заданих координат, оперативного контролю відхилення від планового шляху автоматичними пристроями і інформаційного забезпечення розходження суден

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні високоточних методів планування шляху ТТ і розробки заданого алгоритму функціонування системи управління судном, в небезпечних районах обмежених вод, і оперативного контролю над процесом переміщення по траєкторіях руху, включаючи криволінійні, що дозволяє автоматизувати як процес планування траєкторії руху по шляховим точкам і характеристикам поворотності судна, так і контролювати безпечне маневрування. Отримані результати можуть бути використані на суднах при їх експлуатації, при дослідженні роботи існуючих і розробці нових навігаційних систем.

Результати роботи впроваджені при виконанні науково-дослідної роботи в Херсонській морській академії № 21П / 17 «Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення», яка виконується за рахунок коштів загального фонду державного бюджету (Підстава: Наказ МОН України № 1296 від 31.10.2016 р.

«Про затвердження Переліку проектів фундаментальних и прикладних досліджень та науково-технічних (експериментальний) розробок», наказ МОН України № 198 від 10.02.2017 р. «Про обсяги фінансування науково-дослідних робіт, наукових заходів та інфраструктурі у 2017 році за КПКВК 2201040 ", наказ МОН України № 199 від 10.02.2017 р.« Про формування тематичних планів у 2017 році »), в якій автор розробив розрахункові алгоритми і контрольні приклади для перевірки програм (акт впровадження від 25.09.2018 р); приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 25.09.2018 р); матеріали дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Дослідницький практикум» (акт впровадження від 25.09.2018 р), при виконанні господарчих договірних робіт кафедри УС в 2014 - 2016 роках, в яких автор підготував окремі розділи з розробки технологічних схем маневрування при швартовних операціях.

Особистий внесок здобувача полягає в створенні узагальненої методології та технології забезпечення високоточного планування заданого шляху і способів оперативного контролю руху в районах стислих вод, включаючи небезпечні і криволінійні його ділянки. Основні наукові результати теоретичних і експериментальних досліджень отримані автором особисто. В основних наукових роботах, які виконані в співавторстві, використані лише ті положення, які належать автору.

Особистий внесок автора у колективних наукових працях конкретизовано у переліку опублікованих праць.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати докладалися, обговорювалися і були схвалені на наукових, на науково - технічних та науково - практичних конференціях: першій міжнародній науково - технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та Океанотехніка» (Миколаїв 2010.); науково технічній конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» (Одеса, 14-15 листопада 2012); XX Міжнародній конференції з автоматичного управління, (Миколаїв, 25-27 вересня 2013); науково – технічній конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (Одеса, 18-19 листопада 2014); науково - технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». (Одеса, 16-17 листопада 2017); дев'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та Інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2018): (Херсон , 29-31 травня 2018).

Публікації. За наслідками виконання досліджень автором опубліковано 17 наукових робіт (з них 3 одноосібних, 3 патенти на корисну модель, 1 свідоцтво про авторське право на комп'ютерну програму), зокрема: у наукових профільних виданнях, що входять в перелік МОН України -5 наукових статей [1-4, 10], у міжнародних журналах - 1 [9], у збірках матеріалів наукових конференцій - 7 тез доповідей [11-17].

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновку, списку з 137 використаних джерел й 5 додатків. У додатках наведені акти та інші матеріали, що підтверджують результати дослідження і впровадження. Загальний обсяг дисертації складає 214 сторінок і містить 138 сторінок основного машинописного тексту, 31 рисунок, та 10 таблиць. Перелік джерел посилання розміщений на 14 сторінках, додатки на 61 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** виконане обґрунтування актуальності теми роботи та показаний зв'язок її з науковими програмами України по Транспортній стратегії та планами наукових робіт одеської морської академії. Визначена мета і задачі дослідження та обґрунтовані об'єкт і предмет вивчення. Показані методи вирішення наукових задач та досягнута наукова новизна. Виконана оцінка практичного значення отриманих наукових результатів і особистий внесок пошукувача, та приведена інформація про апробацію отриманих результатів.

У **першому розділі** «Інформаційний пошук шляхів організації безпечного судноводіння» проаналізовані термінологічні визначення навігаційної безпеки плавання. Системні уявлення служать не тільки підготовчою фазою до створення математичної моделі, а й замінюють її. Це особливо важливо використовувати при розробці сучасних судових навігаційних складних технічних систем, коли застосування їх математичного опису неможливо або можливо лише частково.

Виконано аналіз літературних джерел по забезпеченню навігаційної безпеки суден на обмежених акваторіях. Встановлено, що методологічною основою, яка дозволяє зрозуміти і визначити основні причини збоїв в системі планування і управління процесом руху є аналіз причин конкретних аварійних подій, до яких призводить відмова елементів системи виконувати свої функції.

Виконаний огляд і аналіз літературних джерел, щодо забезпечення навігаційної безпеки судноплавства в умовах стислих вод показав, що основними причинами аварійних подій є: недостатня точність планування заданого шляху; низька точність приладів визначення місця судна; недостатня швидкодія приладів системи контролю параметрів руху, і запізнювання інформації до моменту прийняття рішення; втрата інформації про процес руху, викликана надмірною інтенсивністю судноплавства; наявністю значної кількості навігаційних обмежень, відстань до яких можна порівняти з геометричними розмірами судна; відсутністю систем автоматичного визначення неприпустимого відхилення від лінії заданого шляху.

З цієї причини питання вдосконалення способів високоточного планування та інформації про процесу руху в умовах обмеженого простору для організації безпечного руху є актуальним і становить основний напрямок даної дисертаційної роботи.

У **другому розділі** «Методологічне забезпечення процесу дослідження» обґрунтована узагальнена багаторівнева система експертної оцінки для вибору теми дослідження з урахуванням наступних факторів: актуальності існуючої

проблеми; передбачуваної наукової новизни; економічної ефективності планованих наукових робіт і відповідності поставлених завдань напрямку наукової спеціальності і наукової школи.

Актуальність проведення досліджень щодо організації трьох операторного управління при проведенні судна в стислих водах підтверджується концепцією Транспортної стратегії України на період до 2020 року (розпорядження КМ України від 20 жовтня 2010 року, №2174-р). У зазначеній постанові наголошується, що рівень безпеки на транспорті України і екологічного навантаження на навколишнє середовище не задовольняє сучасним вимогам.

Для вирішення поставлених завдань необхідно розглянути: розробку формалізованих моделей високоточних методів планування безпечного шляху і представлення отриманих результатів у вигляді, зручному для обробки на комп'ютері; на підставі отриманих моделей розробити способи підвищення точності і оперативності контролю поточного місця; створити систему оперативного контролю параметрів безпечного руху.

Методами системного підходу розроблено технологічну карту дослідження, в якій для вирішення основного завдання здійснено його розбиття на допоміжні завдання, результати вирішення яких використовуються при синтезі системи управління в стислих водах.

Головним завданням досліджень являється розробка високоточних методів планування шляху судна, включаючи криволінійні і кінцеві відрізки шляху переходу в рейсі, і оперативного контролю його руху в обмежених і небезпечних ділянках стислих вод.

Передбачувана наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні систем планування, інформаційного забезпечення та алгоритмів оптимального управління рухом в обмежених водах. У такій постановці завдання розробки оптимального планування траєкторії і оперативного алгоритму управління судном ставиться вперше.

У третьому розділі «Розробка методів вибору режиму руху в стислих водах» отримано наступні результати.

Визначальним параметром, від якого залежить безпека плавання в стислих водах являється швидкість руху. Однак завдання її вибору не формалізовано до такої міри, щоб судноводій міг зробити розрахунок, тому вимога про необхідність дотримання безпечної швидкості є декларативною.

Критерієм, який дозволив би зменшити число альтернатив, що впливають на прийняття рішення, буде час від моменту, коли виявлена необхідність маневрування, до часу, коли такий маневр буде виконуватися.

Зупинка судна можлива тільки при швидкості впевненого реверсування $V_{рев}$, яка є верхньою межею безпечної швидкості. Інші вимоги, які необхідно враховувати при виборі безпечної швидкості згідно Правил 6, є умови видимості, маневрені характеристики і інтенсивність судноплавства, яку охарактеризуємо узагальненим критерієм - дальністю впевненого виявлення небезпеки ($D_{об}$). Тоді визначальними будуть три фактори: швидкість впевненого реверсування $V_{рев}$; дальність впевненого виявлення небезпеки $D_{об}$; маневрені характеристики судна $S_{трм}$.

Для вибору безпечної швидкості пропонується алгоритм, розрахункова схема якого приведена на рис.1. При цьому прийняті наступні позначення: $S_{нз}$ - навігаційний запас нерухомої небезпеки, миль; $D_{об}$ - дальність впевненого виявлення нерухомої небезпеки, миль; q - курсовий кут небезпеки, в градусах; L_{max} - максимальна довжина власного судна, миль; m_D - СКП визначення відстані, миль; $S_{пр}$ - відстань, яке пройде власне судно за час прийняття

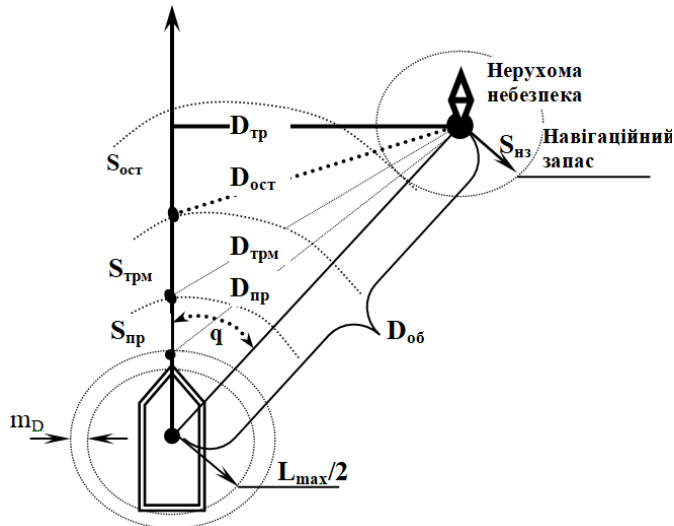


Рисунок 1 – Вибір безпечної швидкості

рішення, миль; $S_{трм}$ - відстань, яке пройде власне судно за час гальмування, миль; $S_{ост}$ - відстань, на якому зупинився власне судно з урахуванням навігаційного запасу, миль; $D_{пр}$ - відстань до небезпеки в момент початку прийняття рішення; $D_{трм}$ - відстань до небезпеки в момент початку гальмування, миль; $D_{ост}$ - відстань до небезпеки в момент зупинки власного судна, миль; $D_{тр}$ - траверсна відстань до небезпеки, миль.

Методика розрахунку заснована на порівнянні відстані до небезпеки $D_{об}$ від центра ваги судна, в момент, коли вона виявлена, з характеристиками гальмування та обліком часу, необхідного для прийняття рішення по маневруванню і його виконання.

Отримання залежностей для розрахунку безпечної швидкості по характеристикам гальмування зробимо для ситуації, коли небезпека знаходиться справа по носу, нерухома, а власне судно прямує зі швидкістю V_0 . Зіткнення з небезпекою не відбудеться, якщо відстань $D_{об}$ задовольняє наступній нерівності:

$$D_{об} \geq (L_{max}/2) + m_D + S_{пр} + S_{трм} + S_{нз} + S_{ост} . \quad (1)$$

Значення L_{max} и m_D - відомі судноводію. Значення $S_{пр}$ можливо розрахувати по формулі:

$$S_{пр} = V_0 \cdot t_{пр}, \quad (2)$$

де V_0 - поточна швидкість руху судна; $t_{пр}$ - час для аналізу обстановки і прийняття рішення від виявлення небезпеки до команди на маневрування.

Для розрахунку безпечної швидкості необхідно нерівність (1) розв'язати відносно $S_{трм}$, прийнявши $S_{ост} = 0$, розглядаючи найбільш несприятливий аварійний випадок зупинки на відстані $S_{нз} = (L_{max}/2) + m_D$:

$$S_{\text{трм}} = D_{\text{об}} - (L_{\text{max}} / 2) - m_D - S_{\text{пр}} - S_{\text{нз}} - S_{\text{ост}} . \quad (3)$$

Відстань до небезпеки в момент зупинки руху $D_{\text{ост}}$

$$D_{\text{ост}} = \sqrt{D_{\text{об}}^2 + D_{\text{ман}}^2 - 2 \cdot D_{\text{об}} \cdot D_{\text{ман}} \cdot \cos q_{\text{оп}}} , \quad (4)$$

де $D_{\text{ман}}$ - відстань, яку пройде судно при маневруванні, яка дорівнює:

$$D_{\text{ман}} = (L_{\text{max}} / 2) + m_D + S_{\text{пр}} + S_{\text{трм}} . \quad (5)$$

За графіками залежності $S(v)$ і $t(v)$ і обчисленому значенню гальмівного шляху за формулою (3), визначають безпечну швидкість руху з урахуванням дальності впевненого виявлення $D_{\text{об}}$. З урахуванням формули (3) розроблена блок-схема алгоритму, наведена на рис. 2.

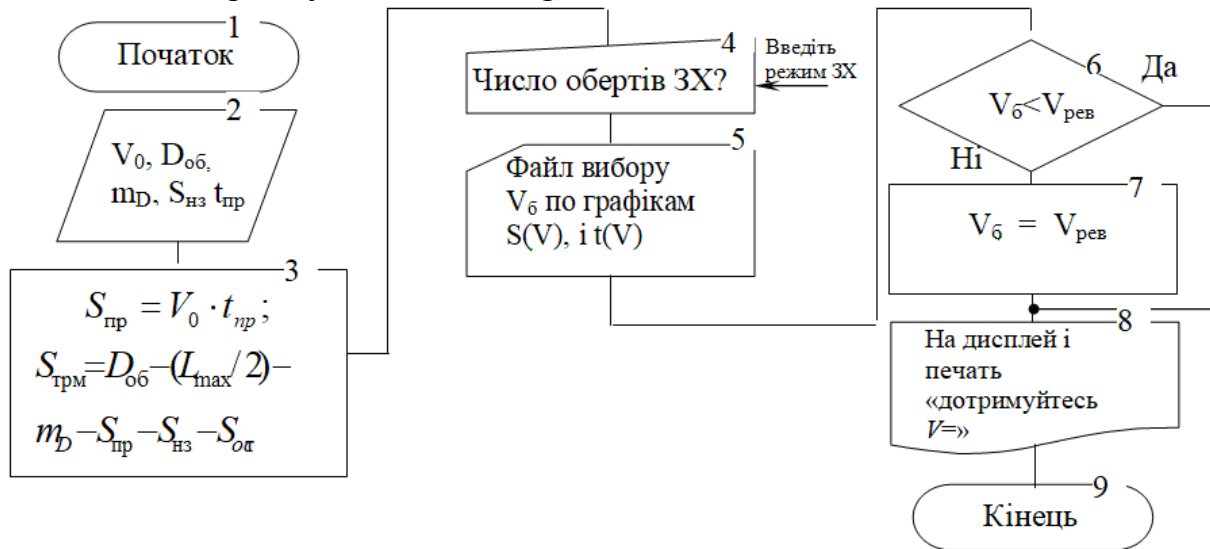


Рисунок 2 – Блок-схема розрахунку безпечної швидкості при гальмуванні

Для отримання необхідних залежностей по рухомому об'єкті розглянемо рух по фарватеру двох зустрічних суден, як показано на рис. 3.

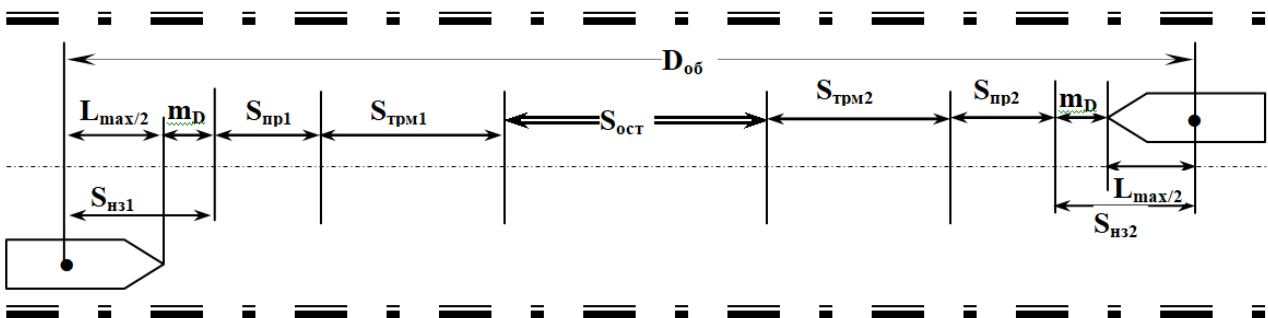


Рисунок 3 – Вибір безпечної швидкості по дальності до рухомого об'єкту

При розрахунку маневру гальмуванням при рухомому об'єкті залежність для вибору безпечної швидкості перетвориться до виду:

$$D_{об} \geq S_{пр1} + S_{трм1} + S_{нз1} + S_{ост} + S_{нз2} + S_{пр2} + S_{трм2}. \quad (6)$$

Для розрахунку безпечної швидкості необхідно нерівність (6) розв'язати відносно $S_{трм1}$, прийнявши $S_{ост} = 0$, розглядаючи найбільш несприятливий аварійний випадок зупинки на відстані $S_{нз1} = (L_{мак} / 2) + m_D$ плюс навігаційний запас зустрічного судна $S_{нз2} = (L_{мак2} / 2) + m_D$.

$$S_{трм1} = D_{об} - S_{пр1} - S_{нз1} - S_{нз2} - S_{пр2} - S_{трм2}. \quad (7)$$

В формулі (7) вважатимемо, що $S_{пр1} = S_{пр2}$ і тривалість процесу аналізу ситуації і прийняття рішення займає близько (1-3) хвилин. Значення $S_{трм2}$ може бути отримано за емпіричною формулою:

$$\bar{S} = -0.569 + 8.721 \cdot \frac{Fr}{K_{ен}} + 1.171 \cdot \frac{D_г}{T_к}, \quad (8)$$

де Fr - число Фруда ($V / \sqrt{g \cdot L}$); $D_г$ - діаметр гвинта; $T_к$ - осадка кормою; $K_{ен}$ - коефіцієнт енергоозброєності, значення якого визначається по формулі:

$$K_{ен} = \frac{0,8 \cdot N_e}{D}, \quad (9)$$

де 0,8 – коефіцієнт, що враховує використання головного двигуна в маневреному режимі під час роботи на задній хід; N_e - потужність головного двигуна, к.с.; D – водотоннажність судна, т.

По формулі (7) була розроблена розрахункова схема і алгоритм визначення безпечної швидкості по рухомому судну. Аналогічним чином була розроблена схема розрахунку безпечної швидкості маневром відвороту.

Таким чином, розроблені алгоритми інтелектуальних дій оператора і формалізовані моделі з розрахунку безпечної швидкості в умовах обмеженої видимості з урахуванням маневрених характеристик об'єктів управління.

Аналіз точності визначення місця судна здійснюється на основі поняття похибки. Коли судно рухається постійним курсом і швидкістю, то його фактична траєкторія є реалізаціями випадкового векторного процесу. Однак з огляду на можливість частої корекції траєкторії за рахунок обсервації, його можна вважати приблизно стаціонарним.

У судноводінні вважають, що похибки вимірювань геометричних параметрів ліній положення, підкоряються нормальному закону розподілу

Гауса. Значення допустимої похибки можна отримати на підставі імовірнісних розрахунків, які розглянемо на підставі складових параметрів руху судна на фарватері, які наведені на рис. 4.

Особливе значення при русі по каналу або фарватеру є облік характерних точок судна, які впливають на здатність оператора здійснювати управління його рухом. Такими точками є такі: центр управління (ЦУ) - точка на містку судна, де знаходиться судноводій, який оцінює стан судна щодо знаків навігаційної обстановки; полюс повороту (ПП) - точка на лінії діаметральної площині в межах судна або за його межами, навколо якої відбувається обертання корпусу. Вона має визначальне значення для оцінки ширини смуги, займаної судном; центр ваги (ЦВ), це точка на лінії ДП в якій прикладена рівнодіюча сил тяжкості. При розгляді питань управління звичайним судном його умовно приймають розташованим на мідель шпангоуті. При визначенні маневрених характеристик їх значення зазвичай призводять до центру тяжіння. Тому при автоматичному визначенні місця судна прийнятною антеною супутникової системи або радіолокатора, координати рекомендується приводити до центру тяжіння G ; крайні характерні точки - носові лівого борту $H_{л}$, носові правого борта $H_{п}$, кормові лівого борту $K_{л}$ і кормові правого борту $K_{п}$ визначають ширину маневреного зміщення судна при нишпоренні і повороті.

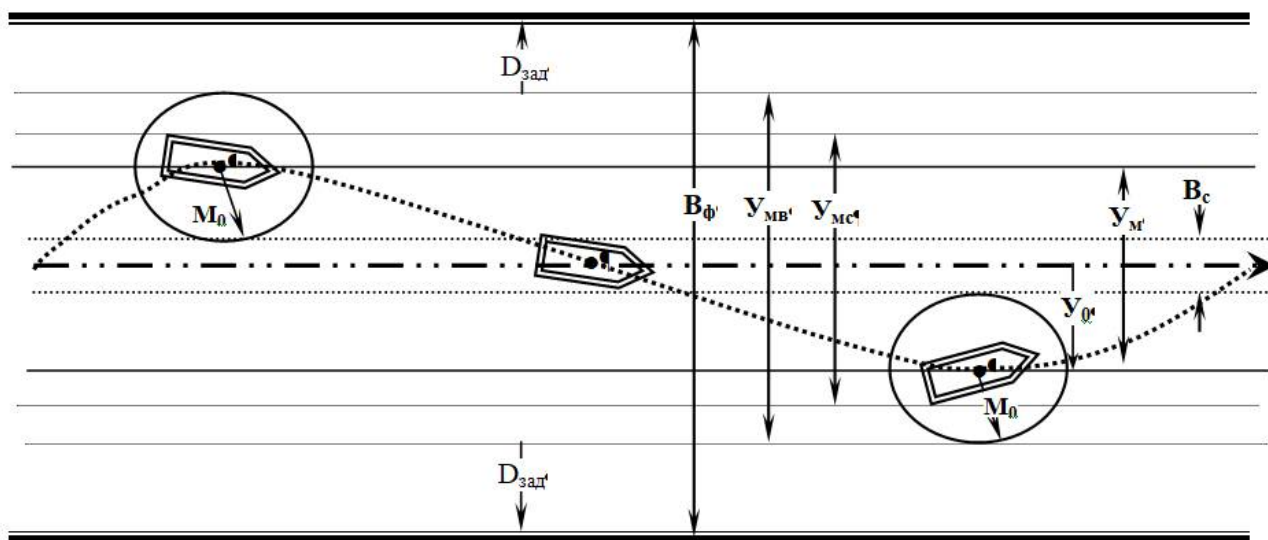


Рисунок 4 – Параметри руху судна на фарватері

Уявімо судно у вигляді прямокутника з шириною B_c і довжиною між перпендикулярами L з характерними точками: центр ваги G , центр управління $ЦУ$ - точка на судні в якій перебуває особа, що проводить окомірне визначення положення судна і управляє маневруванням; крайні точки ватерлінії по носу $H_{л}$ і $H_{п}$; крайні точки ватерлінії по кормі $K_{л}$ і $K_{п}$.

Під шириною смуги, займаної судном при русі $B_{сс}$, будемо мати на увазі (див. рис. 4) величину проекції крайніх точок характерного лінійного розміру на лінію, перпендикулярну вектору переміщення судна:

$$B_{cc} = L_x \cdot \sin \left(C + \operatorname{arctg} \left(\frac{B_c}{L} \right) \right), \quad (10)$$

де C - сумарний кут зносу від зовнішніх впливів; B_c - ширина судна; L - довжина судна між перпендикулярами.

Ширину маневреного зміщення Y_m визначають за формулою

$$Y_m = 2 Y_o, \quad (11)$$

де Y_o – бокове відхилення ЦВ від лінії планового шляху за рахунок рискання. Його можна визначити із виразу

$$Y_o = V t_3 \sin \varphi(t), \quad (12)$$

де t_3 - час запізнювання в обробці інформації в системі; $\varphi(t)$ - кут нищпорення; V - швидкість руху судна.

Ймовірну ширину смуги маневреного зміщення визначають шляхом лінійного складання Y_m і середньоквадратичної похибки місця судна M_0 :

$$Y_{mb} = Y_m + 2M_0. \quad (13)$$

Необхідною і достатньою умовою безпечного проходження одиночного судна через небезпечний район обмежених вод є виконання вимоги, з урахуванням максимального значення кута зносу $C = 90^\circ - \operatorname{arctg}(B/L)$, коли ширина смуги, займана судном, максимальна і дорівнює L_x :

$$M_0 < 0,5 Y_{mb} - Y_o - 0,5 L_x. \quad (14)$$

Імовірність P того, що визначення місця, яке оцінюється радіальної СКП M_0 , не вийде з фарватеру шириною B_ϕ можна визначити за формулою:

$$P = 1 - e^{-\left(\frac{B_\phi/2}{M_0}\right)^2}. \quad (15)$$

Оскільки ширина фарватеру B_ϕ нам відома з карти, а вимоги до ймовірності визначені ММО і складають 0,95, то рівняння (15) можна розв'язати відносно $M_{0\text{доп}}$:

$$M_{0\text{доп}} = \frac{B_\phi}{2} \sqrt{\frac{0,4343}{\lg(1-P)}} = \frac{B_\phi}{2} \sqrt{\frac{0,4343}{\lg(1-0,95)}} = 0,2889 \cdot B_\phi \approx 0,3 \cdot B_\phi. \quad (16)$$

Швидкість руху в каналі повинна бути менше критичної $V_{кр}$, яку можна

визначити за формулою, $Fr_H = V / \sqrt{g \cdot H} = 1$. Тоді $V_{кр} = \sqrt{g \cdot H}$, і при проходженні з такою швидкістю відбувається погіршення керуваності, як наведено на рис. 5.

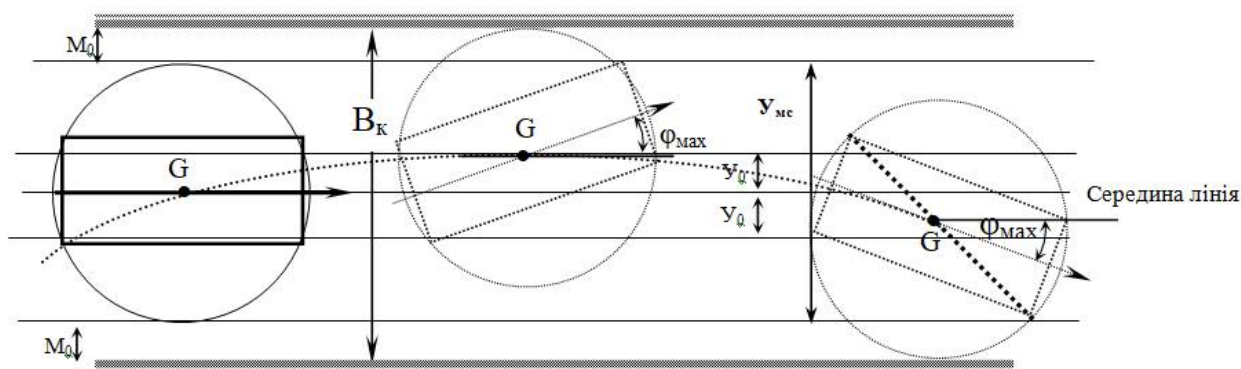


Рисунок 5 – Рискання судна на каналі в тиху погоду

Умовою безпечного проходження судном каналу по ширині маневреного зміщення є виконання умови:

$$Y_{мс} = 2 \cdot Y_0 + L_x \cdot \sin 2\varphi_{\max} + 2M_0 < B_k. \quad (17)$$

З урахуванням залежності (14) і рис. 5, після перетворення (17), отримаємо:

$$Y_{мс} = 2 \cdot Y_0 + L_x \cdot \sin 2\varphi_{\max} + 2M_0 = 2V \cdot t_3 \sin \varphi_{\max} + 2L_x \cdot \sin \varphi_{\max} \cdot \cos \varphi_{\max} + 2M_0 < B_k$$

Значення максимального кута рискання, яке може бути допущено при самостійному проходженні судна φ_{\max} можна визначити з виразу:

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{B_c}{\sqrt{L_{\perp}^2 + B_c^2}}, \quad (18)$$

де B_c - ширина судна на міделі.

При точності оцірної оцінки місця судна на каналі $M_0 = 12$ м і маневреному зміщенні $Y_0 = 11$ м, значення $\varphi_{\max} = 9,7^\circ$. Це означає, що при проходженні каналу порту Південний шириною 100 м при довжині судна $L_{\perp} = 300$ м і шириною $B_c = 47,2$ м. необхідно слідувати зі швидкістю понад 5 вузлів при самостійному русі і швидкості вітру до 10 м/с.

Для уточнення алгоритму управління на фарватері використовувались результати натурних спостережень, виконаних Береговим постом контролю в районі Руської коси, шляхом імітаційного моделювання повороту.

Експеримент повторювався 20 разів, при цьому до розрахованого значення MH рівного 1,4 кбт додавалося відстань 630 метрів (3,4 кбт) від точки перетину курсів M до Ліманазовського переднього знаку по носу. При цьому змінювали точку віддачі команди на перекладку керма на кут 10° від значення дистанції

5,0 кбт до 4,5, через 0,1 кбт. Виконані дослідження підтвердили коректність розрахункових методів визначення параметрів руху.

Для високоточного визначення місця судна супутниковими системами, їх координати необхідно перерахувати на центр тяжіння судна. Розрахункова схема визначення поточного значення відхилення приведена на фрагменті ділянки шляху на рис. 6.

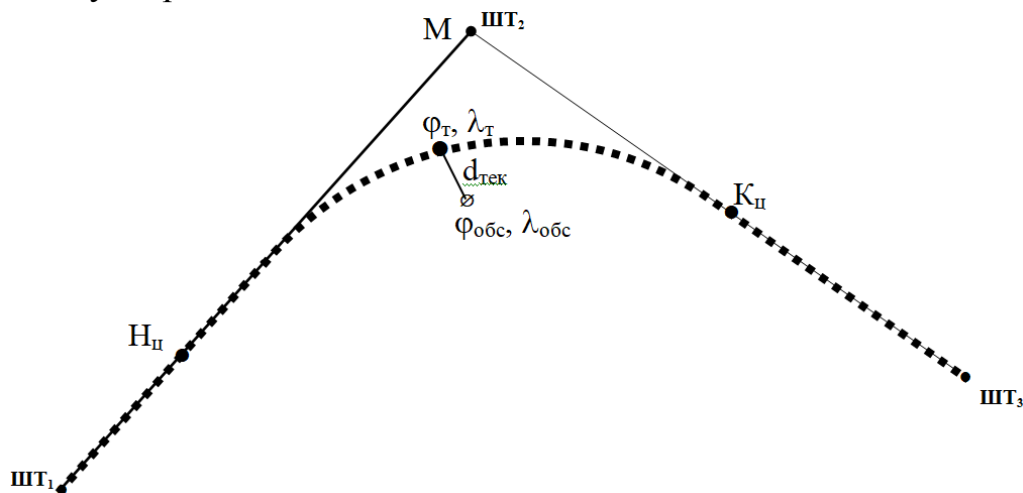


Рисунок 6 – Розрахункова схема алгоритму автоматичного контролю зміщення від планового шляху

Допустиме значення $d_{\text{доп}}$ рекомендується призначати по величині радіальної СКП визначення місця судна, постійної часу затримки повороту і величини зони нестійкості діаграми керованості, з урахуванням швидкості ходу. Значення $d_{\text{доп}}$ можна визначити за формулою:

$$d_{\text{доп}} = M_0 + V \cdot t_3 \cdot \sin \varphi(t) \quad (19)$$

де M_0 - радіальна СКП визначення місця судна; t_3 - час запізнювання в обробці інформації в системі; $\varphi(t)$ - кут нишпорення; V - швидкість руху судна.

З надходженням координат від навігаційного комплексу $\varphi_{\text{обс}}, \lambda_{\text{обс}}$ проводиться розрахунок відстаней і напрямків знесення від $ТТ$ φ_T, λ_T до обсерваційних точок методом перебору, вибирається значення мінімальної дистанції і її величина визначається як $d_{\text{теки}} = d_{i \text{min}}$.

Розрахунок напрямку IK_c і величини зносу $d_{\text{теки}}$ виробляють за координатами траекторної φ_T, λ_T і обсерваційної $\varphi_{\text{обс}}, \lambda_{\text{обс}}$ точок за формулами:

$$РД = \lambda_{\text{обс}} - \lambda_T \quad (20)$$

$$РШ = \varphi_{\text{обс}} - \varphi_T \quad (21)$$

Значення меридіональних частин в екваторіальних хвилинах для еліпсоїда Красовського може бути обчислено за формулою:

$$MЧ = 3437,7468 \cdot \ln \left\{ \operatorname{tg}(45^{\circ} + \varphi / 2) \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi} \right)^{e/2} \right\}, \quad (22)$$

де $MЧ$ – меридіональна частина паралелі φ , екв. хв.; φ - географічна широта паралелі; e - ексцентриситет земного еліпсоїда.

Найменування $MЧ$ однаково з найменуванням широти φ . Для отримання різниці меридіональних частин ($PMЧ$) необхідно розрахувати $MЧ_{обс}$, потім $MЧ_{т}$, і після цього алгебраїчну різницю:

$$PMЧ = MЧ_{обс} - MЧ_{т}. \quad (23)$$

Найменування $PMЧ$ вказується від $MЧ_{т}$ до $MЧ_{обс}$, тобто відповідає найменуванню $PШ$. Напрямок знесення розраховують за формулою:

$$\operatorname{tg} IK_c = \frac{\lambda_{обс} - \lambda_{т}}{PMЧ}. \quad (24)$$

Напрямок знесення отримують в четвертному рахунку і для перерахунку в круговий необхідно враховувати, що перша буква чверті відповідає найменуванню $PШ$, а друга $РД$. Величину зносу визначають за формулою:

$$d_{тек} = PШ \cdot \sec IK_c. \quad (25)$$

Розрахунки за наведеними формулами (20) - (25) мають ту особливість, що обчислення відбуваються в районі понад малих відстаней, які вимагають розрахунків до десятитисячних доль хвилини. Цю вимогу необхідно виконувати для того, щоб зменшити обчислювальні похибки до мінімуму після округлення результатів. Оскільки значення $MЧ$ в таблиці МТ 2000 дано з точністю до 0,1 екваторіальній хвилини, то необхідно проводити розрахунок $MЧ$ за формулою (23) з точністю до п'ятого знаку, з наступним округленням останньої цифри.

Таким чином, вирішена перша допоміжна задача визначення безпечного режиму руху в небезпечних районах обмежених вод. Зміст третього розділу опубліковано в роботах [1, 3, 11, 16, 17].

У четвертому розділі «Способи підвищення точності планування руху судна в стислих водах» для високоточної автоматичної процедури планування траєкторії плавання в стислих водах і автоматичного контролю над рухом судна було розроблено навігаційний пристрій «Планування траєкторії», функціональна схема якого приведена на рис. 7. Навігаційний пристрій функціонує на підставі способу розробки плану переходу таблицею шляхових точок (ШТ), які отримані при підготовці до переходу. Але указаний спосіб має цілий ряд недоліків, які не дозволяють використовувати його в автоматичних пристроях, і особливо для криволінійних відрізків шляху.

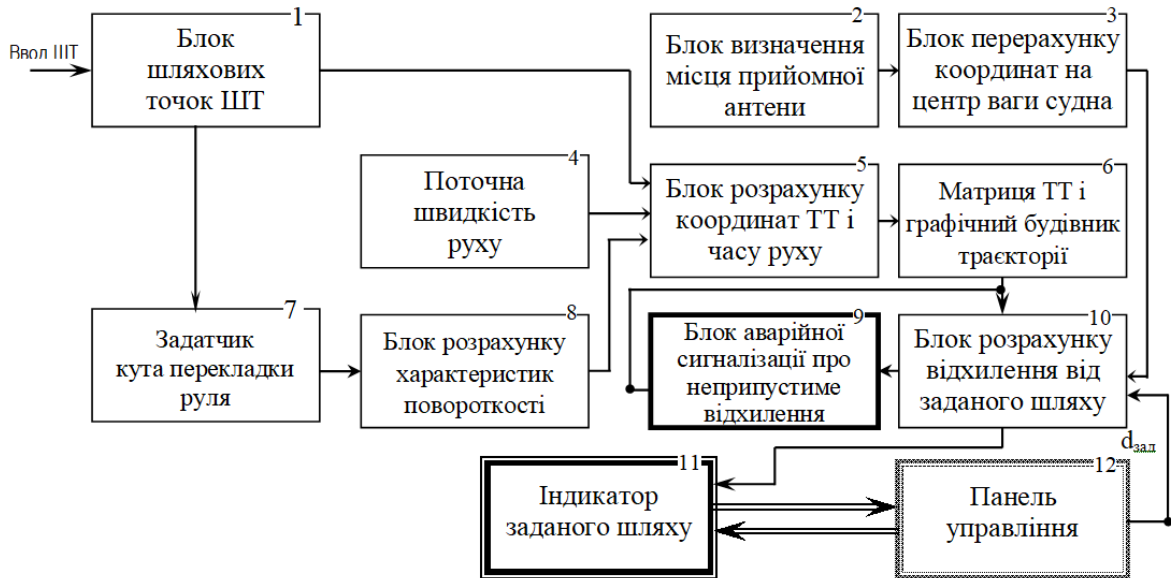


Рисунок 7 – Функціональна схема навігаційного пристрою «Планування траєкторії»

Надалі траєкторію розділимо на прямолінійні і криволінійні ділянки. При цьому ШТ виключаються з контрольних, і їх замінює матриця повороту. Координати прямолінійних ділянок розраховують через інтервал шляху ΔS кбт, а криволінійних ділянок через кут $\Delta\Delta\Theta = 5^\circ$ при куті повороту до $\Delta\theta_i = 60^\circ$ або $\Delta\Delta\Theta = 10^\circ$ при куті повороту більше 60 градусів. У відкритому морі призначають $\Delta S = 1$ кбт, а в умовах обмеженого простору до $\Delta S = 0,2$ кбт.

Недостатнє узгодження деталей проводки згідно Pilotage Passage Plan, який не використовується для навігаційних цілей, призводить до непорозумінь у відносинах лоцман - капітан і створюються передумови для виникнення аварійних подій. Тому необхідно розробляти судновий план, особливістю якого є наявність даних про маневрені характеристики власного судна і можливість високоточного планування траєкторії інверсним способом та використовувати його для навігаційних цілей.

Структурні схеми систем управління курсовим комбінованим способом для планування суднового лоцманського плану проводки, можна представити, як показано на рис. 8.

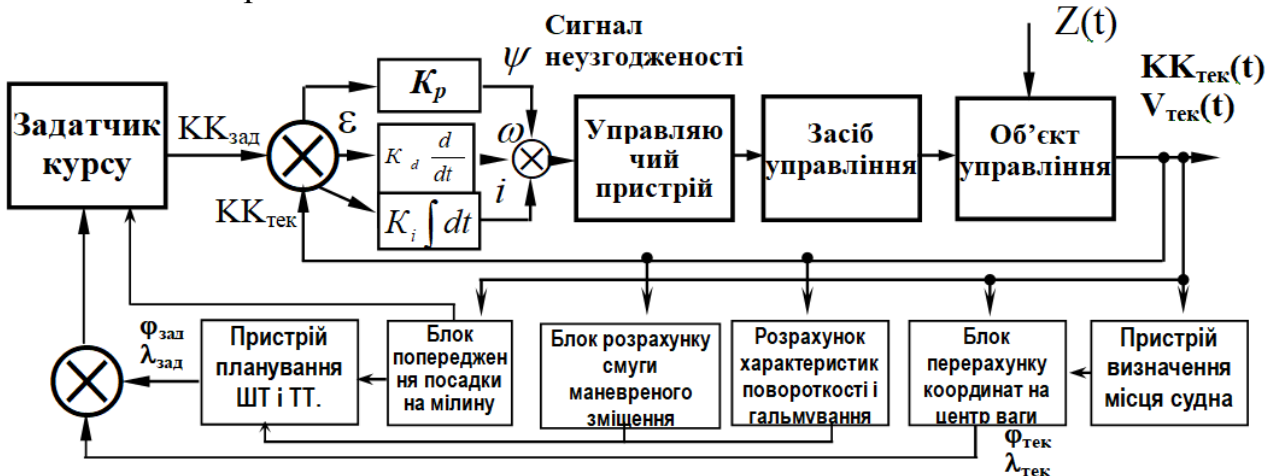


Рисунок 8 – Блок – схема системи управління судном

Крім звичайного управління він дозволяє автоматично попереджати посадку на мілину і контролювати проходження небезпечних ділянок шляху. Це можливо за рахунок того, що при складанні суднового плану і призначення курсу $KK_{\text{зад}}$ враховуються параметри впливу вітру α , течії β і поправка компаса ΔK , по формулі $KK_{\text{зад}} = IK + \alpha + \beta + \Delta K$.

Для вирішення проблеми використання зайнятості робочого часу судноводія введемо критерій залежності ймовірності безпомилкового прийняття рішення на маневр судна (РБРЗ) і коефіцієнта завантаження судноводія рішенням завдань. Коефіцієнт K_3 визначається виразом:

$$K_3 = t_p / \Delta t, \quad (26)$$

де t_p – час, необхідний для рішення визначеної задачі; Δt задана дискретність рішення задачі. Таку залежність характеризують графіком, рис. 9.

З графіка видно, що максимальне значення ймовірності РБРЗ рівно 0,981

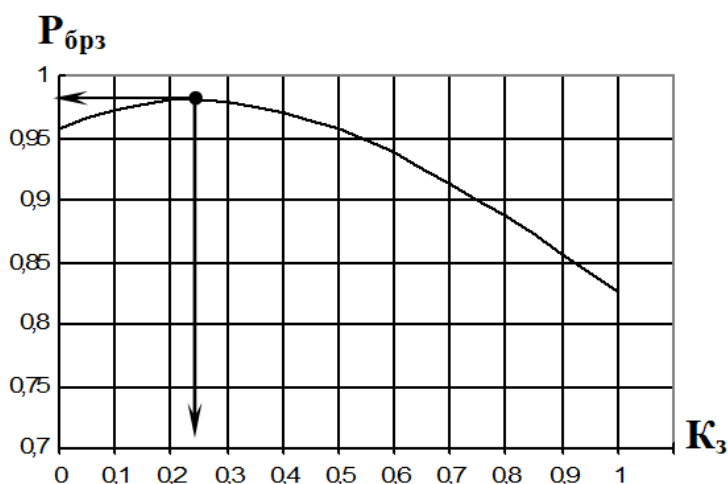


Рисунок 9 – Залежність $P_{\text{брз}}$ від коефіцієнту K_3 . $P_{\text{брзmax}} = 0,981$, $K_3 = 0,26$.

при оптимальному коефіцієнті зайнятості судноводія $K_{3\text{опт}} = 0,26$.

Представимо зв'язок цих величин у вигляді табл. 1 виведення результатів розрахунку $P_{\text{брз}} = f(K_3)$.

При класичному контролі над рухом судна і виконанні операцій зі зняття відліку приладу визначення місця, нанесення на карту і прийняття рішення щодо коригування руху, якщо з'явилося відхилення, займає близько 2-х хвилин.

Таблиця 1 – Залежність безпомилкового прийняття рішення від зайнятості судноводія

$P_{\text{брз}}$	0,958	0,973	0,978	0,981	0,978	0,971	0,957	0,939	0,912	0,888	0,855	0,825
K_3	0	0,1	0,2	0,26	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

При вирішенні задачі розбіжності графічним способом час набору інформації і рішення задачі займає близько 9 хвилин. Тому управляти судном і вирішувати завдання розбіжності вахтовий помічник не зможе, з цієї причини потрібно в таких випадках залучати додаткового вахтового помічника.

Таким чином, вирішена друга допоміжна задача. Зміст четвертого розділу опубліковано в роботах [3-6, 9, 13].

У п'ятому розділі «Розробка системи високоточного планування і оперативного контролю руху судна в районах стислих вод» виконано

геометричний аналіз алгоритму перерахунку і динаміки зміни курсу при маневруванні який показав, що поправки координат для центру ваги не залишаються постійними. Вони залежать від місця розташування супутникової антени по відношенню до центру ваги, географічних координат і курсу, яким слідує судно. Всього існує 64 комбінації розташування антени щодо ЦВ.

Координати центра ваги φ_G і λ_G розраховуються по визначеному супутниковою системою даним φ_a і λ_a при курсі K в межах $0^\circ \leq K \leq 90^\circ$, при умові $\varphi_a \geq 0, \lambda_a \geq 0$, по наступним залежностям:

$$\varphi_G = \varphi_a + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \varphi_a + \Delta\varphi_G \quad \text{і} \quad \lambda_G = \lambda_a - \Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = \lambda_a + \Delta\lambda_G, \quad (28)$$

де $\Delta\lambda_1$ - проекція відстані точки прийому антени A_n від діаметральної площини ℓ_y на вісь λ , в милях; $\Delta\lambda_2$ - проекція відстані точки розташування антени ℓ_x від центру ваги по ДП на вісь λ , в милях; $\Delta\varphi_1$ - проекція відстані точки антени A_n від ДП ℓ_y на вісь φ , в милях; $\Delta\varphi_2$ - проекція відстані точки антени ℓ_x від ЦВ по ДП на вісь φ , в милях; $\Delta\lambda_G$ і $\Delta\varphi_G$ - поправки координат ЦВ.

В розгорнутому вигляді рівняння (28) можна написати так:

$$\Delta\lambda_1 = \ell_y \cdot \cos K; \quad \Delta\lambda_2 = \ell_x \cdot \sin K. \quad (29)$$

$$\Delta\varphi_1 = \ell_y \cdot \sin K; \quad \Delta\varphi_2 = \ell_x \cdot \cos K. \quad (30)$$

Тоді, після підстановки (29) і (30) в (28) отримаємо:

$$\lambda_G = \lambda_a - \ell_y \cdot \cos K + \ell_x \cdot \sin K. \quad (31)$$

$$\varphi_G = \varphi_a + \ell_y \cdot \sin K + \ell_x \cdot \cos K. \quad (32)$$

Розроблений алгоритм і блок-схема навігаційного пристрою для перерахунку поправок координат антени на центр ваги судна можуть бути використані для призначення обґрунтованої допустимої дистанції найкоротшого зближення і створення автоматизованого пристрою попередження посадки на мілину. Ефективність запропонованого підходу підтверджується розрахунковою перевіркою в натурних умовах.

Для планування переходу була розроблена програма, яка написана на об'єктно-орієнтованій мові високого рівня Delphi 7.0, а для зберігання даних обрана сумісна система керування базами даних Paradox 7.0.

Програма побудована у вигляді модулів, які виконують певні функції. Всього створено 10 функціональних модулів. Наведені розрахункові схеми і алгоритми автоматизації планування шляху, а текст програми наведено в додатку В.

На формі, рис. 1 показана траєкторія входу в порт Южний, побудована по введених ШТ M і маршрут, прокладений по матриці поворотів. Для перегляду матриці траєкторних точок передбачена кнопка «Показати матрицю поворотів»,

після її натискання з'являється можливість перегляду матриць поворотів маршруту з кроком 3, 5 і 10 градусів.

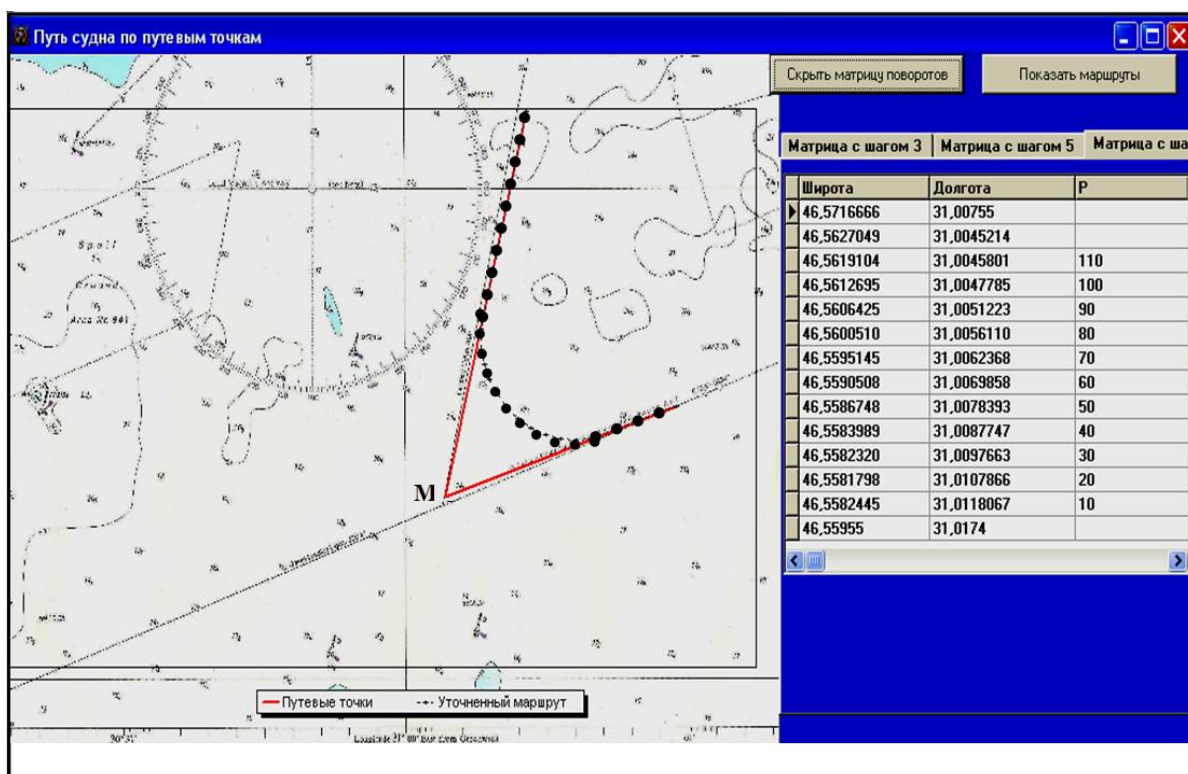


Рисунок 10 – Поворот при заході в порт Южный і траєкторні точки з шагом 5⁰

Надалі запускається програма згідно даних судна і переходу, відповідно до рейсового завдання. Якщо програма адаптована до даного судна, то обсяг обчислень суттєво зменшиться. Для роботи з програмою приведена інструкція користувача і контрольний приклад для перевірки правильності роботи програми.

Як показали виконані дослідження єдиної методики планування шляху для всього переходу не існує, тому нами було запропоновано додатково, за окремою методикою, план рейсу складати з двох частин. Перша частина включає «Судновий план лоцманської проводки» від причалу порту відходу до місця висадки лоцмана і від місця прийому лоцмана в порту приходу до причалу. Ця частина вимагає використання високоточної методики планування шляху і урахування ширини смуги маневреного зміщення судна.

Друга частина включає високоточний план переходу від місця висадки лоцмана в порту відходу і прийому його на борт в порту приходу. Цей план включає прямолінійні і криволінійні ділянки з інтервалами дискретизації ТТ і кутів повороту відмінними від суднового плану лоцманської проводки.

Запропонована структура робочого макета навігаційного пристрою планування переходу універсальна, оскільки дозволяє змінювати як дані судна, так і маршрут переходу. Для її спрощення і підвищення швидкодії вона може бути істотно скорочена, за рахунок попереднього планування шляху і використання систем підтримки прийняття рішення, пристосованих для судна.

Отримані результати можуть бути використані при створенні нових суднових систем підтримки прийняття рішення, при навчанні в морських навчальних закладах, на суднах і при підвищенні кваліфікації штурманського складу. Зміст п'ятого розділу опубліковано в роботах [4-7, 9, 10, 13, 16].

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних наукових досліджень отримав подальший розвиток науковий напрям створення інноваційних способів та методів високоточного планування шляху та управління режимом руху суден в стислих водах, та як наслідок підвищення їх експлуатаційно-економічних і екологічних показників безпечної перевезки вантажів морем.

Для попередження аварійних випадків потрібно використання інноваційних технологій планування траєкторії руху в умовах обмеженого простору для маневрування шляхом оцінки співвідношення геометричних їх розмірів та операційної акваторії, маневрених властивостей і розробки сценарного плану проводки, який дозволить виконувати безпечно проходження районів інтенсивного судноплавства.

В результаті рішення головної наукової задачі створено нові методи планування і навігаційні пристрої контролю процесу маневрування для забезпечення високої точності і швидкодії системи управління, реалізованих в комп'ютерному навігаційному пристрої.

При виконанні наукового дослідження використано системний підхід, в якому для вирішення основного завдання здійснено його розбиття на допоміжні завдання: вибір безпечного режиму руху в небезпечних районах стислих вод; розробка високоточних методів планування шляху ТТ для інформаційного забезпечення переходу; розробка інверсного методу сценарного планування траєкторії і оперативного управління морськими операціями. При вирішенні головного завдання отримано наукові результати, що містять наукову новизну:

- вперше розроблено навігаційну систему, яка відрізняється способом представлення шляху переходу у вигляді матриць траєкторних точок прямолінійних і криволінійних відрізків, що дозволяє використовувати їх значення для автоматизації процесу планування заданого шляху по відомій таблиці шляхових точок, маневреним властивостям судна і конфігурації акваторії маневрування, а також для контролю процесу безпечного руху;

- отримали подальший розвиток формалізовані моделі вибору безпечного режиму руху в стислих умовах, які відрізняються способом вибору швидкості по одному навігаційному параметру – дальності до орієнтира в момент виявлення небезпеки і маневровим характеристикам судна, що дозволяє обґрунтовано призначати параметри безпечного переходу;

- отримала подальший розвиток методика перерахунку координат приймальної супутникової антени на центр ваги, яка відрізняється від існуючих розрахунковим алгоритмом, що дозволяє отримати комп'ютерні програми для навігаційних приладів;

- отримала подальший розвиток формалізована модель визначення

допустимої точності отримання місця при проходженні на фарватері, яка відрізняється від існуючих врахуванням допустимого кута зсуву, що дозволяє виконати оцінку можливості безпечного плавання при існуючих погодних умовах;

– удосконалено інверсний спосіб сценарного планування руху для навігаційних цілей при плаванні в небезпечних районах обмежених вод і при лоцманській проводці, який відрізняється від існуючих способом планування траєкторії руху, що дозволяє використовувати планові координати для навігаційних цілей та автоматизувати процес управління;

– удосконалено методику оцінки коефіцієнта зайнятості судноводія безпомилковим рішенням навігаційних завдань, який відрізняється від існуючих врахуванням вимог ММО до ймовірності 0,95 безпомилкового вирішення навігаційних завдань, що дозволяє визначити раціональний інтервал часу для контролю обстановки.

Результати можуть бути використані розробниками навігаційних систем для виконання високоточного планування траєкторії руху в небезпечних районах обмежених вод і оперативного контролю руху по ній.

Вони можуть бути впроваджені в морських навчальних закладах при підготовці курсантів до роботи на судах, на курсах підвищення кваліфікації, та при виконанні теоретичних досліджень для розробки систем підтримки прийняття рішень при маневруванні.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ворохобин І.І. Выбор режима движения каналом по габаритным размерам судна. / Ворохобин І.І., Соколенко В.І. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. Вып.18. – Одесса: «ИздатИнформ», 2010. – С. 56-63.

Автором розроблено метод оцінки максимального кута ризику, розрахункову схему і контрольний приклад

2. Мальцев А.С. Информационно – аналитический комплекс лоцмана «Поворот»./ Мальцев А.С., Ворохобин І.І., Соколенко В. І., Ищук А.К.. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. Вып.19 – Одесса: «ИздатИнформ», 2010. – С. 103-113.

Автором розроблена змістовна модель і розрахункова схема та контрольний приклад побудови траєкторії криволінійного руху методом відрізків.

3. Соколенко В.І. Судовой план лоцманской проводки./ Соколенко В.І. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. Вып.20. –Одесса: «ИздатИнформ», 2011. – С. 209-220.

4. Соколенко В.І. Планирование заданного пути движения в стесненных условиях траекторными точками и контроль процесса движения./ В.І.Соколенко // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. Вып..21. –Одесса: «ИздатИнформ», 2012. – С. 220 – 227.

5. Пат. 57713 Україна, МПК G08G 3/00. Пристрій для попередження посадки судна на міліну/А.С. Мальцев, І.І. Ворохобін, В.І. Соколенко

(Україна); заявник та патентовласник Одеська національна морська академія. - № U 2010 09828; заявл. 0608.2010; опубл. 10.03.2011. – Бюл. №5. – 4 с.

Автором розроблено алгоритм, розрахункова схема та контрольний приклад для перевірки програм.

6. Пат. 62155 Україна, МПК G08G 1/123. Спосіб гарантованої передачі інформації / Г.Б. Вільський, А.С. Мальцев, М.М. Надич, В.В. Голіков, В.І. Соколенко (Україна); заявник та патентовласник Одеська національна морська академія і Миколаївський політехнічний інститут. – № U 2011 02072; заявл. 21.02.2011; опубл. 10.08.2011. – Бюл. №15. – 4 с.

Автором розроблено змістовні моделі передачі інформації при маневруванні.

7. Пат. 78679 Україна, МПК G08G 3/00, B63B 49/00. Пристрій для інформаційного забезпечення лоцманської проводки морського судна / А.С. Мальцев, І.І. Ворохобін, В.В. Голіков, В.І. Соколенко (Україна); заявник та патентовласник Одеська національна морська академія – №U201211569; заявл. 08.10.2012; опубл. 25.03.2013. – Бюл. №6. – 4 с.

Автором визначена змістовна модель методології розробки суднового навігаційного плану під час лоцманського проведення.

8. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68552 Україна. Комп'ютерна програма «Система високоточного планування шляху переходу морського судна». А. С. Мальцев, А. П. Бень, О.В. Терещенкова, В.І. Соколенко (Україна): Заявник Херсонська державна морська академія. Дата реєстрації 09.11.2016 року.

Автором розроблено структуру програми, блок – схему алгоритму, розрахункову схему і контрольні приклади., та інструкцію по використанню навігаційного пристрою судновим складом.

9. Vasyliy Sokolenko The system of precision planning marine ship's voyage. NAU, Vol.68, №3(216). – Kiev, 2016. – P.46-53.

10. Мальцев С.Е. The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity. Навигационное устройство пересчета координат спутниковой антенны судна на центр тяжести / Мальцев С.Е., Мальцев А.С., Соколенко В.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып. 28 – Одесса: «ИздатИнформ», 2018. – С. 210-221.

Автором удосконалена методика та алгоритм роботи навігаційного пристрою для перерахунку координат і розроблено контрольний приклад.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

11. Соколенко В.И. Оценка допустимого угла рыскания при следовании по каналу / В.И. Соколенко, И.И. Ворохобин // Николаев. Тезисы доклада первой международной научно – технической конференции «Инновации в судостроении и океанотехнике» – Николаев: НУК, 2010. – С. 353-355.

12. Соколенко В.И. Маршрутный график безопасности плавания в стесненных условиях. / В.И. Соколенко // Матеріали науково-технічної конференції «Забезпечення безаварійного плавання суден» 16-17 листопада 2011 р. – Одеса, 2012. – С.85-87.

13. Соколенко В.И. Способ автоматизации планирования заданного

пути движения в стесненных условиях траекторными точками. / В.И. Соколенко // Материалы научно технической конференции «Судоходство: перевозки, технические средства, безопасность» 14-15 ноября 2012 г. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013. – С. 126-129.

14. Соколенко В.И. Система поддержки принятия решения при движении морского судна в стесненных условиях. / В.И.Соколенко // Материалы XX Международной конференции с автоматического управления, 25-27 сентября 2013 г. – Николаев: НУК, 2013. – С. 256.

15. Соколенко В.И. Тренажер судоводителя «Планирование пути в стесненных условиях» / В.И. Соколенко // Материалы конференции «Морские перевозки и информационные технологии в судоходстве» 18-19 ноября 2014 г. – Одесса: «ИздатИнформ», 2014. – С.182-186.

16. Соколенко В.И. Выбор безопасной скорости по дальности уверенного обнаружения неподвижной опасности / Соколенко В.И., Мальцев С.Е.// «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». Матеріали наук. - техн. конф., 16-17 листопада 2017 р. Одеса, НУ «ОМА» 2018. – С. 209-212.

17. Мальцев А.С. Инновационные технологии планирования пути и выбора режима движения крупнотоннажного судна в опасных районах стесненных вод / Мальцев А.С., Соколенко В.И., Мальцев С.Е. // «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2018): матеріали дев'ятої Міжнарод. наук.-практ. конф., 29-31 травня 2018 р. – Херсон: ДМА, 2018. – С. 64-69.

АНОТАЦІЯ

Соколенко В.І. Вдосконалення методів планування шляху і управління судном в стислих водах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271 «Річковий та морський транспорт»). Національний Університет «Одеська морська академія», Одеса, 2021 р.

У результаті виконаних наукових досліджень отримав подальший розвиток науковий напрям створення інноваційних способів та методів високоточного планування шляху та управління режимом руху суден в стислих водах, та, як наслідок, підвищення їх експлуатаційно-економічних і екологічних показників.

Виконаний аналіз і уточнення термінологічних понять розділу науки, предметом досліджень яких є безпека судноплавства, дозволив виділити стисненні води основним регіоном, в якому відбуваються аварійні події.

При розробці технологічної карти наукового дослідження використано системний підхід, в якому для вирішення основного завдання здійснено його розбиття на допоміжні завдання, результати вирішення яких, використовуються при синтезі системи планування і управління рухом в стислих водах.

Особливості вибору режиму руху описані п'ятьма моделями: розрахунок безпечної швидкості по дальності впевненого виявлення нерухомої небезпеки;

розрахунок безпечної швидкості по дальності впевненого виявлення рухомого об'єкта; описано рух судна на прямолінійних ділянках шляху; описано рух на каналах і фарватерах; вперше розроблено спосіб попередження посадки судна на міліну.

Вперше проведений синтез високоточної системи планування заданого шляху траєкторними точками і безпечного управління рухом судна в небезпечних районах стислих вод, вперше розроблена методика підготовки суднового плану лоцманської проводки, який, на відміну від лоцманського плану, придатний для навігаційних цілей.

Для досягнення мети дослідження були розроблені алгоритми, розрахункові схеми і комп'ютерні програми високоточного планування прямолінійних і криволінійних ділянок шляху, вибору безпечного режиму руху та його контролю по заданій траєкторії. Створено макет навігаційного пристрою планування шляху переходу інверсним методом і оперативного управління морськими операціями від пункту висадки лоцмана до пункту прийому в порту приходу.

В результаті дослідження встановлено, що високоточний розрахунок координат заданого шляху ТТ і використання навігаційних пристроїв, що підвищують точність визначення місця і оперативність контролю руху, дозволяє зменшити ризик аварійної навігаційної події в стислих водах.

Результати можуть бути використані на судах при автоматичному плануванні переходу і при створенні тренажера для підготовки судноводіїв для виконання високоточного планування траєкторії руху ТТ в стислих водах. Вони можуть бути впроваджені в морських навчальних закладах при підготовці курсантів старших курсів до роботи на судах, на курсах підвищення кваліфікації та при виконанні теоретичних досліджень.

Ключові слова: безпечна швидкість; криволінійний рух; фарватер і канал; небезпечні райони обмежених вод; високоточне планування шляху траєкторними точками; судновий навігаційний план лоцманської проводки; пристрій підтримки прийняття рішення при маневруванні.

ANNOTATION

Sokolenko V.I. Improvement of methods of planning the way and managing the ship in compressed waters. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts. Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.22.13 - Navigation and traffic management (271 "River and sea transport"). National University "Odessa maritime academy", Odessa, 2018.

As a result of the research carried out, the scientific direction of creating innovative ways and methods of high-precision path planning and control of the regime of vessel traffic in cramped waters has been further developed, and as a result, their economic, operational and environmental performance has increased.

The analysis and clarification of the terminological concepts of the science

section, the subject of research of which is the safety of navigation, made it possible to isolate the constrained waters by the main region in which emergency events occur.

When developing a technological map for scientific research, a systematic approach was used in which, to solve the main problem, it was divided into auxiliary problems, the results of which are used in the synthesis of the system for planning and controlling the motion in compressed water.

Features of the choice of the mode of motion are described by five models: calculation of safe speed for the range of confident detection of fixed danger; calculation of safe speed for the range of confident detection of a moving object; describes the movement of the vessel on rectilinear sections of the track; The movement on canals and fairways is described: for the first time a method has been developed for preventing landing of a vessel on a strand.

For the first time, a synthesis of a high-precision system for planning a given path of trajectory points and safe control of ship movement in hazardous areas of limited waters was developed, for the first time a method was developed for the preparation of a ships plan for pilotage, which, unlike the pilot plan, is suitable for navigational purposes.

To achieve the research goal, algorithms, calculation schemes and computer programs for high-precision planning of rectilinear and curvilinear sections of the track, selection of a safe driving regime and its control along a given trajectory were developed. A layout of the navigation device for planning the transition from the pilot landing point to the point of reception at the port of arrival has been created.

As a result of the research it was established that a high-precision calculation of the coordinates of the given path by trajectory points and the use of navigation devices that increase the accuracy of determination and the effectiveness of the lateral deviation control significantly reduces the risk of an emergency navigational event in limited waters.

The results can be used on vessels with automatic transfer planning and when creating a simulator when preparing skippers to perform highly accurate path planning in hazardous areas of limited waters. They can be introduced in maritime training institutions for the training of cadets of senior courses for work on ships, for advanced training courses and for carrying out theoretical studies.

Key words: safe speed; curvilinear motion; fairway and canal; dangerous areas of cramped waters; high-precision path planning by trajectory points; ship's navigational plan for pilotage; decision support device.

Підп. до друку 22.02.2021. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И21-02-37

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