

УДК 656.61

БЕЗПЕКА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ЛЬДОВИХ УМОВАХ ЛОКАЛЬНО ОБМЕЖЕНОГО ПРОСТОРУ

Габрук Р.А., к.т.н., докторант Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: grostyslav@yahoo.com

У роботі розглянуто питання навігаційної безпеки здійснення динамічного позиціонування рухомого об'єкта водного транспорту в умовах збурень чинників навколишнього середовища з урахуванням льодової обстановки локально обмеженого простору виконання технологічної роботи. Доведено актуальність питань навігаційної безпеки в льодових умовах Чорного та Азовського морів при розробці енергетичних ресурсів шельфу. Розроблено інфологічну модель гарантування безпеки, в фокусі якої є сформована система алгебраїчних нерівностей, що відображає співвідношення між силами і моментами збурень, та силами і моментами керованих реакцій рушійного комплексу. Практичне гарантування безпеки високоточної навігації досягається за рахунок підвищення рівня знань операторів систем динамічного позиціонування в режимі реального часу та у прогнозованому режимі, що має перспективу створення програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень, які можуть бути інтегровані з бортовим багатофункціональним комплексом навігаційного обладнання. Визначено перспективні напрями подальших наукових досліджень.

Ключові слова: система динамічного позиціонування, безпека мореплавства, судноводіння, рухомий об'єкт водного транспорту, льодові умови.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Подальше освоєння ресурсної бази вуглеводнів шельфу Чорного та Азовського морів відіграє провідну роль у становленні енергетичної безпеки України. Процес, що здійснюється на континентальному шельфі, включає розвідку нафтових і нафтогазових родовищ, буріння свердловин, видобуток нафти і попутного газу, трубопровідний транспорт нафти. Для забезпечення цього складного технологічного процесу використовується багато типів рухомих об'єктів водного транспорту (РОВТ). Сучасні РОВТ, що беруть участь у розробці ресурсів континентального шельфу, використовують системи динамічного позиціонування (СДП) під час виконання технологічних робіт у локально обмеженому просторі. За допомогою динамічного позиціонування (ДП) досягається оптимізація реалізації процесу високоточної навігації, що забезпечує високі показники комерційної експлуатації РОВТ. РОВТ з динамічними принципами позиціонування є перспективними типами РОВТ для високоєфективної розробки ресурсів континентального шельфу України.

Навігаційній безпеці при практичній реалізації процесу ДП в локально обмеженому просторі заважають чинники навколишнього середовища, що збурюють керований рух РОВТ.

Вітер, течія, хвилювання намагаються відхилити РОВТ від бажаної траєкторії руху або точки позиціонування. Проте вплив цих факторів прогнозується та відповідна інформація надається оператору системи динамічного позиціонування (ОСДП) у вигляді загальних діаграм [1].

Особливий практичний інтерес представляє коло питань безпеки ДП РОВТ в льодових умовах шельфу Чорного та Азовського морів. Поява льоду на Чорному морі, за винятком деяких ділянок, припадає, зазвичай, на середину грудня – першу половину січня. Причому спершу лід з'являється в гирлах великих річок. На Чорному морі лід переважно місцевого походження. Біля відкритих берегів найчастіше спостерігається дрейфуючий лід. Очищується море від льоду, як правило, у другій половині лютого – на початку березня.

Аномальні льодові режими – неоднаразове явище для Чорного та Азовського морів [2]. Зима 2011 – 2012 років в лютому виявилася однією з найбільш суворих у перші десятиліття ХХІ століття. Замерзла вся Одеська затока Чорного моря, замерз Дунай, було скуто льодом Керченську протоку. Аномальні льодові сезони із загрозою для безпеки

всього мореплавства трапляються в північно-західній частині Чорного моря не рідше одного разу на 10 років.

Суворі зими або окремі суворі зимові місяці на Чорному морі зумовлені постійними вторгненнями холодних мас повітря, так званими хвилями холоду. В різні пори року Чорне та Азовське моря знаходяться під впливом континентальних полярних і морських полярних, тропічних і арктичних повітряних мас. Взимку континентальне полярне повітря проникає на конинентальну частину з холодними сильними північно-східними вітрами. Ці процеси досягають максимуму в січні [3]. Морське полярне повітря потрапляє в акваторію Чорного моря з Атлантичного океану через Західну Європу. Його входження пов'язане з діяльністю циклонів.

Взаємодія льоду з корпусом РОВТ спричиняє до виникнення сил, що намагаються завадити керованому руху в локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи, що пов'язана з ДП. Надійне та безаварійне ДП в льодових умовах гарантує безперервний ефективний видобуток необхідних ресурсів континентального шельфу. Саме тому питання безпеки ДП в льодових умовах є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано вирішення даної проблеми. Проблема ДП в льодових умовах та визначення властивостей льоду відносно молода, як і коло досліджуваних питань загальної льодової навігації.

В даний час відомо багато різних структурних типів льоду, їх фізико-механічні властивості є предметом вивчення провідних закордонних та вітчизняних вчених [4, 5]. Проблема взаємодії льоду з матеріалом корпусу РОВТ та визначення сил також належить до кола важливих питань, що підлягають всебічному вивченню [6].

Класифікація СДП включає в загальному вигляді 3 класи, які побудовано за принципом резервування обладнання згідно з [7]. Класифікаційні товариства до основного класу СДП можуть додавати додаткові символи. З усіх класифікаційних товариств стосовно льодових умов ДП тільки Germanischer Lloyd мала додатковий символ ICE (до об'єднання з Det Norske Veritas). Цей символ міг додаватися до СДП 2 або 3 класу. Для цього необхідно було, щоб РОВТ відповідав технічним вимогам [8]. Проте відсутнім є аналіз поведінки РОВТ в льодових умовах та його можливість здійснювати ДП під час льодових збурень.

Інші класифікаційні товариства висувають вимоги лише до льодового класу для здійснення загальної навігації, окремим випадком якої є ДП. Такий підхід не повною мірою забезпечує врахування процесів, що відбуваються при ДП в льодових умовах, залишаючи проблему оцінки безпеки динамічного позиціонування в льодових умовах відкритою.

Причини також обумовлені відсутністю аналітичних знань фундаментальної закономірності впливу льодової обстановки на безпеку ДП. Тому практично недостатньо повно сформовані інструктивна та методологічна бази для ОСДП стосовно прийняття рішень відносно безпеки ДП в льодових умовах.

Постановка задачі. Метою дослідження є пошук шляхів гарантування безпеки ДП РОВТ в льодових умовах локально обмеженого простору виконання технологічної роботи.

Викладення основного матеріалу дослідження. ДП в льодових умовах має проводитися підготовленими і відповідно класифікованими за конструкцією РОВТ. Характерними особливостями таких РОВТ є посилений набір корпусу, особлива форма носу, особливі «льодові» гвинти, особливе розміщення обладнання, систем та ін. Всі ці конструктивні особливості спрямовані на забезпечення конструктивної безпеки РОВТ та на поліпшення морехідних якостей при здійсненні високоточної навігації в льодових умовах відповідно до додаткового льодового знака до основного символу класу.

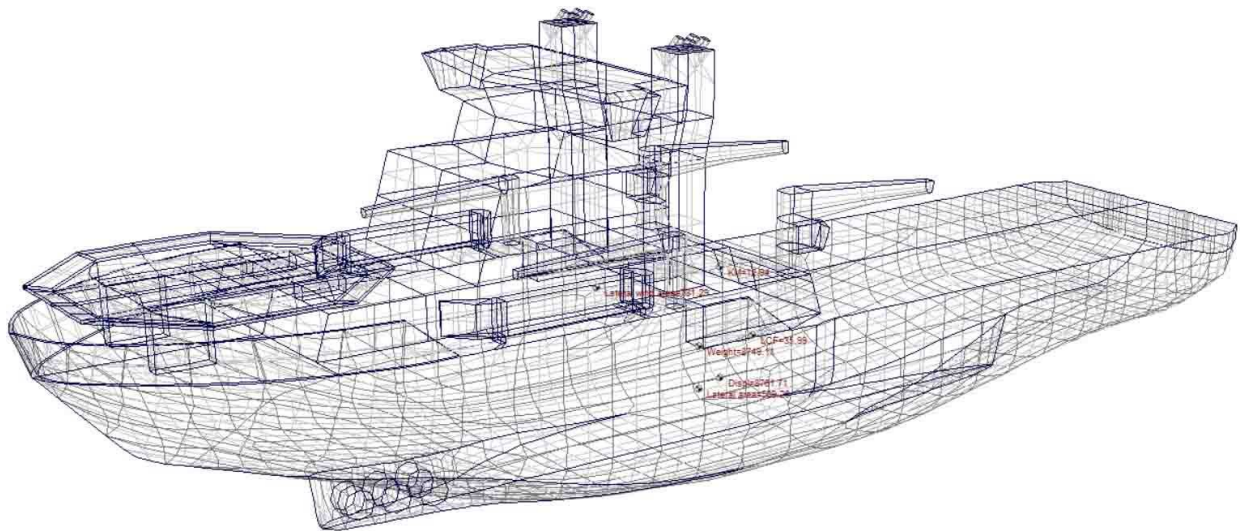


Рисунок 1 – Типовий багатоцільовий РОВТ з динамічними принципами позиціонування для виконання технологічних робіт у льодових умовах

Тільки відповідним чином технічно підготовлені та класифіковані РОВТ можуть виконувати безпечно ДП в льодових умовах. При цьому, ця умова є необхідною, але не є достатньою. Ключовим питанням оцінки безпеки при здійсненні ДП в льодових умовах пропонується прийняти питання оцінки взаємодії корпусу РОВТ і криг, що збуджують керований рух. Інфологічну модель безпечного ДП РОВТ в локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи наведено на рис. 2.

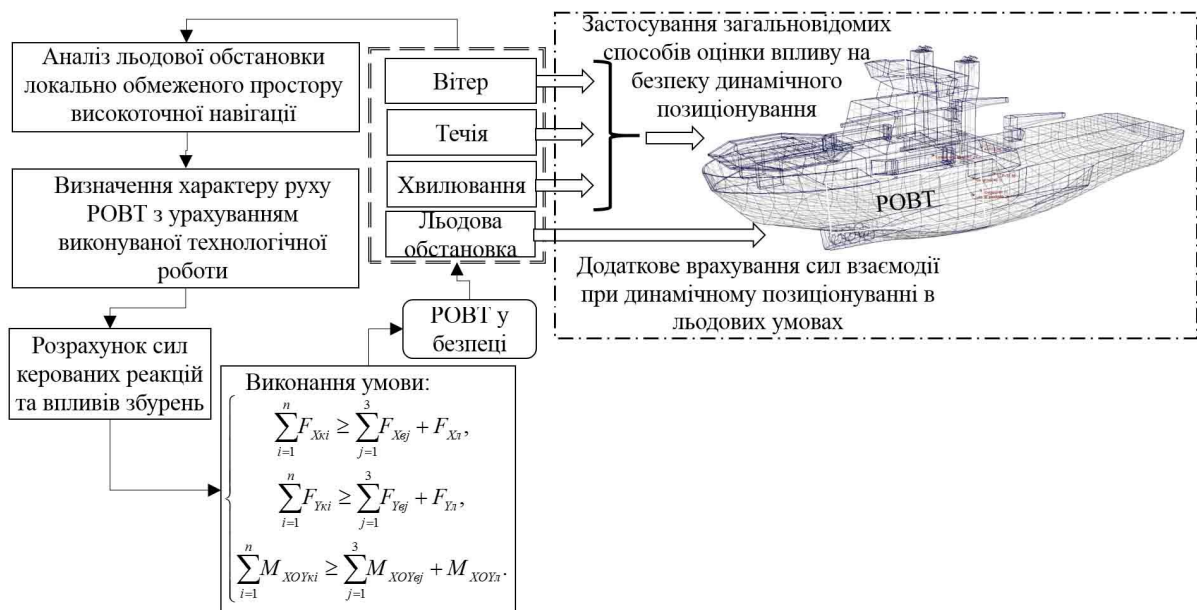


Рисунок 2 – Інфологічна модель безпечного динамічного позиціонування з додатковим урахуванням льодової обстановки локально обмеженого простору виконання технологічної роботи

Для визначення сил льодового впливу необхідно провести всебічний аналіз льодової обстановки локально обмеженого простору здійснення високоточної навігації. Локально обмеженим простором можна прийняти для цілей даного дослідження 500-метрову зону, в якій проходить технологічна робота.

Структура льоду визначається умовами виникнення та формування кристалів, які спочатку утворюються в тонкому поверхневому шарі води локально обмеженого простору. В процесі росту лід набуває неоднорідної блокової будови. За межами блоків

кристалів концентруються сторонні домішки і соляний розчин (цей процес типовий для морського льоду).

Характер руху РОВТ в льодовому полі визначається технологічною роботою, що виконує РОВТ в акваторії навігації. Технологічна робота, що вимагає від РОВТ просування у суцільних льодових полях, викликає взаємодію корпусу РОВТ з кригою, особливістю якої є руйнування крижаного шару носом РОВТ. Серед складових сил опору при русі РОВТ, який є об'єктом керування СДП, в суцільних льодових полях основне значення належить силам, що витрачаються на руйнування крижаного по шару, розсовування і занурення крижин, їх ущільнення, тертя об корпус. Найбільш істотний вплив на зміну стану керованого РОВТ суцільних льодових полях мають товщина і фізичні характеристики крижаного покриву.

Технологічна робота, що вимагає від РОВТ утримання позиції в льодових умовах, не передбачає під час ДП руху скрізь кригу. Проте в умовах льодоходу льодові навантаження матимуть місце. При цьому, якщо дозволяє характер технологічної роботи, курс РОВТ змінюється таким чином, щоб зустрічати криги носовою частиною. При цьому, льодові поля складаються з дрібнобитих криг, які дрейфують з певною швидкістю, збурюючи керований рух. У цих умовах найбільш характерним моментом є розсовування крижин носовим краєм РОВТ. Розламування крижин корпусом практично відсутнє. Сила взаємодії криг з корпусом РОВТ в дрібнобитих крижаних полях локально обмеженого простору зумовлена в основному втратами кінетичної енергії при ударах, а також роботою, витраченою на розсовування і занурення крижин, подолання сил тертя крижин об корпус РОВТ. Найбільш істотний вплив на ДП РОВТ мають розміри (довжина і товщина) крижин, їх згуртованість і стиснення.

ДП в уламках полів і крупнобитих кригах характеризується процесами, притаманними ДП як в суцільних льодових полях, так і в дрібнобитих крижаних полях. Ці фізичні нелінійні процеси відрізняються найбільшою складністю і мають нестационарний характер.

Потенційну небезпеку на просторово-часовому проміжку ДП РОВТ при виконанні технологічної роботи в льодових умовах представляє собою виникнення додаткових «льодових» сил, що збурюють РОВТ.

В класичній постановці питання для досягнення безпеки високоточної навігації РОВТ під час ДП під дією факторів навколишнього середовища необхідне виконання наступних умов:

$$\begin{cases} F_k \geq F_e, \\ M_k \geq M_e, \end{cases} \quad (1)$$

де F_k – сила керованої реакції; M_k – момент керованої реакції; F_e – сила нелінійного впливу, що збурює РОВТ; M_e – момент нелінійного впливу, що збурює РОВТ.

Практичне гарантування рівня безпеки РОВТ, що здійснює ДП у локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи, зводиться до того, що при визначених зовнішніх впливах і чинниках навколишнього середовища навантаження на рушійний комплекс не будуть перевищувати сили засобів активного керування.

При чому на теперішній час при будівництві діаграм, які є засобом оцінки ОСДП можливості безпечного здійснення ДП РОВТ, враховуються тільки сили та моменти, що створюються наступними чинниками навколишнього середовища: течія, вітер та хвилювання [9]. Умову (1) можна переписати наступним чином, враховуючи розкладання сил на осі класичної зв'язаної системи координат РОВТ.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n F_{Xki} \geq \sum_{j=1}^3 F_{Xej}, \\ \sum_{i=1}^n F_{Yki} \geq \sum_{j=1}^3 F_{Yej}, \\ \sum_{i=1}^n M_{XOYki} \geq \sum_{j=1}^3 M_{XOYej}, \end{array} \right. \quad (2)$$

де F_{Xk} , F_{Yk} , F_{Xe} , F_{Ye} – проекції сил керованих реакцій та зовнішніх сил на відповідні осі зв'язаної системи координат; M_{XOYk} , M_{XOYe} – моменти керованих реакцій та збурень в площині XOY; n – кількість рушіїв РОВТ.

Не прийняття до уваги сил льодового збурення може спричинити до невиконання умови (1) та втрати надійного контролю ДП. Тому при оцінці ДП РОВТ необхідно додатково враховувати сили льодової взаємодії, і система (2) матиме фінальний вираз, що відповідає повномірній оцінці можливості безпечного ДП та здійснення технологічної роботи.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n F_{Xki} \geq \sum_{j=1}^3 F_{Xej} + F_{Xl}, \\ \sum_{i=1}^n F_{Yki} \geq \sum_{j=1}^3 F_{Yej} + F_{Yl}, \\ \sum_{i=1}^n M_{XOYki} \geq \sum_{j=1}^3 M_{XOYej} + M_{XOYl}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Виконання умови (3) відповідає безпечному стану проведення ДП в конкретних умовах визначеного локально обмеженого простору. Якщо умову (3) не виконано, то РОВТ перебуває в стані потенційної небезпеки. Втрата надійного контролю ДП при наявності навігаційних небезпек може спричинити аварію. Тому ОСДП має, при наявності такої можливості, провести коректування положення РОВТ відносно головного вектора впливу зовнішніх збурень. У випадку типового РОВТ, який зображено на рис. 1, оптимальним буде таке положення РОВТ, коли головний вектор збурень діє на носову частину. Якщо і при оптимальному положенні умову (3) виконати неможливо, то слід не починати ДП (або негайно зупинити розпочате ДП і покинути локально обмежений простір виконання технологічної роботи). Слід чекати, коли умови локально обмеженого простору зміняться на кращі і зможуть дати можливість безпечно виконувати ДП.

Висновки і перспектива подальших наукових досліджень. Льодова обстановка, яка є актуальною для зимових умов басейнів Чорного та Азовського морів, є одним із загрозливих факторів навколишнього середовища при здійсненні ДП РОВТ і має бути врахована. Згідно з розробленою інфологічною моделлю, навігаційна безпека ДП відповідно класифікованого РОВТ для здійснення технологічної роботи в льодових умовах досягається за рахунок підвищення рівня знань ОСДП стосовно співвідношення сил і моментів збурень, сил і моментів керованих реакцій компонентів рушійного комплексу РОВТ.

Знання фізико-механічних властивостей криг локально обмеженого простору, в якому відбувається процес ДП, має важливе значення при вирішенні завдань, пов'язаних із вивченням сил та моменту зовнішніх збурень. Тому виникає необхідність у подальших дослідженнях і аналізі льодових умов у акваторіях Чорного та Азовського морів.

Інтерес подальших наукових досліджень також полягає у вивченні впливу характеристик корпусу та рушійного комплексу РОВТ на процеси формування керуючих впливів в льодових умовах, що може знайти практичне застосування у створенні перспективних високоточних інтелектуальних програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень ОСДП, які можуть бути інтегровані у бортовий багатофункціональний комплекс навігаційного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. IMCA M 182. International Guidelines for the Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels. – London : IMCA, 2006. – 56 p.
2. Доронин Ю. П. Региональная океанология / Ю. П. Доронин. – Л. : Гидрометеоздат, 1986. – 303 с.
3. Справочник по климату Черного моря / ГУ ГМС при Совете министров СССР, Севастопольское отделение Государственного океанографического института. Под ред. А. И. Соркиной.– М. : Гидрометеоздат, 1974. – 406 с.
4. Богородский В. В. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии : монография / В. В. Богородский, В. П. Гаврило. – Л. : Гидрометеоздат, 1980. – 384 с.
5. Hobbs P.V. Ice Physics / P.V. Hobbs. – Clarendon Press, Oxford, 1974. – 394 p.
6. Calabrese J. S. Frictional Characteristics of Materials Sliding Against Ice / J. S. Calabrese, R. Buxton, G. March // Journ. of the American Society of Lubricating Engineers. – 1980. – Vol. 36. – № 5. – P. 283–289.
7. IMO MSC Circular 645.Guidelines for vessels with dynamic positioning systems. – IMO, London, 1994. – 22 p.
8. Germanischer Lloyd. Rules for Classification and Construction. I Seagoing Ships. – Hamburg, Germanischer Lloyd SE, 2013. – 26 p.
9. IMCA M 140 Rev. 1. Specification for DP Capability Plots. – IMCA, London, 2000. – 17 p.

REFERENCES

1. IMCA M 182. International Guidelines for the Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels. – London : IMCA, 2006. – 56 p.
2. Doronin Y. P. Regional oceanology / Yu. P. Doronin. – L. : Gidrometeoizdat, 1986. – 303 p.
3. Handbook on the climate of the Black Sea / GU HMS under the Council of Ministers of the USSR, Sevastopol Branch of the State Oceanographic Institute. Ed. A. I. Sorkina. – Moscow : Gidrometeoizdat, 1974. – 406 p.
4. Bogorodsky V. V. Ice. Physical properties. Modern methods of glaciology : monograph / V. V. Bogorodsky, V. P. Gavrilov. – L. : Gidrometeoizdat, 1980. – 384 p.
5. Hobbs P. V. Ice Physics / P. V. Hobbs. – Clarendon Press, Oxford, 1974. – 394 p.
6. Calabrese J. S. Frictional Characteristics of Materials Sliding Against Ice / J. S. Calabrese, R. Buxton, G. March // Journ. of the American Society of Lubricating Engineers. – 1980. – Vol. 36. – № 5. – P. 283–289.
7. IMO MSC Circular 645.Guidelines for vessels with dynamic positioning systems. – IMO, London, 1994. – 22 p.
8. Germanischer Lloyd. Rules for Classification and Construction. I Seagoing Ships. – Hamburg, Germanischer Lloyd SE, 2013. – 26 p.
9. IMCA M 140 Rev. 1. Specification for DP Capability Plots. – IMCA, London, 2000. – 17 p.

Габрук Р. А. БЕЗОПАСНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНО ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

В работе рассмотрены вопросы навигационной безопасности осуществления динамического позиционирования подвижного объекта водного транспорта в условиях возмущений факторов окружающей среды с учетом ледовой обстановки локально ограниченного пространства выполнения технологической работы. Доказана актуальность вопросов навигационной безопасности в ледовых условиях Черного и Азовского морей при разработке энергетических ресурсов шельфа. Разработана инфологическая модель обеспечения безопасности, в фокусе которой является сформированная система алгебраических неравенств, которая отражает соотношение между силами и моментами возмущений, силами и моментами управляемых реакций движительного комплекса. Практическое обеспечение безопасности высокоточной навигации достигается за счет повышения уровня знаний операторов систем динамического позиционирования в режиме реального времени и в прогнозном режиме, что имеет перспективу создания программно-аппаратных комплексов поддержки принятия решений, которые могут быть интегрированы с бортовым многофункциональным комплексом навигационного оборудования. Определены перспективные направления дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: система динамического позиционирования, безопасность мореплавания, судовождение, подвижный объект водного транспорта, ледовые условия.

Gabruk R. A. SAFETY OF DYNAMIC POSITIONING IN ICE CONDITIONS OF LOCALLY CONFINED AREA

The paper is dedicated to the safety of navigation during dynamic positioning on mobile water transport object in disturbing conditions of environmental factors in view of ice conditions of locally confined area of technological work performance. The importance was proved for safety of navigational in ice conditions of the Black and Azov seas during energy resources production on continental shelf resources. Infological model was developed, which focuses on formed system of algebraic inequalities, reflecting the ratio between disturbing forces and moments, and forces and moments of controlled reactions by propulsion complex. Practical safety of high precision navigation is achieved by improving knowledge level of the dynamic positioning system operator in real time and the prediction mode that has the prospect of further development decision-making support hardware and software, which can be integrated with the on-board multi-function complex of navigation equipment. Perspective directions for further research were defined.

Keywords: dynamic positioning, safety of navigation, navigation, mobile water transport object, ice conditions.

© Габрук Р.А.

Статтю прийнято
до редакції 02.06.17