

АНОТАЦІЯ

Мальцев С.Е. Розробка способу визначення параметрів маневрування судна при криволінійному русі – 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, 2021.

Виконаний огляд та аналіз літературних джерел показав, що незважаючи на значне удосконалення навігаційних пристроїв, які використовуються для організації процесу маневрування, людина оператор (ЛО) зберігає свою визначальну роль при управлінні рухом судна. При цьому зберігається значення окомірного порівняльного способу визначення відстаней до навігаційних знаків, шляхом відносної оцінки їх з розмірами об'єкту управління.

Зроблено висновок, що процес маневрування являється швидкоплинним, тому виконувати розрахунки під час управління неможливо, що вимагає необхідності попереднього планування шляху, виконання необхідних розрахунків або автоматизації указаних процедур, щоб навігаційні пристрої встигали виконувати потрібні розрахунки. Крім того у капітана необхідно формувати спеціальний навик управління маневруванням в стислих районах переходу і при обмежених акваторіях для маневрування, шляхом стажування на містку судна або на навігаційних тренажерах.

Аналіз параметрів, які описують процес маневрування судна показав, що не всі дані відомі судноводію для безпечного управління, а навігаційні пристрої для їх визначення відсутні. Це не дозволяє організувати належну підготовку до плавання, особливо в районах стислих вод. Серед таких параметрів знаходяться ширина маневреного зміщення і абсциса положення полюсу повороту, які не можуть бути визначені окомірно, а часу для розрахунку в процесі маневрування немає. Як показав виконаний аналіз, між цими параметрами існує залежність, ступінь якої

поки що не встановлена.

Саме в стислих водах виникає потреба частого маневрування зміною курсу, швидкості чи сумісна зміна їх обох, що призводить до надмірного наближення до навігаційних небезпек і потребує адекватних управляючих дій, для оперативного керування. Для цього ЛО повинен мати в своєму розпорядженні залежність параметрів маневрування від динаміки руху, причому параметри повинні бути визначені для стану, при якому відбувається маневрування, та їх необхідно представляти у вигляді, готовому для віддачі команд.

Така постановка вимагає вдосконалення способів підготовки плану маневрування при виконанні морських операцій, чи розробки комп'ютерного інформаційного забезпечення, для оперативного визначення параметрів маневрування, які необхідні для його виконання.

Для цього виконано аналіз параметрів, які описують процес маневрування морського судна, і розглянуто характерні точки, які впливають на маневрування і здатність ЛО управляти рухом.

Обґрунтовано напрямки наукового дослідження, які спрямовані на розробку способу визначення параметрів процесу маневрування для комп'ютерного його забезпечення і складання технологічної карти процесу руху. Об'єктом дослідження є процес маневрування під час морських операцій, а предметом дослідження способи визначення параметрів маневрування.

Структурно дисертаційне дослідження представлено у вигляді блок-схеми технологічної карти, яка систематизує виконання роботи.

Головним завданням досліджень являється розробка способу оперативного визначення параметрів маневрування під час руху і їх використання для управління судном згідно з алгоритмом процесу виконання морської операції. Метою дослідження є організація безаварійного маневрування судна шляхом оперативного розрахунку параметрів руху при зміні режиму управління згідно з технологічною картою морської операції.

Головне завдання розділено на три допоміжні задачі, які наведені в технологічній карті.

Висунута наукова гіпотеза підтверджена в роботі. Вона виходить з можливості оперативного розрахунку абсциси ПП комп'ютерними засобами, визначення по її величині ширини маневреного зсуву та контролю руху на плановому шляху. Сформульовано наукове положення, яке показує, що безпека процесу маневрування забезпечується використанням оперативних способів розрахунку параметрів руху і контролю управління судном по їх значенню.

Технічні засоби судноводіння не завжди забезпечують контроль процесу маневрування по каналах і фарватерах через низьку точність навігаційних пристроїв і недостатню кількість параметрів, які розраховують системи підтримки прийняття рішення в умовах обмеженого простору. З цієї причини потрібно розширити кількість оперативного розрахунку параметрів маневрування і розробки технологічної карти руху судна, що дозволить значно знизити ризик аварій .

Узагальнений алгоритм виконання наукового дослідження описує порядок вирішення допоміжних задач і включає розробку нових теоретичних моделей та проведення натурних випробувань для перевірки їх адекватності.

Аналіз сучасного способу визначення положення полюсу повороту (ПП) показав, що він має обмежене призначення тільки для однієї сили, а розрахункові схеми і алгоритми визначення для інших випадків відсутні.

Запропонований метод результуючої сили дозволив вперше отримати формалізовану модель визначення бічної сили $P_{рез}$ і по її значенню розрахувати розташування ПП. Однак такий спосіб потребує коригувати вхідні дані для розрахунків, що потребує часу, якого у судноводія обмаль.

Розроблена вперше формалізована модель визначення абсциси ПП і плеча рівнодіючої бічних сил по даним доплерівського лагу дозволяє без істотних змін в навігаційному обладнанні судна отримати пристрій, який суттєво полегшить процес інформаційного забезпечення маневрування і підвищить його безпеку.

Виконані натурні випробування процесу визначення абсциси ПП дозволили провести верифікацію запропонованої моделі визначення абсциси ПП та отримати розрахункові алгоритми для розробки навігаційного пристрою підвищення надійності інформаційного забезпечення процесу маневрування.

Отримані результати досліджень можуть використовуватися для розробки навігаційного пристрою інформаційного забезпечення процесу маневрування.

Вирішення першого допоміжного завдання виконано в три етапи: аналіз існуючої моделі визначення абсциси ПП; розробка моделі визначення абсциси ПП по рівнодіючій поперечних сил, які діють на судно; розробка моделі визначення абсциси ПП по тангенціальних швидкостях носової і кормової кінцівок судна та верифікація моделі по результатам натурних випробувань.

Аналіз сучасних способів визначення ширини маневрового зсуву на прямолінійних і криволінійних відрізках шляху і розробка на його підставі розрахункових схем і алгоритмів дозволив побудувати систему неперервної інформації про його значення. Однак постійне визначення ширини маневреного зсуву вимагає введення даних про кутову швидкість Ω , граничне значення якої $\omega_{риск}$ по умовам плавання і точність визначення місця M_0 , введення і розрахунок яких вимагає затрат часу, якого обмаль.

По цій причині були використовувані більш досконалі способи визначення маневреного зсуву по величині абсциси ПП. Вони дозволяють постійно показувати вірогідну ширину маневрового зсуву, без необхідності вводити будь які дані, використовуючи інформацію доплерівського лага.

Виконаний графічний аналіз показав, що значення абсциси ПП визначає ширину маневреного зміщення, тому її значення може бути використано для оцінки параметрів маневрування. Обмеження максимального значення абсциси ПП на циркуляції фактично дозволить визначити значення ширини смуги руху судна в залежності від його головних розмірів, які визначаються «характерним лінійним розміром» L_x .

Крім цього важливо відзначити таку особливість параметра $X_{ПП}$: при повороті судна абсциса полюса повороту досягає значення, відповідного сталій циркуляції даної кривизни, ще на початку еволюційного періоду, що дає можливість приймати в розрахунках геометричних параметрів повороту судна значення $X_{ПП}$ для сталої циркуляції даного радіуса. Це значно підвищує оперативність такої інформації.

Використання абсциси полюса повороту в якості пріоритетної величини має такі переваги: задає розміри акваторії для маневрування по відомому судноводію радіусу кривизни траєкторії ЦВ і визначеної величини абсциси ПП на сталій циркуляції; абсциса ПП для сталої циркуляції може бути з достатньою точністю визначена ще на стадії проектування судна, так як вона залежить лише від гідродинамічних характеристик корпусу і практично не залежить від типу встановленого на судні ДРК.

Для підвищення інформаційного забезпечення процесу маневрування, і особливо на криволінійних траєкторіях, рекомендується постійне використання розробленої системи контролю і реєстрації для автоматичного визначення ширини маневреного зсуву і своєчасного реагування на відхилення від планового шляху. Вирішення другого допоміжного завдання виконано в два етапи: розробка способів розрахунку маневреного зсуву по абсцисі ПП та систем ППР по положенню ПП в режимі реального часу.

У заключному розділі приведена коротка характеристика 12 – ти навігаційних систем підтримки прийняття рішення при виконанні морських операцій, описані їх функціональні можливості та перелік вхідних даних, які потрібні для роботи пристроїв.

Розглянуті системи ППР дозволяють оптимізувати процеси планування заданого шляху і управління маневруванням при русі по ньому. Це значно полегшує роботу судноводія, та дозволяє своєчасно і оперативно попереджати відхилення від планового шляху і загрозу виникнення аварійних пригод. Вони можуть бути використані при навігаційній підготовці суден з безвахтовим управлінням рухом для роботи на лінії.

Використання систем підтримки прийняття рішень, інверсного методу сценарного оптимального планування процесу швартування ТТ з урахуванням акваторії для маневрування і маневрових характеристик судна, дозволяє високо точно нанести планову траєкторію руху і оперативно отримувати інформацію для безаварійного виконання морської операції. Це дає можливість судноводію використовувати план руху, виконаний перед початком швартовної операції, для

навігаційних цілей.

На прикладі швартування в турецький порт Самсун ретельно розглянуто послідовність планування руху ТТ по таблиці шляхових точок інверсним способом і детально описано сценарій управління судном при заході в порт.

Розроблена схема функціональних зв'язків між навігаційними пристроями системи управління маневруванням та показано, що для забезпечення безаварійного виконання морської операції потрібно спочатку спланувати координати безпечних шляхових точок (ШТ). Після цього необхідно автоматизувати процес використання навігаційних пристроїв, які покращують точність отримання параметрів руху, та підвищують оперативність їх визначення для прийняття рішення по маневруванню.

Вирішення третього допоміжного завдання дозволило виконати головне завдання по розробці методики складання навігаційного плану виконання морської операції по заходу /виходу із порту, відповідно до вимог ММО.

Наукова новизна результатів заключається в розробці нової математичної моделі визначення абсциси ПП на підставі даних про тангенціальні швидкості кінцівок судна, верифікацією отриманої моделі на підставі натурних випробувань і моделі для визначення ширини маневреного зсуву, включаючи криволінійний рух.

При цьому у роботі:

– **вперше розроблено** спосіб визначення абсциси ПП по тангенціальним швидкостям кінцівок, який відрізняється від існуючих відсутністю необхідності вводити дані для розрахунків абсциси ПП, які поступають від існуючого навігаційного приладу – доплерівського лагу, та урахуванням параметрів течії, що дозволяє оптимальним способом розставляти буксири при виконанні морських операцій, по положенню відносно ПП;

– **вперше розроблено** спосіб визначення ширини маневреного зсуву окремо для прямолінійних відрізків шляху та для криволінійних, який відрізняється від існуючих, використанням значення абсциси ПП для розрахунків, включаючи криволінійні відрізки, та автоматичним переключенням розрахунків для прямолінійних та криволінійних відрізків шляху по значенню кутової швидкості

рискання, що дозволяє оперативно контролювати положення судна відносно навігаційних перешкод;

– **отримала подальший розвиток** методологія сценарного планування руху інверсним способом для навігаційних цілей при заході / виході із порту, яка відрізняється від існуючої, використанням високо точного способу планування заданого шляху траєкторними точками у вигляді матриці їх координат, та використанням існуючого методу шляхових точок та даних про поворотність для їх розрахунку, що дозволяє виконувати вимогу ММО по плануванню шляху переходу від причалу порту відходу до причалу приходу;

– **удосконалено** спосіб визначення абсциси ПП по рівнодіючій діючих сил, який відрізняється від існуючих врахуванням тільки бічних сил, для чого вводяться напрям і величина використовуваних управляючих сил, визначаються бічні складові і потім їх рівнодіючу, що дозволяє розрахувати абсцису ПП, значення якої використовується для управління маневруванням.

Практична цінність полягає в можливості широкого використання способів оперативного визначення параметрів маневрування для розробки нових навігаційних систем підтримки прийняття рішення при організації безпечного управління рухом суден.

Результати дослідження впроваджені при виконанні науково-дослідної роботи в Херсонській морській академії 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 визначення абсциси полюсу повороту (акт впровадження від 25.03.2020 р); приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 25.09.2019 р.); матеріали дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Управління морськими операціями суден» (акт впровадження від 25.09.2019 р), при виконанні науково-дослідної роботи «Удосконалення методів безпечного управління судном» (№ ДР 0117U005133, науковий керівник к.т.н., доцент Бурмака І.О.), підрозділ «Способи визначення

полюсу повороту».

Ключові слова: безпечне маневрування судна, абсциса полюса повороту, ширина маневрового зсуву, криволінійні відрізки, система підтримки прийняття рішення, інверсний спосіб сценарного планування швартувань.

Основні наукові результати дисертаційних досліджень опубліковані в наступних працях:

Статті у наукових фахових виданнях.

1. Мальцев С.Э. Полюс поворота и его учет при маневрировании морского судна: монография/ С. Э. Мальцев, О. Н. Товстокорый. //–Херсон: ХГМА, 2016. -124 с.

2. Голиков В.В.Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна/В.В.Голиков., С.Э.Мальцев. Научный журнал.-Херсон.:ХГМА, 2013. №1(8). С. 21 – 27.

3. Голиков В.В. Анализ вектора смещения пути судна от ветра /В.В.Голиков.,С.Э.Мальцев. Науч.жур.-Херсон. :ХГМА, 2015.№1(12), -С. 29-35.

4. Товстокорый О.Н. Определение положения полюса поворота с помощью доплеровского лага.//О.Н.Товстокорый, С.Э.Мальцев./ Судовождение: Сб.научн. трудов.//НУ «ОМА». Вып.26. Одесса: ИздатИнформ. 2016. – С.183 – 190.

5. Sokolenko V.I. The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity./ V.I. Sokolenko , S.E. Maltsev, A.S. Maltsev.// Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып. 28 –Одесса: «ИздатИнформ», 2018. – С. 210 – 221.

6. Мальцев С.Е. Когнитивная система оценки положения полюса поворота судна с помощью эффективных алгоритмов./С.Е.Мальцев//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences.- 2018. V1 (19), issue 171. –P.37 – 42.

7. Мальцев С.Е. Система інформаційного забезпечення швартування танкера VLCC до моно буя./ С.Е. Мальцев. // Судовождение: сб. научн.трудов. /НУ»ОМА». Вып.29. -Одесса: »Издатинформ», 2019. – С.134 – 141.

8. Мальцев С.Е. Навігаційний пристрій підтримки прийняття рішення при автоматичному плануванні руху судна траєкторними точками при заході /виході із порту./С.Е. Мальцев//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences.- 2019. V11 (25), issue 206. –Р. 41-46.

9. Мальцев С.Е. Оперативний контроль ширини маневреного зсуву в стислих водах // Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вип. 31.– Одеса: «ВидавІнформ», 2021.- С.22-37. DOI: <https://doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.22-37>.

Апробація матеріалів дисертації.

10. Мальцев С.Е. Алгоритм определения положения полюса поворота при маневрировании. «Судноплаводство: перевезення, технічні засоби, безпека»: Матеріали науково-методичної конференції - (Одеса, 14-15 листопада 2012 року). – Одеса: ОНМА. ВидавІнформ, 2013. – С.106 – 110.

11. Мальцев С.Е. Управление ходкостью счалов барж при использовании раздельных поворотных насадок. / С.Е.Мальцев // Судноплаводство: перевезення, технічні засоби, безпека» Матеріали конференції 19-20 листопада 2013 р. –Одеса, ОНМА. ВидавІнформ, 2014. –С.131 – 137.

12. Мальцев С.Э. Устройство оценки полюса поворота по тангенциальным скоростям конечностей./ С.Э Мальцев., В.В.Голиков. «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні»: Матеріали науково-методичної конференції - (Одеса, 18-19 листопада 2014 року.). – Одеса: ОНМА. ВидавІнформ, 2014. – С.172 – 176.

13. Мальцев А.С. Методологические основы разработки информационных систем поддержки принятия решения при маневрировании морских судов./ А.С.Мальцев, В.В.Голиков, С.Э. Мальцев//Сборник материалов 7-й Международной научно – практической конференции (MINTT-2015) 26 – 28 мая 2015 г, г .Херсон. ХДМА.-С 152-157.

14. Голиков В.В. Имитационное моделирование швартовки крупнотоннажного судна к причалу 25 порта Южный. / В.В.Голиков, С.Э. Мальцев // Матер.конф. «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні»

19-20 листопада 2015 р. - Одеса, НУ «ОМА»2016. –С. 119-123.

15. Мальцев С.Е. Способ оценки маневренности судна по положению полюса поворота. / С.Е. Мальцев// Матер. конф. «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» 19-20 листопада 2015 р. - Одеса, НУ «ОМА»2016. –С. 129-133.

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, судноплавання, 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 матеріали дев'ятої Міжнародн. наук. - практ. конф., 23-25 травня 2018 р. – Херсон: ДМА, 2018. –С. 64 – 69.

18. Мальцев С.Е. Змістовні моделі системи управління судном при маневруванні. / С.Е.Мальцев.// «Транспортні технології (морський та річковий флот)», науково – технічна конференція, 15-16 листопада 2018 р. –Одеса: НУ «ОМА» 2018. – С. 219 – 224.

19. Мальцев С.Е. Удосконалення інформаційного забезпечення процесу маневрування параметрами стану судна. // «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація», науково – технічна конференція, 14-15 листопада 2019 р. –Одеса: НУ «ОМА» 2019. – С. 129 – 131.

Перелік патентів, які захищають наукову новизну.

20. **Патент** 91006 UA. МПК(2014.01) G08G 3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення маневрування морського судна. /Голіков В.В., Мальцев С.Е. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2013 04429; заявлено 25.04.2013; опубліковано 25.06.2014, Бюл. № 12.

21. **Патент** 97227 UA. МПК G08G 3/02 (2006.01), B63B 43/02 (2006.01). Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном. /Мальцев

С.Е., Товстокорий О.М., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № u2014 07280; заявлено 27.06.2014; опубліковано 10.03.2015, Бюл. № 5.

22. **Патент** 98720 UA. МПК (2015.01) B63B 21/00 Система інформаційного забезпечення швартування танкера VLCC до моно буя./Деревянко А.А. Мальцев С.Е. П. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2014 10883; заявлено 06.10.2014; опублік. 12.05.2015, Бюл. № 9.

23. **Патент** 100293 UA. МПК G08G 3/00 (2015/01), Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна. / Товстокорий О.М., Мальцев С.Е., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № u 2014 12711; заявл. 26.11.2014; опублік. 27.07.2015, Бюл. № 14.

24. **Патент** 111646 UA. МПК (2016.01) G08G 3/00 Навігаційний пристрій для вибору виду вектора управління рухом./Голіков В.В., Мальцев С.Е. Заявник національний університет «Одеська морська академія». - № u 2016 02487; заявлено 14.03.2016; опубліковано 25.11.2016, Бюл. № 22.

ANNOTATION

Maltsev SE «Development of a method of determining the parameters of the maneuvering of a ship in curvilinear motion» - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (Ph.D.) after specialty 05.22.13 – navigation and traffic control (271 “River and sea transport”). It is the National University “Odessa maritime academy”. Odessa, 2021.

A review and analysis of literary sources has shown that, despite the significant improvement of navigational devices used to organize the maneuvering process, a person operator (PO) retains its decisive role in controlling the movement of the vessel. In doing so, the value of the approximate comparative method of determining the distances to the navigational signs, by means of a relative assessment of them with the size of the object of management.

It is concluded that the maneuvering process is fleeting, so it is impossible to perform

calculations during control, which requires the need for advance planning of the path, the necessary calculations or automation of the specified procedures, so that navigation devices have time to make the necessary calculations. In addition, the captain needs to develop a special skill in maneuvering management in the compressed areas of transition and in restricted areas for maneuvering, by training on the bridge of the ship or on navigational simulators.

Analysis of the parameters describing the maneuvering process of the ship showed that not all data are known to the navigator for safe management, and navigation devices for their determination are absent. This does not allow you to organize proper swimming preparation, especially in compressed swimming areas. Among such parameters are the width of the maneuverable displacement and the abscissa of the position of the pivot point, which can not be determined extensively, and there is no time for calculation in the process of maneuvering. As the performed analysis showed, there is dependence between these parameters, the degree of which has not yet been established.

It is precisely in compressed waters that there is a need for frequent maneuvering by changing the course, speed, or a compatible change of both of them, which leads to excessive approach to hazards and requires adequate control actions for operational control. For this, the PO must have the dependence of the maneuvering parameters on the dynamics of motion, with the parameters to be determined for the state in which the maneuvering takes place and they must be represented in the form ready for the return of commands.

Such a statement requires the improvement of the methods of preparing a maneuvering plan for maritime operations, or the development of computer information support, for the rapid determination of maneuvering parameters that are necessary for its implementation.

To do this, an analysis of the parameters describing the process of maneuvering a marine vessel has been performed, and the characteristic points that influence maneuvering and the ability of the PO to control the motion are considered.

The directions of scientific research aimed at development of methods for determining the parameters of the maneuvering process for its computer assurance and

the compilation of a technological map of the process of motion are substantiated. The object of the study is the maneuvering process during naval operations, and the subject of research is the method of determining the parameters of maneuvering.

Structurally, the dissertation is presented in the form of a block diagram of a technological map that systematizes the implementation of research work.

The main task of the research is to develop methods for the operative determination of maneuvering parameters during movement and their use for controlling the vessel according to the algorithm of the maritime operation process. The purpose of the study is to organize the accident-free maneuvering of the vessel by operatively calculating the parameters of the motion when changing the control regime according to the technological map of the naval operation.

The main task is divided into three auxiliary tasks, which are presented in the technological map.

The presented scientific hypothesis is confirmed in the work. It proceeds from the possibility of operatively calculating absences of the PP by computer means, determining, by its magnitude, the width of maneuvering displacement and controlling the movement on the planned path. A scientific provision is formulated, which shows that the safety of the maneuvering process is ensured by the use of operational methods for calculating the parameters of motion and controlling the control of the ship by their significance.

The technical means of navigation do not always provide control over the process of maneuvering through channels and fairways due to the low accuracy of navigation devices and the lack of parameters that count decision support systems in limited space conditions. For this reason, it is necessary to expand the number of operational calculation of maneuvering parameters and development of a technological map of the vessel movement, which will significantly reduce the risk of accidents.

A generalized algorithm for conducting research studies describes the procedure for solving auxiliary tasks and includes the development of new theoretical models and field tests to verify their adequacy.

Analysis of the modern way of determining the position of the pivot point (PP) showing that it has a limited purpose only for one force, and the calculation schemes and

determination algorithms for other cases are absent.

The proposed method of the resulting force P_{rez} allowed for the first time to obtain a formalized model for determining the lateral force and, by its value, to calculate the location of the PP. However, this method requires adjusting input data for calculations, which takes time that the navigator is scarce.

The first formalized model for defining the abscissas of the PP and the shoulder of the superfluous lateral forces according to the Doppler lag makes it possible without significant changes in the navigational equipment of the vessel to obtain a device that will substantially facilitate the process of information provision for maneuvering and increase its safety.

The performed natural tests of the process of determining the abscissas of the PP, allowed to verify the proposed model for determining the abscissa of the PP and obtain the calculation algorithms for developing a navigation device for increasing the reliability of the information provision of the maneuvering process.

The obtained research results can be used for the development of a navigational device for information provision of the maneuvering process.

The solution of the first auxiliary task is accomplished in three stages: an analysis of the existing model for determining the abscissa of the PP; development of the model for determining the abscissa of the PP for the equally effective transverse forces acting on the vessel; development of a model for determining the abscissa of the PP on the tangential velocities of the bow and stern extremities of the vessel and verification of the model based on the results of field tests.

An analysis of modern methods for determining the width of shunting shift on rectilinear and curvilinear segments of the path and the development on its basis of calculation schemes and algorithms, allowed to build a system of continuous information about its value. However, the constant determination of the maneuverability shift width requires the input of the angular velocity ω , the limiting value of the angular velocity ω_{dev} the course of the navigation conditions and the accuracy of the location of the M_0 , the introduction and calculation of which requires a time consuming, which is negligible.

For this reason, more advanced methods have been used to determine the maneuverability of the shift of the abscissa of the PP. They allow you to constantly show the likely width of the maneuvering shift, without the need to enter any data using the Doppler log information.

The performed graphical analysis showed that the value of the abscissa of the PP determines the width of the maneuverable displacement, therefore its value can be used to evaluate the maneuvering parameters. The limitation of the maximum value of abscissa of the PP on the circulation will in fact allow determining the value of the width of the lane of the vessel, depending on its main dimensions, which are determined by the “characteristic linear size” L_x .

Using the abscissa of the PP as a priority value has the following advantages: sets the size of the water area for maneuvering according to the known navigator of the radius of curvature of the trajectory of the CG and the definite size of the PP abscissa in the steel circulation; abscissa PP for constant circulation can be defined with sufficient accuracy at the design stage of the vessel, since it depends only on the hydrodynamic characteristics of the casing and practically does not depend on the type of the driving complex, installed on the vessel.

To improve the information provision of the maneuvering process, and especially on the curvilinear trajectories, it is recommended that the use of the developed monitoring and registration system is continuously used to automatically detect the maneuverability of the shift and respond in a timely manner to deviations from the planned path. The solution of the second auxiliary task is accomplished in two stages: the development of methods for calculating the maneuverable shift in the abscissa of the PP and computers systems to determine of the PP in real time.

The final section of the work gives a brief description of 12 navigational decision support systems (DSS) for maritime operations, describes their functionality and the list of input data required for the operation of the devices.

The considered DSS systems allow optimizing the processes of planning the given path and control the maneuver when moving on it. These significantly facilitate the operation of the ship, and allow promptly and promptly prevent deviations from the

planned route and the threat of emergencies. They can be used for navigational training of ships with no shift control for operation on the line.

The use of DSS, the inverse scenario method for optimal planning of the mooring process, taking into account the water area for maneuvering and maneuvering characteristics of the vessel, allows a highly accurate mapping of the trajectory of the movement, and promptly receive information for the safe operation of the naval operation. This enables the navigator to use the traffic plan executed before the mooring operation, for navigational purposes

For example, mooring in the Samsun port of Turkey carefully considered the sequence of TP traffic planning along the roadway table inverted and describes in detail the control scenario of the ship when it enters the port.

The scheme of functional connections between navigational devices of the maneuvering control system is developed and it is shown that in order to ensure trouble-free operation of a naval operation, it is necessary to first plan the coordinates of the safe path. After that, it is necessary to automate the process of using navigation devices that improve the accuracy of obtaining traffic parameters, and increase the efficiency of their determination to make maneuvering decisions.

The solution of the third auxiliary task has allowed fulfilling the main task of developing a methodology for drawing up a navigational plan for the maritime operation in the event of an approach/ exit from the port, in accordance with the requirements of the IMO.

The scientific novelty of the results is the development of a new mathematical model for determining the abscissa of the PP based on data on the tangential speeds of the vessel's extremities, verification of the resulting model based on field tests, and a model for determining the width of the maneuverable displacement, including the curvilinear motion.

At the same time at work:

- **for the first time** a method has been developed for defining the abscissa of the PP on the tangential speeds of the extremities, which differs from the existing lack of the need to enter data for the calculations of the abscesses of the PP originating from the

existing navigation device – the Doppler lag, and taking into account the flow parameters, which allows the optimum way to arrange the tugboats while performing maritime operations , relative to PP;

- **□ for the first time**, a method has been developed for determining the width of the shunting shift separately for rectilinear segments of the path and for the curvilinear, which differs from the existing, using the value of the ABS absences for calculations, including curvilinear sections, and the automatic switching of calculations for rectilinear and curvilinear segments of the path according to the angular velocity of the velocity, which allows to quickly control the position of the vessel in relation to navigational obstacles;

- **further developed** the methodology of scenario planning of the inverse way for navigational purposes at the approach / exit from the port, which differs from the existing one, using a highly precise method of planning a given path by trajectory points in the form of a matrix of their coordinates, and using the existing method of the waypoints and rotational data for their calculation, which allows to fulfill the IMO’s requirement for planning the transition path from the berth of the port of departure to the berth of the ward;

- **the method** of determining the abscissa of the PP on the equal forces is **improved**, which differs from the existing ones taking into account only the lateral forces, for which the direction and value of the control forces used are introduced, the lateral components are determined and then equalized to them, which allows to calculate the abscissa of the PP whose value is used to control maneuverings. Practical results of scientific research have been implemented.

The results of the research were introduced during the research work at the Kherson Maritime Academy, the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 199 dated February 10, 2017 “On the Formation of Thematic Plans in 2017”), in which the author developed calculation algorithms and benchmarks for checking the programs of determination of the abscissa of the Pivot Point (the act of implementation from 09/25/2019); Private Institute of Postgraduate Education “Odessa Marine Training Center” for the training of navigators (implementation act dated September 25, 2019); Materials of the research are used in the educational process of NU “OMA” in the

teaching of the discipline “Management of marine operations of ships” (implementation act dated September 25, 2019), when carrying out research work “Improving the methods of safe ship management” (№ DR 0117U005133, scientific adviser to Ph.D., Associate Professor Burmaka I.O.), Department “Methods of determining the pivot point”.

Key words: safe maneuvering of the vessel, the abscissa of the pivot point, shunting shift width, curvilinear sections, decision support system, inverse scenario planning of moorings.

The main scientific results are published in the following works:

Статті у наукових фахових виданнях.

1. Мальцев С.Э. Полюс поворота и его учет при маневрировании морского судна: монография/ С. Э. Мальцев, О. Н. Товстокорый. //–Херсон: ХГМА, 2016. - 124 с.
2. Голиков В.В. Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна/В.В.Голиков., С.Э.Мальцев. Научный журнал.-Херсон.:ХГМА, 2013. №1(8). С. 21 – 27.
3. Голиков В.В. Анализ вектора смещения пути судна от ветра /В.В.Голиков.,С.Э.Мальцев. Науч.жур.-Херсон. :ХГМА, 2015.№1(12), -С. 29-35.
4. Товстокорый О.Н. Определение положения полюса поворота с помощью доплеровского лага.//О.Н.Товстокорый, С.Э.Мальцев./ Судовождение: Сб.научн. трудов.//НУ «ОМА». Вып.26. Одесса: ИздатИнформ. 2016. – С.183 – 190.
5. Sokolenko V.I. The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity./ V.I. Sokolenko , S.E. Maltsev, A.S. Maltsev.// Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып. 28 –Одесса: «ИздатИнформ», 2018. – С. 210 – 221.
6. Мальцев С.Е. Когнитивная система оценки положения полюса поворота судна с помощью эффективных алгоритмов./С.Е.Мальцев//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences.- 2018. V1 (19), issue 171. –P.37 – 42.
7. Мальцев С.Е. Система інформаційного забезпечення швартування танкера VLCC до моно буя./ С.Е. Мальцев. // Судовождение: сб. научн.

трудоу. /НУ»ОМА». Вып.29. -Одесса: »Издатинформ», 2019. – С.134 – 141.

8. Мальцев С.Е. Навігаційний пристрій підтримки прийняття рішення при автоматичному плануванні руху судна траєкторними точками при заході /виході із порту./С.Е. Мальцев.//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences.- 2019. V11 (25), issue 206. –Р. 41-46.

9. Мальцев С.Е. Оперативний контроль ширини маневреного зсуву в стислих водах // Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вып. 31.– Одеса: «ВидавІнформ», 2021.- С.22-37. DOI: <https://doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.22-37>.

Апробація матеріалів дисертації.

10. Мальцев С.Е. Алгоритм определения положения полюса поворота при маневрировании. «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека»: Матеріали науково-методичної конференції - (Одеса, 14-15 листопада 2012 року). – Одеса: ОНМА. ВидавІнформ, 2013. – С.106 – 110.

11. Мальцев С.Е. Управление ходкостью счалов барж при использовании раздельных поворотных насадок. / С.Е.Мальцев // Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» Матеріали конференції 19-20 листопада 2013 р. –Одеса, ОНМА. ВидавІнформ, 2014. –С.131 – 137.

12. Мальцев С.Э. Устройство оценки полюса поворота по тангенциальным скоростям конечностей./ С.Э Мальцев., В.В.Голиков. «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні»: Матеріали науково-методичної конференції - (Одеса, 18-19 листопада 2014 року). – Одеса: ОНМА. ВидавІнформ, 2014. – С.172 – 176.

13. Мальцев А.С. Методологические основы разработки информационных систем поддержки принятия решения при маневрировании морских судов./ А.С.Мальцев, В.В.Голиков, С.Э. Мальцев//Сборник материалов 7-й Международной научно – практической конференции (MINTT-2015) 26 – 28 мая 2015 г, г.Херсон. ХДМА.-С 152-157.

14. Голиков В.В. Имитационное моделирование швартовки крупнотоннажного судна к причалу 25 порта Южный. / В.В.Голиков, С.Э. Мальцев

// Матер.конф. «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» 19-20 листопада 2015 р. - Одеса, НУ «ОМА»2016. –С. 119-123.

15. Мальцев С.Е. Способ оценки маневренности судна по положению полюса поворота. / С.Е. Мальцев// Матер. конф. «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» 19-20 листопада 2015 р. - Одеса, НУ «ОМА»2016. –С. 129-133.

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, судноплавання, 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 Міжнародн. наук. - практ. конф., 23-25 травня 2018 р. – Херсон: ДМА, 2018. –С. 64 – 69.

18. Мальцев С.Е. Змістовні моделі системи управління судном при маневруванні. / С.Е.Мальцев.// «Транспортні технології (морський та річковий флот)», науково – технічна конференція, 15-16 листопада 2018 р. –Одеса: НУ «ОМА» 2018. – С. 219 – 224.

19. Мальцев С.Е. Удосконалення інформаційного забезпечення процесу маневрування параметрами стану судна. // «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація», науково – технічна конференція, 14-15 листопада 2019 р. –Одеса: НУ «ОМА» 2019. – С. 129 – 131.

Перелік патентів, які захищають наукову новизну.

20. Патент 91006 UA. МПК(2014.01) G08G 3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення маневрування морського судна. /Голіков В.В., Мальцев С.Е. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2013 04429;

заявлено 25.04.2013; опубліковано 25.06.2014, Бюл. № 12.

21. **Патент** 97227 UA. МПК G08G 3/02 (2006.01), B63B 43/02 (2006.01). Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном. /Мальцев С.Е., Товстокорий О.М., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № u2014 07280; заявлено 27.06.2014; опубліковано 10.03.2015, Бюл. № 5.

22. **Патент** 98720 UA. МПК (2015.01) B63B 21/00 Система інформаційного забезпечення швартування танкера VLCC до моно буя./Деревянко А.А. Мальцев С.Е. П. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2014 10883; заявлено 06.10.2014; опублік. 12.05.2015, Бюл. № 9.

23. **Патент** 100293 UA. МПК G08G 3/00 (2015/01), Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна. / Товстокорий О.М., Мальцев С.Е., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № u 2014 12711; заявл. 26.11.2014; опублік. 27.07.2015, Бюл. № 14.

24. **Патент** 111646 UA. МПК (2016.01) G08G 3/00 Навігаційний пристрій для вибору виду вектора управління рухом./Голіков В.В.,Мальцев С.Е. Заявник національний університет «Одеська морська академія». - № u 2016 02487; заявлено 14.03.2016; опубліковано 25.11.2016, Бюл. № 22.