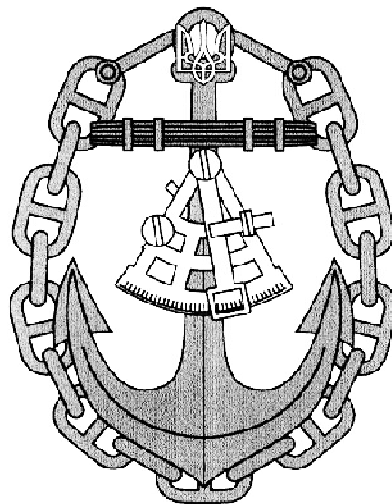


Министерство образования и науки Украины
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «ОДЕССКАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ»

СУДОВОЖДЕНИЕ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ОСНОВАН И ИЗДАЕТСЯ С 2000 ГОДА



Выпуск 28

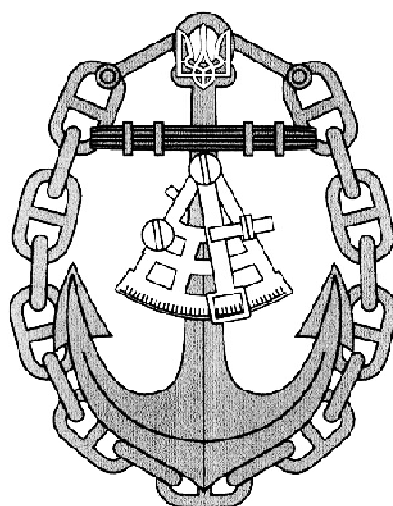
2018

Ministry of education of Ukraine
NATIONAL UNIVERSITY «ODESSA MARITIME ACADEMY»

SHIPPING & NAVIGATION

RESEARCH JOURNAL

FOUNDED & PUBLISHED SINCE 2000



ISSUE 28

2018

В сборнике рассмотрены вопросы судоходства, навигации, управления судном, перевозки грузов и других проблем морского транспорта.

<p>Главный редактор: к. т. н., профессор В. Г. Алексишин</p> <p>Зам. главного редактора: к. т. н., доцент А. Д. Пипченко</p> <p>Редактор: к.т.н., профессор Н.А. Ивасюк</p>	<p>Редакционная коллегия:</p> <p>д.т.н., проф. Л. Л. Вагущенко (Украина); д.т.н., проф. Л. В. Вишневский (Украина); д.т.н., проф. И. И. Гладких (Украина); д.т.н., проф. В. А. Голиков (Украина); д.т.н., проф. Г. В. Егоров (Украина); д.т.н., проф. В. М. Кошевой (Украина); д.т.н., проф. А. С. Мальцев (Украина); д.т.н., проф. М. В. Миусов (Украина); д.т.н., проф. С. А. Михайлов (Украина); д.т.н., проф. Ю. И. Нечаев (Россия); к.т.н., проф. В. Г. Торский (Украина); д.э.н., проф. Л. Л. Николаева (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Цымбал (Украина);</p>
--	---

Утвержден на заседании Ученого совета НУ ОМА 26.10.2017 г., протокол № 3.

В соответствии с постановлением президиума ВАК Украины от 16 декабря 2009 г. № 1-05/6 сборник научных трудов “Судовождение” включен в Перечень научных специальных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание научных степеней доктора и кандидата наук.

ISBN 39.471
УДК 656.61.052
E 89

ISSN 2306-5761

Journal is devoted to problems of shipping, navigation, ship handling, cargo transportation and other marine industry problems.

<p>Chief editor: PhD, professor Victor G. Aleksishin</p> <p>Associate editor: PhD, associate professor Aleksander D. Pipchenko</p> <p>Editor: PhD, professor Nadezhda A. Ivasyuk</p>	<p>Reviewing and editorial board:</p> <p>DSc, professor L. L. Vagushenko (Ukraine); DSc, professor L. V. Vishnevskyy (Ukraine); DSc, professor I. I. Gladkih (Ukraine); DSc, professor V. A. Golikov (Ukraine); DSc, professor G.V. Egorov (Ukraine); DSc, professor V. M. Koshevoy (Ukraine); DSc, professor A. S. Maltsev (Ukraine); DSc, professor M. V. Miyusov (Ukraine); DSc, professor S. A. Mikhailov (Ukraine); DSc, professor Yu. I. Nechayev (Russia); PhD, professor V. G. Torskiy (Ukraine); DSc, professor L. L. Nikolayeva (Ukraine); DSc, professor N. N. Tsymbal (Ukraine);</p>
---	---

Approved at NU OMA research committee meeting 26.10.2017, protocol № 3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Алексишин А. В., Бурмака А. И.

Выбор курса уклонения судна с учетом закона распределения векториальной погрешности 10

Бурмака И. А., Пасечнюк С. С.

Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения 16

Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. А.

Улучшение поддержки решений по предупреждению столкновений 24

Власенко Е. А., Цымбал Н. Н.

Некоторые особенности составления грузового плана контейнеровозов 35

Ворохобин И. И., Алексишин В. Г., Фусар И. Ю.

Универсальный способ стохастического описания случайных погрешностей навигационных измерений 42

Гайченя А. В.

Оперативная оценка мореходности судна имитационным моделированием его загрузки 48

Дворецкий В. А., Шишкин А. В., Шишкин С. А.

Линейная аппроксимация маршрута маневрирования при использовании натуральных алгоритмов оптимизации 56

Казак Ю. В., Калиниченко Г. Е.

Учет динамических моделей вращательного движения судна при обеспечении безопасности судовождения 63

Камєнєва А. В., Камєнєв К. І.

Використання адитивного алгоритма для розміщення небезпечних вантажів на контейнерному судні 70

Кошевой В. М., Шевченко А. А.

Использование сверхширокополосной техники для задач морской радиолокации 78

Кривой А. Ф., Миюсов М. В.

Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа 88

Кулаков М. А., А. Ю. Козаченко, В. В. Степаненко

Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения 103

Омельченко Т. Ю., Калюжный В. В., Бородулин А. В.

Формы истинной и относительной траекторий расхождения судна 109

Петриченко Е. А., Петриченко О. А.

Разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений..... 120

Петров И. М.

Совершенствование информационных процессов в сервисных эргатических системах на основе баз данных 131

Пипченко А. Д., Копанский С. В., Шевченко В. А.

Математическое моделирование динамики контейнеровоза класса ulcs по результатам испытаний 141

Пятаков Э. Н., Пятаков В. Э., Станкевич К.Я.

Согласование маневров расхождения нескольких судов 152

Райнов А. О., Бобыр В. А.

Неопределенность измерений в судовых эргатических функциях 159

Сандлер А. К., Дрозд О. В.

Суднова система зважування контейнерів 176

Сандлер А. К., Дрозд О. В.

Гідростатична система для операцій з надважкими вантажами 183

Сандлер А. К., Цюпко Ю. М.

Пристрій для запобігання зсуву вантажів у трюмі..... 189

Северин В. В.

Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом..... 196

Сикирин В. Е.

Влияние закона управления движением судна по курсу на точность судовождения 202

Соколенко В. И., Мальцев С. Е., Мальцев А. С.

Навигационное устройство пересчета координат спутниковой антенны судна на центр тяжести 210

Удолатій В. Б., Удолатій А. Є.

Комп'ютерне моделювання показників оцінки ефективності інвестиційних проектів..... 222

Чапчай П. А., Алексейчук М. С.

Способ выбора маневра уклонения судна для безопасного расхождения..... 228

Ярмолович Ю. Р.

Перспективы возрождения речного судоходства в Украине..... 236

Рефераты..... 245

CONTENTS

<i>A. V. Aleksichin, A. I. Burmaka</i> Choice of course of deviation of ship taking into account law of distributing of vector's error	10
<i>I.A. Burmaka, PhD, S.S. Pasechnyuk</i> Formalization of region of dangerous courses and speeds of vessels with their external process control of passing by	16
<i>L. L. Vagushchenko, A. A. Vagushchenko</i> Enhancement of support for collision avoidance decisions	24
<i>Ye. A. Vlasenko, N. N. Tsymbal</i> Some features of drafting of cargo plan of containership	35
<i>I. I. Vorokhobin, V.G. Aleksichin, I. Y. Fusar</i> Universal method of stochastic description of random error terms of navigation measurings	42
<i>A. V. Gaychenya</i> Operative estimation of seaworthiness of ship by imitation design of his loading	48
<i>V. Dvoretzky, O. Shyshkin, S. Shyshkin</i> Linear approximation of the maneuvering route by using of natural algorithms of optimization	56
<i>Y. V. Kazak, G. E. Kalinichenko</i> Ship dynamic rotary motion models for navigational safety research	63
<i>A. Kamieniava, K. Kamieniev</i> By additive algorithm for disposition of dangerous goods on container ship	70
<i>V. Koshevyy, A. Shevchenko</i> The use of ultra wideband technique's for marine radiolocation's tasks	78
<i>O.F. Kryvyi, M.V. Miyusov</i> Mathematical models of hydrodynamic characteristics of the ship's propulsion complex for any drift angles	88
<i>M. A. Kulakov, A.Yu. Kozachenko, V.V. Stepanenko</i> Hybrid control system by cooperation of vessels in situation of their dangerous rapprochement	103
<i>T. Y. Omelchenko, V.V. Kaliuzhniy, A.V. Borodulin</i> Shapes of true and relative trajectories of ships' passing by	109

Y. A. Petrychenko, O.A. Petrychenko

Development of ship informative collision avoidance system 120

I. M. Petrov

Improvement of information processes in the service ergatic systems on the basis of databases..... 131

O. Pipchenko, S. Kopanskiy, V. Shevchenko

Mathematical modeling of an ultra large container vessel using sea trials results... 141

E. N. Pjatakov, V.E. Pjatakov, K.Ya. Stankevich

Coordination of manoeuvres of a few vessels' passing..... 152

O. O. Raynov, V. O. Bobyr

Uncertainty of measurement in ship's ergative functions 159

A. K. Sandler, O. V. Drozd

Shipboard weighing system of containers 176

A. K. Sandler, O. V. Drozd

Hydrostatic system for operations with heavy cargo 183

A. K. Sandler, Y. M. Tsupko

Device for prevention of shear cargo in hold..... 189

V. V. Severin

comparison of models of probability estimation of navigating/piloting the ship by the congested route..... 196

V. E. Sikirin

Impact of law of ship's traffic control of ship's course on accuracy of navigation 202

V. Sokolenko, S.E. Maltsev, A.S. Maltsev

The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity 210

V.B. Udolatiy, A.E. Udolatiy

Computer modeling of indicators of evaluating the effectiveness of investment projects 222

P.A. Chapchay, M.S. Alekseychuk

Method of choice of manoeuvre of deviation of ship for safe divergence 228

Y. Yarmolovich

The prospects of revival of river navigation in Ukraine..... 236

Abstract..... 245

УДК 656.61.052.484

CHOICE OF COURSE OF DEVIATION OF SHIP TAKING INTO ACCOUNT LAW OF DISTRIBUTING OF VECTOR'S ERROR**ВЫБОР КУРСА УКЛОНЕНИЯ СУДНА С УЧЕТОМ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕКТОРИАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ**

A.V. Aleksichin, PhD, associate professor, A.I. Burmaka, PhD, associate professor, A.R. Tsagikyan, assistant

А.В. Алексишин, к.т.н., доцент, А.И. Бурмака, к.т.н., доцент, А.Р. Цагикян, ассистент

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

In the article dependence of circular safe region of ship is explored on the law of distributing of probability of position vector's error, which influences on the size of course of deviation of ship at his divergence with a dangerous target. It is presently offered more ten different forms of safe region of ship, although the safe region of ship of circular form is most often used. Therefore, this form of safe region from positions of dependence of its sizes from the closeness of law of distributing of position vector's error is considered in the article. Its radius is dipping out description of circular safe region of ship, which is evened maximum - possible distance of the shortest rapprochement, which, as shown in work, is the sum of two constituents of different on the nature. First component determined which depends on the sizes of ship and other determined factors. The second constituent is stochastic and it is simply determined by the law of distributing of probability of position vector's error, basic description of which there is matrix of its constituents.

The radius of stochastic constituent of circular safe region of ship gets out thus, that probability of hit of veritable place of ship in a region was near to 1, on condition that the center of circular safe region coincides with the place of ship. In other words, a circular region with a center in position must cover the veritable place of ship with probability near to 1. In work for implementation of this condition worked out an integral equation, in which in quality an unknown variable there is the radius of circular safe region of ship. So as in equalization an integral is certain, and a radius is in limits integration, integral equalization is regenerate to expression in the type of sum that allows defining the size of radius by the method of progressive approximations.

It is shown that the radius of circular safe region of ship depends on dispersions of constituents of position vector's error, which are determined by the scale parameter of law of distributing, and in the case of distributing of position vector's error on the mixed law of the first or second type on the size of radius the substantial parameter of law of distributing influences also.

Keywords: safety of navigation, safe region of ship, position vector's error.

РЕФЕРАТ

В статті досліджено залежність кругової безпечної області судна від закону розподілу вірогідності позиційної векторіальної похибки, що впливає на величину курсу ухилення судна при його розходженні з небезпечною ціллю. Нині запропоновано більш десяти різних форм безпечної області судна, хоча найбільш часто використовується безпечна область судна кругової форми. Тому в статті розглянута ця форма безпечної області з позицій залежності її розмірів від двомірної щільності закону розподілу позиційної векторіальної похибки. Вичерпуючою характеристикою кругової безпечної області судна є її радіус, що дорівнює гранично - допустимій дистанції найкоротшого зближення, яка, як показано в роботі, являється сумою двох складових різних за своєю природою. Перша складова детермінована, яка залежить від розмірів судна та інших детермінованих чинників. Друга складова є стохастичною і вона однозначно визначається законом розподілу вірогідності позиційної векторіальної похибки, основною характеристикою якої являється коваріаційна матриця її складових.

Радіус стохастичної складової кругової безпечної області судна вибирається таким чином, щоб вірогідність попадання істинного місця судна в область була близькою до одиниці, при умові, що центр кругової безпечної області співпадає з обсервованим місцем судна. Іншими словами, кругова область з центром в обсервованій позиції повинна накривати істинне місце судна з вірогідністю близькою до одиниці. В роботі для виконання цієї умови складене інтегральне рівняння, в якому в якості невідомої змінної міститься радіус кругової безпечної області судна. Так як в рівнянні інтеграл є визначений, а радіус знаходиться в межі інтегрування, то інтегральне рівняння перетворено до виразу в вигляді суми, що дозволяє визначити величину радіусу методом послідовних наближень.

Показано, що радіус кругової безпечної області судна залежить від дисперсій складових позиційної векторіальної похибки, які визначаються масштабним параметром закону розподілу, а в разі розподілу позиційної векторіальної похибки по змішаному закону першого або другого типу на величину радіусу впливає також істотний параметр закону розподілу.

Ключові слова: безпечність судноводіння, безпечна область судна, позиційна векторіальна похибка.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Для обеспечения безаварийного плавания судна используется безопасная область, в которой находится судно, причем в эту область не должны попадать другие объекты во избежание аварийных происшествий. При выборе безопасного курса уклонения судна учитывается радиус круговой безопасной области судна, размеры которой определяются законом распределения

векториальной погрешности. Поэтому анализ зависимости курса уклонения судна для безопасного расхождения с целью в зависимости от закона распределения векториальной погрешности является актуальным вопросом исследования проблемы безопасности судовождения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Вопросу построения судовой безопасной области посвящены многие работы, причем стандартным описанием такой области является круг, в центре которого находится судно, а радиусом является предельно-допустимая дистанция сближения.

Однако в ряде работ предлагается другая форма судовой безопасной области риска столкновения. Так, в работе [1] в качестве критерия безопасности предлагается «область столкновения», под которой имеется в виду некоторая область по направлению движения судна.

В работе [2] область навигационной безопасности описана эллипсом, которая используется в автоматизированной радиолокационной системе. При этом кривая, которая ограничивает зону, описывается из центра тяжести судна радиусом переменной длины, который зависит от длины судна, его скорости и курсового угла радиуса.

Процедура расчета большой оси эллипса зоны навигационной безопасности, как «динамической длины судна» и малой оси эллипса, как «динамической ширины судна» для плавания в портовых водах предложена в работе [3], причем оба параметра зависят от длины и ширины судна, его скорости и протяженности тормозного пути. В работе [4] рассмотрены более десяти применяемых в настоящее время форм судового домена опасности (безопасной области судна).

Формулировка целей статьи (постановка задачи) Целью статьи является анализ влияния закона распределения векториальной погрешности судна на размеры его круговой безопасной области и на курс уклонения при расхождении с опасной целью.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [5] для оценки опасной области различной формы предлагается определить граничные размеры области D , в которой препятствие находится в области с заданной вероятностью P_d , близкой к единице.

Поэтому размеры области D заданной формы вычисляются путем решения уравнения:

$$\iint_D f(x, y) dy dx = P_d, \quad (1)$$

где $f(x, y)$ - двумерная плотность распределения векториальной позиционной погрешности.

Для описания случайных погрешностей навигационных измерений применяется распределение Гаусса, двумерная плотность которого имеет вид:

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

где σ_x и σ_y - средние квадратические отклонения векториальной погрешности соответственно по осям x и y , причем $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ и $\sigma_y = \sqrt{D_y}$.

Поэтому выражение (1) принимает вид:

$$\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \iint_D \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] dydx = P_d. \quad (2)$$

Очевидно, для решения выражения (2) следует использовать численные методы. Рассмотрим способ решения выражения (2) для случая, когда безопасная область судна имеет форму круга, причем судно находится в центре области. В этом случае выражение (2) записывается в виде:

$$\frac{4}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \int_0^{R_{st}} \int_0^{\sqrt{R_{st}^2 - x^2}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] dydx = P_d,$$

или для численного интегрирования:

$$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{\sigma_x^2} + \frac{j^2}{\sigma_y^2}\right)\right] = \frac{P_d}{A}, \quad (3)$$

где $A = \frac{4}{2\pi\sigma_x\sigma_y}$.

В уравнении (3) необходимо найти значение R_{st} , для чего следует применить метод последовательных приближений. Так как $P_d \approx 1$, то для нормального распределения начальное приближение для R_{st} следует выбрать немножко меньше 3σ , где σ принимает значение меньшего из с.к.о. σ_x и σ_y .

Если векториальная погрешность подчинена смешанному закону распределения первого типа, то ее плотность распределения выражается следующим образом [6]:

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

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

Расчет определяющего параметра R_{st} для стохастической области круговой формы производится с помощью следующего выражения:

$$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sqrt{R_{st}^2 - i^2} \sum_{j=0}^{R_{st}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}} = \frac{1}{4A_x A_y} P_d.$$

В случае распределения векториальной погрешности по смешанному закону второго типа с плотностью [6]:

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

$$\text{где } B_x = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha_x^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \quad \text{и} \quad B_y = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha_y^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \quad \text{расчет параметра}$$

R_{st} производится с помощью выражения:

$$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sqrt{R_{st}^2 - i^2} \sum_{j=0}^{R_{st}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}} = \frac{1}{4B_x B_y} P_d.$$

После определения радиуса стохастической области R_{st} предельно-допустимая дистанция сближения судна с целью d_d находится из выражения:

$$d_d = R_{st} + R_{det},$$

где R_{det} - радиус детерминированной области, зависящий от габаритов судна и других детерминированных факторов. Используя полученное значение d_d , безопасный относительный курс K_{oty} находится с помощью формулы [6]:

$$K_{oty} = \alpha \pm \arcsin(d_d/D),$$

где α и D - соответственно пеленг и дистанция между судном и целью.

Искомое значение курса безопасного уклонения определяется по известной зависимости [6]:

$$K_y = K_{oty} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oty} - K_c)],$$

где $\rho = V_1/V_2$ и V_1, V_2 - соответственно скорости судна и цели.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в статье проведен анализ влияния закона распределения позиционной векториальной погрешности судна на размеры его круговой безопасной области, которая определяет курс уклонения судна при расхождении с целью в ситуации опасного сближения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lamb W. G. P. Calculation of the geometry of ship collision zones / Lamb W. G. P. // *The Journal of Navigation*. – 1989. – 42, № 2. – P. 298 - 305.
2. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship Domains / Goodwin E. M. // *The Journal of Navigation*. – 1975. - 28, № 3. - P. 328 – 341.
3. Погосов С.Г. Береговые системы управления движением судов/ Погосов С.Г., Москвин Г.И. – М.: Судовождение и связь, 1976. – 54 с.
4. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Вагущенко Л.Л. – Одесса: Феникс, 2013. - 180 с.
5. Якушев А. О. Выбор оптимальной формы судовой безопасной зоны/ Якушев А. О. // *Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА*, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013 - С.157-162.
6. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

УДК 656.61.052.484

**FORMALIZATION OF REGION OF DANGEROUS COURSES
AND SPEEDS OF VESSELS AT EXTERNAL THEIR PROCESS
CONTROL OF DIVERGENCE****ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОБЛАСТИ ОПАСНЫХ КУРСОВ И
СКОРОСТЕЙ СУДОВ ПРИ ВНЕШНЕМ УПРАВЛЕНИИ ИХ
ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ****I.A. Burmaka**, *PhD, associate professor*, **S.S. Pasechnyuk**, *PhD student***И.А. Бурмака**, *к.т.н., доцент*, **С.С. Пасечнюк**, *аспирант**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

The method of forming of impermissible region of courses of one ship and speeds of other ship is offered for estimation of no unconcern of situation of rapprochement and choice of safe maneuver of divergence. A case is considered, when speed of ship which changes direction, more large to speed of other ship, that maneuvers.

The region of impermissible courses of one ship and speeds of other ship is considered in this case, at united which distance of the shortest rapprochement more small on a size from maximum - possible distance, that rapprochement of ships is dangerous. It is considered principle of forming of such region, coming that from that its border is formed by points which meet condition of equality distance of the shortest rapprochement and maximum - possible distance.

It is shown that on the intervals of change of course of the first ship, which can be larger direct corner, the values of speed of the second ship for both scopes grow droningly. In work there is the got graphic interpretation of the offered region of impermissible courses of one ship and speeds of other ship for the case of the considered correlation of speeds of ships which are dangerously drawn together. The mentioned region is contained between two scopes which do not intersect. Points between scopes answer courses and speeds of ships, at which distance of the shortest rapprochement of more small after maximum - possible distance, that characterizes dangerous rapprochement of ships. Therefore, if a point with the initial parameters of motion of ships is between the first and second scopes, that it belongs to the region of impermissible courses of one ship and speeds of other ship, rapprochement of ships is dangerous. At that rate for safe divergence of ships it is needed to choose the parameters of deviation of ships, that course and speed thus, that a point proper to them was on the border of region of impermissible courses of one ship and speeds of other ship the nearest to the initial point and distance between the mentioned points was minimum.

Thus, in work analytical expressions are got for the calculation of scopes of region of impermissible courses of one ship and speeds of other ship, that is dangerously

drawn together, and also the offered procedure of estimation of unconcern of rapprochement.

Keywords: safety of navigation, maneuver of divergence of vessels by the change of course and speed, impermissible region of parameters of motion of vessels.

РЕФЕРАТ

Запропоновано спосіб формування недопустимої області курсів одного судна і швидкостей іншого судна для оцінки небезпечності ситуації зближення та вибору безпечного маневру розходження. Розглянуто випадок, коли швидкість судна, яке міняє курс, більша швидкості іншого судна, що маневрує.

В даному випадку розглянуто область недопустимих курсів одного судна і швидкостей іншого судна, при поєднанні яких дистанція найкоротшого зближення менша по величині від гранично - допустимої дистанції, тобто зближення суден являється небезпечним. Розглянуто принцип формування такої області, виходячи з того, що її межі утворюють точки, які задовольняють умові рівності дистанції найкоротшого зближення та гранично - допустимої дистанції.

Показано, що на інтервалах зміни курсу першого судна, які можуть бути більші прямого кута, значення швидкості другого судна для обох меж монотонно зростають. В роботі одержана графічна інтерпретація запропонованої області недопустимих курсів одного судна і швидкостей іншого судна для випадку розглянутого співвідношення швидкостей суден, які небезпечно зближуються. Згадана область міститься між двома межами, які не перетинаються. Точки між межами відповідають курсам і швидкостям суден, при яких дистанція найкоротшого зближення менша за гранично - допустиму дистанцію, що характеризує небезпечне зближення суден. Тому, якщо точка з початковими параметрами руху суден знаходиться між першою ~~Ошибка! Ошибка связи.~~ і другою межами, тобто належить області недопустимих курсів одного судна і швидкостей іншого судна, то зближення суден небезпечне. В такому разі для безпечного розходження суден потрібно вибрати параметри ухилення суден, тобто курсу і швидкості таким чином, щоб відповідна їм точка знаходилась на найближчій до початкової точки межі області недопустимих курсів одного судна і швидкостей іншого судна і відстань між згаданими точками була мінімальною.

Таким чином, в роботі одержано аналітичні вирази для розрахунку меж області недопустимих курсів одного судна і швидкостей іншого судна, що небезпечно зближуються, а також запропонована процедура оцінки безпечності зближення.

Ключові слова: безпечність судноводіння, маневр розходження зміною курсу і швидкості, неприпустима область параметрів руху суден.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Обеспечение безопасности судовождения при плавании судов в стесненных водах является важнейшей проблемой повышения безопасности мореплавания. В настоящее время стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов, назначением которых является контроль процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. В связи с этим разработка способов управления опасно сближающимися судами является актуальным научным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Принцип внешнего управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения рассмотрен в работе [1], а работы [2, 3] посвящены вопросам применения опасных областей параметров движения судов для их безопасного расхождения, причем в работе [2] рассмотрено использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения, а в работе [3] предложен маневр расхождения судов изменением их скоростей.

Формулировка целей статьи

Целью данной статьи является формализация способа формирования области курсов одного судна и скоростей другого судна для оценки опасности ситуации сближения и выбора безопасного маневра расхождения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [2] рассмотрен способ формирования области опасных курсов пары сближающихся судов, с помощью которого возможна оценка степени опасности ситуации сближения и выбора маневра расхождения судов изменением их курсов при постоянных скоростях. Способ расчета границ области опасных скоростей, позволяющий определить маневр расхождения судов изменением их скоростей при неизменных курсах, предложен в работе [3]. Однако возможности безопасного расхождения опасно сближающихся судов возрастают при использовании еще одного типа расхождения, при котором одно из судов изменяет курс, сохраняя неизменной скорость, а второе судно на постоянном курсе может снижать свою скорость. В указанном случае необходимо рассмотреть область опасных курсов одного судна и скоростей другого судна, при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. сближение судов является опасным. Рассмотрим принцип формирования такой области, которую обозначим Ω_{KV} . Очевидно, что границу области Ω_{KV} на плоскости $K_1 \times V_2$ составляют точки (K_1, V_2) , удовлетворяющие условию $\min D(K_1, V_2) = d_d$.

Аналитически это выражается следующим образом. Из выражения для $\min D$ [4] получим:

$$K_{ot} = \alpha \mp \arcsin\left(\frac{d_d}{D}\right),$$

поэтому справедливо равенство:

$$\operatorname{tg}K_{ot} = \operatorname{tg}\left[\alpha \pm \arcsin\left(\frac{d_d}{D}\right)\right].$$

Обозначаем $\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin\left(\frac{d_d}{D}\right)$, следовательно,

$$\operatorname{tg}K_{ot} = \operatorname{tg}\gamma^{(1,2)}.$$

Учитывая [4],

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}K_{ot} &= \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2}, \quad \text{получим} \\ \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} &= \frac{\sin \gamma^{(1,2)}}{\cos \gamma^{(1,2)}}, \end{aligned} \quad (1)$$

откуда записываем зависимость между курсом одного судна K_1 и скоростью другого судна V_2 , удовлетворяющим условию $\min D = d_d$.

Выражение (1) принимает следующий вид:

$$\sin K_1 \cos \gamma^{(1,2)} - \cos K_1 \sin \gamma^{(1,2)} = \frac{V_2}{V_1} (\sin K_2 \cos \gamma^{(1,2)} - \cos K_2 \sin \gamma^{(1,2)}), \quad \text{или}$$

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1} V_2.$$

$$\text{Если обозначить } \mu^{(1,2)} = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}, \text{ то } V_2^{(1,2)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}}.$$

Следовательно, существует две границы, на которых достигается равенство $\min D = d_d$:

$$\begin{aligned} V_2^{(1)} &= \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1)})}{\mu^{(1)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})], \\ V_2^{(2)} &= \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(2)})}{\mu^{(2)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]. \end{aligned} \quad (2)$$

Так как рассматриваем изменение скорости торможением, то значения скоростей $V_2^{(1,2)}$ должны удовлетворять условию $V_{2n} > V_2^{(1,2)} \geq 0$, где V_{2n} - начальная скорость судна.

Рассмотрим, какие значения курса K_1 соответствуют граничным значениям 0 и V_{2n} скорости $V_2^{(1,2)}$. Прежде всего, отмечаем, что границы не могут быть определены для ситуации, когда $K_2 = \alpha \pm \arcsin \frac{d_d}{D}$. Очевидно, из уравнений границ (2):

$$K_1(V_2^{(1,2)} = 0) = \alpha \mp \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1,2)}.$$

Для определения второго значения $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ рассмотрим уравнение:

$$V_2^{(1,2)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}} \text{ и подставляем } V_2^{(1,2)} = V_{2n}:$$

$$V_{2n} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}}, \text{ откуда}$$

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)}), \text{ поэтому}$$

$$K_1 = \gamma^{(1,2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})\right], \text{ или}$$

$$K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n}) = \gamma^{(1,2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})\right].$$

В случае $V_1 > V_{2n}$ существуют значения $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ для обеих границ, а если $V_1 < V_{2n}$, то необходимо учитывать соотношения между величиной $\gamma^{(1,2)}$ и экстремальными относительными курсами K_{otmax} и K_{otmin} .

Рассмотрим случай, когда $V_1 > V_{2n}$ и находим граничные значения курса первого судна:

$$K_1(V_2^{(1)} = 0) = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1)};$$

$$K_1(V_2^{(2)} = 0) = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(2)};$$

$$K_1(V_2^{(1)} = V_{2n}) = \gamma^{(1)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)})\right];$$

$$K_1(V_2^{(2)} = V_{2n}) = \gamma^{(2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)})\right].$$

Введем обозначения:

$$K_{1\min}^{(1)} = K_1(V_2^{(1)} = 0), \quad K_{1\min}^{(2)} = K_1(V_2^{(2)} = 0),$$

$$K_{1\max}^{(1)} = K_1(V_2^{(1)} = V_{2n}), \quad K_{1\max}^{(2)} = K_1(V_2^{(2)} = V_{2n}).$$

С учетом принятых обозначений:

$$K_{1\min}^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1)},$$

$$K_{1\min}^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(2)},$$

$$K_{1\max}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)})\right],$$

$$K_{1\max}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)})\right].$$

Обращаем внимание, что изменение скорости второго судна V_2 на участке $V_2 \in (0, V_{2n})$ для первой границы происходит на участке курсов $K_1 \in (K_{1\min}^{(1)}, K_{1\max}^{(1)})$, т. е. на интервале $\Delta K_1^{(1)} = K_{1\max}^{(1)} - K_{1\min}^{(1)}$ или с учетом полученных выражений $\Delta K_1^{(1)} = \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)})\right]$. Аналогично для второй границы: $K_1 \in (K_{1\min}^{(2)}, K_{1\max}^{(2)})$ и $\Delta K_1^{(2)} = \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)})\right]$.

Заметим, что интервалы $\Delta K_1^{(1)}$ и $\Delta K_1^{(2)}$ меньше $\pi/2$, поэтому на этих интервалах значение скорости V_2 для обеих границ монотонно возрастает. С учетом полученных результатов область Ω_{KV} опасных параметров курса одного судна и скорости второго судна, заключенная между первой G_{1KV} и второй G_{2KV} границами для случая $V_1 > V_{2n}$ выглядит, как показано на рис. 1. Поэтому, если точка с начальными параметрами движения судов

$M_n(K_{n1}, V_{2n})$ находится между первой **Ошибка! Ошибка связи.** и второй G_{2KV} границами, т. е. $(K_{n1}, V_{2n}) \in \Omega_{KV}$, то имеет место неравенство $\min D(K_{n1}, V_{2n}) < d_d$, и сближение судов является опасным. В этом случае необходимо выбрать параметры уклонения судов K_{1y} и V_{2y} таким образом, чтобы соответствующая им точка $M_y(K_{1y}, V_{2y})$ находилась на ближайшей к точке $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ границе области Ω_{KV} и расстояние между точками M_n и M_y было минимальным, как показано на рис. 1.

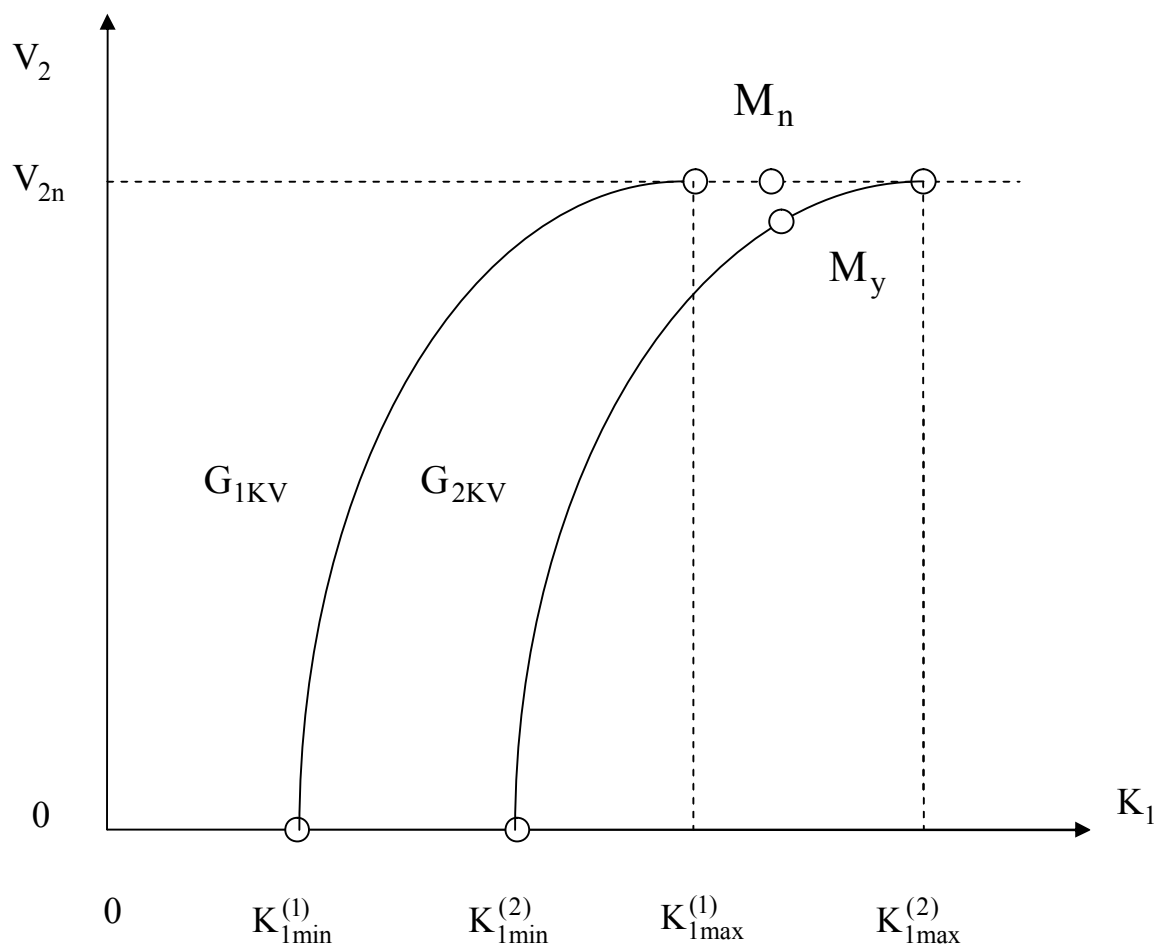


Рис. 1. Область Ω_{KV} опасных параметров судов

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в данной статье предложен способ формирования области курсов одного судна и скоростей другого судна для оценки опасности ситуации сближения и выбора безопасного маневра расхождения. В дальнейшем целесообразно рассмотреть ситуацию, когда скорость судна, изменяющего курс, больше скорости своего партнера по опасному сближению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения// Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 35-40.
2. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20). – С. 12 – 17.

3. Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 112-118.
4. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

УДК 656.61.052

ENHANCEMENT OF SUPPORT FOR COLLISION AVOIDANCE DECISIONS**УЛУЧШЕНИЕ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ СТОЛКНОВЕНИЙ**

L.L. Vagushchenko¹, *DSc, professor*, **A.A. Vagushchenko²**, *2nd Officer*
Л.Л. Вагущенко¹, *д.т.н., профессор*, **А.А. Вагущенко²**, *2-й помощник капитана*

¹*National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine*

¹*Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна*

²*SC «V.Ships (Ukraine)»*

²*ДП «В.Шипс (Україна)»*

ABSTRACT

The questions of perfection of onboard systems for avoiding collisions, the place of such system in the ship's motion control system and the ways of its transformation into the Collision Avoidance Support System (CASS) are covered. This transformation in particular includes the definition of the main tasks of the CASS, the composition of its information provision, the criteria for the quality of collision avoidance manouvers, the development of methods for drawing up recommendations on safe passage by ships.

The list of tasks to be solved by the CASS, the composition of databases and knowledge bases of its information provision, the constitution of vessel's static and dynamic information, which is needed to develop recommendations, are specified and a form for economical representation of this information in the form of a matrix is proposed.

One of the possible effectiveness criteria for evasive manouvers is examined, and one of the options for formally taking into account the requirements of COLREG-72 for safety, timeliness, decisiveness, and economy of actions for avoiding collisions is considered.

Information support tools are highlighted to facilitate the selection of effective combined two-step manouvers (CTM) for safe passing by several vessels in the dialogue mode of the operator with the system. For this purpose, it is proposed to use two representational models of situations. The basis of the first of them is the marks that reflect the limitations of targets on the CTM. When they are used, the CTM with the intended values of the parameters is selected by indicating by the cursor the defining point of this manouver. CTM is safe when its trajectory does not intersect any of the mentioned marks. The second model is intended to simplify the selection

of CTM with a known beginning. It is based on the areas of the defining points of safe CTM in relation to all targets and the linear intervals of such CTM with the shortest distance from the own ship route. In addition, to simplify the choice of the parameters of the first operation of the CTM, it is recommended to display at the periphery of the screen of the system the polar diagram of safe velocity vectors that correspond to the start point of manouver. Getting this diagram is based on the known method of calculating of dangerous relative courses sectors of targets.

It is shown that the parameters of an effective CTM with a given angle of return to the route of a voyage can be found by the method of enumerating the variants of this manouver with the defining points belonging to their admissible set. The composition of information that can serve as a justification for recommended by the system evasive strategy is determined.

The practical use of collision avoidance tools offered in the article can help the OOW to choose an effective plan for safe passing by the targets in difficult conditions.

Keywords: collision prevention, decision support, maneuvers quality.

РЕФЕРАТ

Висвітлено питання вдосконалення бортових систем для уникнення зіткнень, місце такої системи в системі управління рухом судна і шляхи її перетворення в систему підтримки рішень по розходженню з цілями (СПРР). Це перетворення, зокрема, включає визначення основних завдань СПРР, складу її інформаційного забезпечення, критеріїв якості маневрів із запобігання зіткнень, розробку методів вироблення рекомендацій по розходженню та їх обґрунтування.

Уточнено перелік завдань, які вирішує СПРР, склад баз даних і баз знань її інформаційного забезпечення, встановлена статична і динамічна інформації про судна, яка потрібна для вироблення рекомендацій по розходженню, і запропонована форма для її економного представлення у вигляді матриці.

Розглянуто один з можливих критеріїв ефективності для стратегій розходження і один з варіантів формального урахування при його використанні вимог МППСС-72 до безпеки, завчасності, впевненості, економності дій для уникнення зіткнень.

Висвітлено інструменти інформаційної підтримки для полегшення вибору ефективних комбінованих двох крокових маневрів (КДМ) розходження з декількома суднами в режимі діалогу оператора з системою. Для цієї мети запропоновано використовувати дві образотворчі моделі ситуацій. Основою першої з них є мітки, що відображають обмеження «цілей» на КДМ. При їх використанні КДМ з наміченими значеннями параметрів вибирається

призначенням курсором його визначальною точки. КДМ є безпечним, коли його траєкторія не перетинає жодної із згаданих міток. Друга модель призначається для спрощення отримання КДМ з відомим початком. Її основу складають області точок, що визначають безпечні КДМ по відношенню до всіх «цілей», та лінійні інтервали таких КДМ з найкоротшою дистанцією відходу від маршруту переходу. Крім того, для спрощення вибору параметрів першої операції КДМ рекомендовано мати можливість показувати на периферії екрану системи полярну діаграму безпечних векторів швидкостей, що відповідає початку маневру. Отримання її засновано на відомому методі розрахунку секторів відносних небезпечних курсів «цілей».

Показано, що параметри ефективного КДМ з заданим кутом повернення до маршруту переходу можна знайти методом перебору варіантів цього маневру з визначальними точками, які належать їх допустимій множині. Визначено склад інформації, яка може служити в якості обґрунтування для рекомендованою системою стратегії розходження.

Використання на практиці пропонованих в статті інструментів інформаційної підтримки рішень по попередженню зіткнень може надати істотну допомогу вахтовому помічнику при виборі ефективного плану розходження з суднами в складних умовах.

Ключові слова: попередження зіткнень, підтримка рішень, якість маневрів.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Одним из путей снижения числа и последствий морских аварий является применение бортовых систем поддержки предупреждений столкновений (CASS - Collision Avoidance Support System). Потребность в таких системах была подтверждена в 2014 г. на форуме ИМО по развитию стратегии E-навигации в Лондоне.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных вопросов

Концепция создания CASS и базовые принципы их построения представлены в работах [1, 4]. В настоящее время нашли применение на флоте первые образцы таких систем: DST (Decision support tools) [8] компании «Totem Plus», Израиль; NAVDEC (Navigational Decision Support System) [7], Польша; HiCASS (Hyundai intelligent Collision Avoidance Support system), Южная Корея. Однако эффективность поддержки решений в них еще недостаточно высокая.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью работы является выработка предложений по совершенствованию CASS.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Ниже используются следующие обозначения: OS (own ship) – собственное судно; TS (target ship) – судно-цель; OOW (officer of the watch) - вахтенный помощник капитана; GWV («give-way»vessel) –уступающее дорогу судно; SOV («stand-on»vessel) - судно, имеющее право прохода; ПР – план расхождения; φ , λ - широта и долгота; S_P , S_S – допустимые при выполнении расхождения боковые отклонения влево и вправо от запланированного пути; K, V, ω – курс, линейная и угловая скорость судна; V_0 – скорость OS перед маневром; d, τ - расстояние и время кратчайшего сближения (DCPA, TCPA); d^s, τ^s - пределы безопасных значений DCPA, TCPA; Π, D - пеленг и дистанция; k, v – относительный курс и скорость; β – угол руля; q, ρ - курсовой угол и ракурс; σ - код навигационного статуса.

CASS является частью системы управления движением судна, которая может быть представлена блок-схемой, показанной на рис. 1.

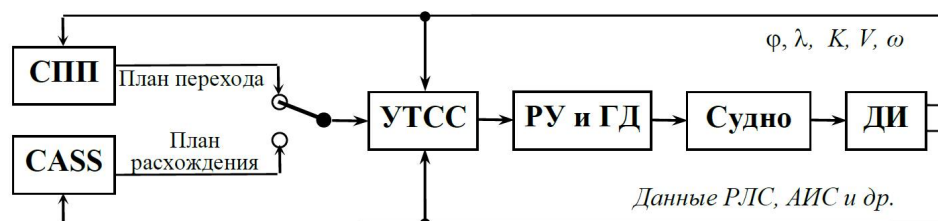


Рис. 1. Блок-схема системы управления движением судна:

СПП – система планирования перехода; УТСС – управляющая траекторией и скоростью судна система; РУ и ГД – рулевое устройство и главный двигатель; ДИ – датчики информации.

Кроме сбора необходимой для предотвращения столкновений информации, ее интеграции и отображения, CASS должна:

- анализировать и оценивать текущую ситуацию;
- вырабатывать необходимые предупреждения;
- определять и рекомендовать OOW эффективный ПР и предоставлять его обоснование;
- обеспечивать OOW возможность выбора мер для избегания столкновения в режиме диалога с CASS через интерфейс пользователя;
- предоставлять возможность эффективной корректировки плана расхождения в процессе его реализации;
- выполнять ряд других операций.

Для обеспечения решения своих задач CASS должна содержать:

- базы картографических, навигационных, о своем судне и других данных;
- базы объективизированных (положения МППСС-72, рекомендации «хорошей морской практики», местные правила и т.д.) и экспертных знаний по предупреждению столкновений;
- библиотеку стратегий расхождений;
- базу моделей (динамики OS; движения «целей»; изображения ситуаций для их анализа, выбора маневров, оценки ПР и др.).

Для представления знаний в CASS наиболее подходящими считаются продукционные модели.

Анализ и оценка ситуации в CASS должны включать:

- выявление маневрирующих и с ожидаемым маневром «целей»;
- обнаружение опасности столкновения и определение степени риска [5];
- классификацию «целей» по степени их опасности [4];
- определение вида сближения с самой опасной «целью», правила МППСС-72 для расхождения с ней, типа OS по обязанности действий;
- оценку ряда других показателей.

При оценке ситуаций обычно учитываются суда в зоне анализа, радиус которой задается охранной дистанцией [7, 8]. Присвоим «целям» в этой зоне номера – 1, 2, ..., n , а OS – 0. Об этих судах для расхождения нужна как статическая, так и динамическая информация, которую можно представить в виде матрицы \mathbf{Q} размера $(n+1) \times (n+1)$ [3]. Диагональные составляющие этой матрицы являются векторами данных отдельных судов, так для судна J :

$$\mathbf{Q}_{JJ} = [\sigma_J \varphi_J \lambda_J K_J V_J \omega_J]^T. \quad (1)$$

Другие компоненты \mathbf{Q} содержат параметры состояния судна J по отношению к судну H :

$$\mathbf{Q}_{JH} = [\zeta_{JH} \Pi_{JH} D_{JH} k_{JH} v_{JH} d_{JH} \tau_{JH} q_{JH} \rho_{JH}]^T. \quad (2)$$

Следует отметить, что $\zeta_{JH} = \sigma_J - \sigma_H$; $\Pi_{JH} = \Pi_{HJ} \pm 180^\circ$; $D_{JH} = D_{HJ}$; $k_{JH} = k_{HJ} \pm 180^\circ$; $v_{JH} = v_{HJ}$; $d_{JH} = d_{HJ}$; $\tau_{JH} = \tau_{HJ}$; $q_{JH} = \rho_{HJ}$; $\rho_{JH} = q_{HJ}$.

Наличие риска столкновения OS с TS_J выявляется по значениям d_{J0} , τ_{J0} [3]. Вид сближения OS с опасной «целью» определяются по ее курсовому углу и ракурсу. Выделенные в МППСС-72 для хорошей и ограниченной видимости виды такого сближения охватывает, например, классификация, приведенная в работе [3].

Тип (GWV или SOV) OS и TS_J в коллизионной ситуации и правило МППСС-72 при ее разрешении, находятся в зависимости от ζ_{JH} , условий видимости и вида сближения этих судов. Риск столкновения и, при наличии его, вид сближения двух «целей» в зоне анализа, а также их тип по обязанности действий устанавливаются аналогично определению этих признаков для OS и TS_J . В результате выявляются «цели» с ожидаемым маневром. Изменяющие курс «цели» обнаруживаются по значениям их ω_J .

Установление критерия качества для действий по расхождению является важным вопросом в обеспечении эффективности CASS. Общие требования к таким действиям при любых условиях видимости представлены в Правиле 8 МППСС-72. В нем указано, что антиколлизийное действие должно быть безопасным, уверенным, своевременным, соответствовать хорошей морской практике; предписано избегать последовательных небольших изменений K и/или V при расхождении; отмечено, что эффективно чаще всего заблаговременное изменение K . Нормированию расхождения судов при ограниченной видимости и судов с механическим двигателем на виду друг у друга посвящены соответственно Правила 19 и 13-17.

Требования к расхождению представлены в МППСС-72 словесно. Определение отвечающих конкретным обстоятельствам и условиям плавания значений параметров для количественного выражения этих требований, возложено ИМО на капитана и ООВ. В САРП, где рекомендации по расхождению не вырабатываются, для количественной «привязки» требований МППСС-72 к обстоятельствам и условиям плавания используются значения d^s и τ^s , которые заносятся капитаном и ООВ в память системы. Другие нужные для такой «привязки» величины определяются и применяются ООВ без ввода в САРП. Чтобы рекомендации CASS соответствовали МППСС-72, эти величины также должны вводиться в систему либо рассчитываться в ней на основе экспертной информации. Представим пути количественной оценки действий для расхождения по различным показателям.

Требование безопасности состоит в предотвращении чрезмерного сближения ($d < d^s$) OS со всеми TS и с навигационными препятствиями, а также в исключении возникновения у «целей» необходимости уклонения от совершающего маневр OS. В мерах по избеганию столкновения можно выделить разрешаемые и запрещаемые МППСС-72. Первые могут быть разделены на предписываемые меры и действия, которых следует избегать (не рекомендуемые меры). Учесть большой риск последних при оценке их эффективности предлагается увеличением для них значений d^s , используя коэффициент $C_S \leq 1,0$:

$$d^s = d^L / C_S, \quad (3)$$

где d^L - вводимое в память системы значение d^s .

Значение d^L отвечает предписываемым маневрам, для них $C_S=1,0$. Коэффициенты для действий, которых следует избегать, должны подбираться с учетом мнения экспертов. Например, в ситуации «пересечения курсов» при оценке безопасности выбираемого GWV не рекомендуемого (Правило 15) изменения курса, приводящего к прохождению у «цели» по носу, можно взять $C_S \approx 0,6$. Для не рекомендуемого для SOV (Правило 17) в такой же ситуации поворота влево, когда GWV находится слева от SOV, можно принять C_S равным 0,5. Соответственно назначаются C_S и для оценки безопасности маневров, которых следует избегать согласно другим Правилам. Для запрещаемых действий, например, поворота влево в ситуации «прямо друг на друга» (Правило 14), можно назначить $C_S=0,01$.

Требование заблаговременности действия. Интервал времени, в котором начало маневра считается заблаговременным, и другие фазы в зоне взаимных обязанностей двух судов обычно находятся в зависимости от границы τ^s этой зоны [3, 4]. Для обеспечения CASS возможности выработки рекомендаций по расхождению в зоне взаимных обязанностей следует, по нашему мнению, выделить четыре фазы, назовем их: выбора маневра; заблаговременных действий для GWV (сохранения K и V для SOV); запоздалых действий для GWV (возможных действий для SOV); срочных мер для обоих судов. В CASS должна быть возможность показа на экране по запросу интервала заблаговременных для GWV (сохранения K и V для SOV) действий [3].

Требование уверенности действий. «Уверенным» считается достаточно большое (заметное) и быстрое действие. Для возможности установления первого факта в CASS можно ввести границу заметных изменений K/V . Обычно уже достаточно большим считается поворот на 20° и изменение скорости на $0,25V_0$, а достаточно быстрым - поворот с углом руля не меньшим 15° и изменение хода, ускоряемое работой двигателя. Чтобы управляемость OS резко не ухудшалась, для снижения скорости целесообразно применять задний малый ход. Для ускорения разгона до скорости V , по возможности, следует использовать режим двигателя, отвечающий большей, чем V , скорости.

Требование экономности. Действия по расхождению приводят к отклонениям от плана перехода и должны сопровождаться минимальной потерей χ ходового времени ($\chi = \min$).

Частными показателями эффективности ПР можно использовать степени его соответствия каждому из отмеченных выше требований [3]. Обобщенный критерий качества ПР находится по подходящей функции свертки частных показателей.

Получение эффективного ПР относится к задаче условной структурно-параметрической оптимизации, так как для расхождения могут применяться стратегии различной структуры. Эта задача включает нахождение наилучшего вида стратегии и эффективных значений ее параметров при наличии определенных ограничений. Для ее решения в CASS должны быть функции информационной поддержки решений по расхождению. В первую очередь, это касается самых распространенных на практике стратегий, первым шагом которых является изменение курса или/и скорости для предотвращения чрезмерного сближения с судами, а вторым – смена первого или/и второго из этих параметров для возвращения к выполнению плана перехода. Структура такой стратегии представлена на рис. 2, P_2 называется ее определяющей точкой (ОТ).

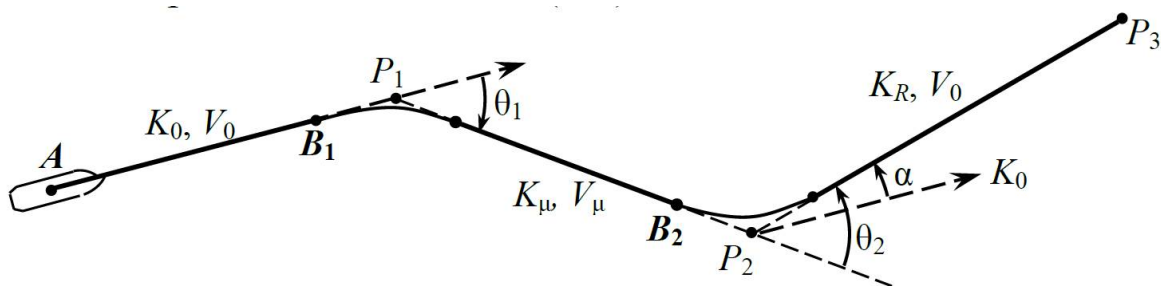


Рис. 2. Структура двух шаговой стратегии расхождения:

P_1, P_2, P_3 и B_1, B_2 – путевые и начала действий точки; K_0, V_0 и K_μ, V_μ и K_R, V_0 – курс, скорость OS перед расхождением и на участках P_1P_2 и P_2P_3 ; θ_1, γ_1 и $\theta_2 = \theta_1 + \alpha, \gamma_2 = \gamma_1 - \alpha$ – изменение курса, скорости в точках P_1 и P_2 ; α – угол возвращения к пути перехода.

Стратегию, в которой на каждом шаге одновременно изменяется как курс, так и скорость, назовем комбинированным двух шаговым маневром (КДМ). Использование для расхождения двух последовательных изменений только курса или только скорости является частным случаем КДМ. КДМ со значением $\alpha = 0$ является комбинированным Z-маневром. В CASS определение

подходящего ПР нужно предусматривать в двух видах - в режиме диалога ООВ с системой и автоматически. Для облегчения получения КДМ в режиме диалога с CASS нами предлагаются следующие изобразительные модели ситуаций.

Первая из них включает метки (МО), отражающие ограничения «целей» на КДМ [3]. При их использовании КДМ с намеченными значениями параметров θ_1 , γ_1 , α выбирается указанием курсором его ОТ. КДМ является безопасным, когда его траектория не пересекает МО «целей». На рис. 3 представлен пример выбора по МО безопасного КДМ с $\theta_1=40^\circ$, $\gamma_1=0$, $\alpha=0$.

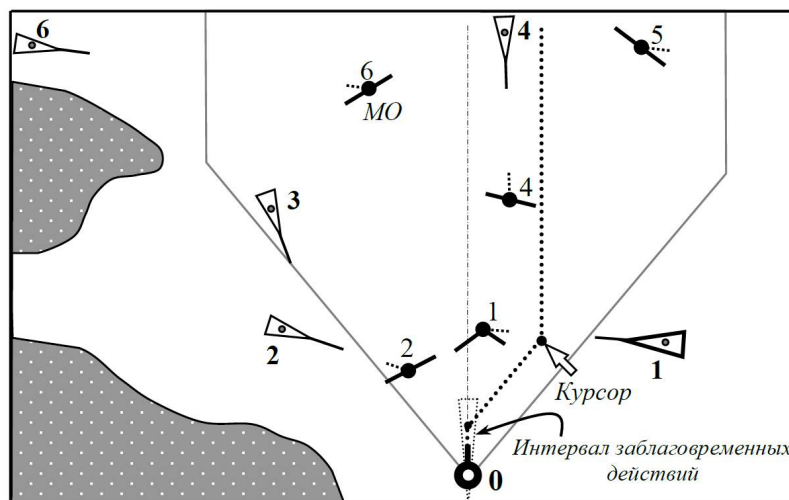


Рис. 3. Изобразительная модель ситуации с МО

Предлагаемая вторая модель предназначена для упрощения получения КДМ, когда его путевая точка P_1 уже выбрана. В этой модели отображаются площадные Ω_S области ОТ безопасных КДМ и линейные Ω_L интервалы ОТ таких КДМ с самым коротким участком P_1P_2 (Ω_L является подмножеством Ω_S). Любой КДМ с путевой точкой P_1 и ОТ в области Ω_S приводит к расхождению со всеми «целями» на расстоянии, не меньшем d^S . Для определения Ω_S/Ω_L предлагается использовать метод, представленный в [2]. Пример Ω_S и Ω_L для безопасных КДМ с $\gamma_1 = 0,25 \cdot V_0$, $\alpha = 0$ в одной из ситуаций сближения судов приведен на рис. 4. Здесь заданы следующие пределы для изменений курса: влево – 90° , вправо – 60° .

Для упрощения выбора параметров θ_1 , γ_1 первого действия желательно иметь в CASS возможность показывать на периферии экрана отвечающую точке P_1 область безопасных курсов и скоростей (ОБКС), не приводящих к чрезмерному сближению с «целями». Получать ОБКС предлагается с помощью представленного в [6] метода расчета для «целей» секторов относительных опасных курсов (СООК). Безопасное расхождение обеспечивается, если конец выбираемого вектора скорости OS для уклонения от столкновения будет лежать за пределами всех СООК. Предлагается выделять СООК трех видов:

- сектор опасной «цели»;
- сектор неопасной «цели», которая сразу или через небольшое время станет опасной, если конец вектора скорости OS взять в этом секторе;
- сектор неопасной «цели», с которой до появления опасности столкновения будет определенное время, если конец вектора скорости OS взять в этом

СООК (вектор скорости с концом в этом секторе допускается использовать для первого действия, если выполнение второго действия возможно до появления опасности столкновения).

Для показанной на рис. 5 ситуации сближения судов сектора опасных курсов «целей» приведены на рис. 6. СООК опасного судна 1 выделен темно серым цветом. ОБКС представлена белым цветом. Секторы TS 3, 4, 5 относятся ко второму виду и представлены на рисунке серым цветом, а светло серый сектор TS 2 относится к третьему виду.

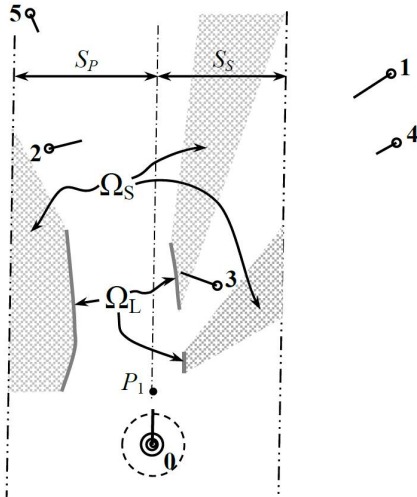


Рис. 4. Множества определяющих точек безопасных КДМ с $\gamma_1=0,25 \cdot V_0$, $\alpha=0$

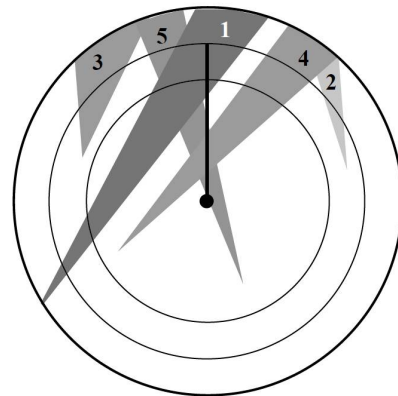


Рис. 5. Область безопасных курсов и скоростей

Параметры (положение P_1 , значение γ_1 , положение P_2) эффективного КДМ с заданным α для рекомендации этого маневра OOW можно найти в CASS методом перебора путем анализа значений критерия качества маневров с ОТ, принадлежащими множествам $\Omega_L(i, j)$, в которых положения P_{2i} берутся с определенным шагом Δ_θ (нами используется $\Delta_\theta=2^\circ$) в намеченных интервалах для изменения курса вправо и влево. Множества $\Omega_L(i, j)$ находились нами для 5 положений P_{1i} путевой точки P_1 , взятых через равный шаг в интервале заблаговременных для GWV действий. При каждом положении P_{1i} множества $\Omega_L(i, j)$ определялись для четырех значений γ_{1j} (0 ; $0,25 \cdot V_0$; $0,50 \cdot V_0$; $0,75 \cdot V_0$). Вариант КДМ ($P_1, \gamma_1, \theta_1, P_2$) с максимальным значением критерия качества рекомендуется OOW. Как показывают расчеты, на поиск этого варианта компьютером затрачивается не более 30 с.

Обратим внимание на планирование в CASS многошаговых стратегий для расхождения в сложных условиях. Следует отметить, что применение криволинейных траекторий в этих случаях противоречит МППСС-72, так как не позволяет другим судам установить, какой маневр предприняло OS для расхождения, и прогнозировать его последствия. Многошаговая стратегия может в CASS планироваться сразу вся, либо последовательно - перед расхождением только один-два ее этапа, а в процессе их выполнения - очередные. Одним из методов автоматического определения такой стратегии, включающей только изменения курса, является генерирование множества возможных маршрутов расхождения и выбор из них оптимального (нередко с

помощью «природных» алгоритмов поиска: генетического, «муравьиного», «пчелиного» «бактериального поиска пищи» и др.). Следует отметить, что нет смысла планировать стратегию расхождения, превышающую по времени интервал с допустимой погрешностью ее прогноза. Эта погрешность является следствием: неточностей в определении элементов движения «целей»; действия возмущающих факторов (ветер, течение, волнение); неточности модели прогноза маневров OS; возможности изменения элементов движения «целями» и других непредвиденных обстоятельств. Учитывая при этом необходимость избегать частых изменений параметров движения при расхождении, можно заключить, что планировать стратегии предотвращения столкновений, включающие более двух, максимум трех, последовательных маневров, вряд ли можно считать целесообразным.

Обоснование рекомендуемой для расхождения стратегии. Бортовая CASS должна быть способной не только рекомендовать действия для расхождения, но и обосновывать их. Такое обоснование по запросу OOW должно выводиться на экран CASS и, по нашему мнению, включать в себя:

- вид сближения с опасной TS, номер правила МППСС-72 для определения мер по расхождению, тип OS по обязанности действий;
- вид рекомендуемой стратегии, ее параметры, значения общего и частных показателей ее эффективности;
- прогноз реализации рекомендуемой стратегии с помощью эффективной изобразительной модели.

Элементами такой модели, например, могут быть метки у точек кратчайшего сближения «целей» (ТКСЦ) с OS. Каждая такая метка [3] включает исходящие из ТКСЦ точечный и сплошной отрезки. Небольшой точечный отрезок направлен на «цель», а сплошной - на точку (ТКСО), в которой будет OS в момент кратчайшего сближения с этой «целью». Если курс TS пересекается OS по корме, то точечный отрезок будет перечеркнут. Длина сплошного отрезка метки равна d^s . Расстояние между ТКСЦ и ТКСО, как известно, равно d . Использование меток ТКСЦ дает четкую картину участков пути OS при маневре, на которых это судно будет на кратчайшем расстоянии до «целей», и значений этих расстояний. Один из примеров использования этих меток для обоснования двух шагового маневра курсом представлен на рис. 6.

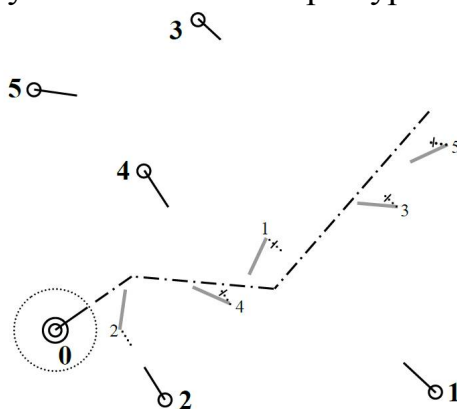


Рис. 6. Прогноз расхождения с помощью меток ТКСЦ

Важным вопросом улучшения поддержки решений в CASS является также разработка комплекса тревожных и предупредительных сигналов для привлечения внимания ООВ или принятия им необходимых мер.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Использование в CASS предлагаемых в статье инструментов информационной поддержки решений по предупреждению столкновений окажет существенную помощь вахтенному помощнику при выборе эффективного плана расхождения с судами в сложных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бень А. П. Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении / А. П. Бень // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 222-227.
2. Вагущенко А. А. Методы облегчения выбора комбинированного маневра для расхождения с несколькими судами /А. А. Вагущенко //Судовождение. - 2016. - Вып. 26. – С.41-47.
3. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути /Л. Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2013. – 150 с.
4. Мальцев А. С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А. С. Мальцев // Судовождение. - 2006. - Вып. 11.- С. 74-86.
5. Chee Kuang Tam Collision risk assessment for ships / Chee Kuang Tam and Richard Bucknall // Journal of Marine Science and Technology. – 2010. - Volume 15, Number 3. – P. 257-270.
6. Degre T. A collision avoidance system / T. Degre, X. Lefevre //The Journal of Navigation. - 1981. – 34. - P. 294-302.
7. Pietrzykowski Z. NAVDEC – navigational decision support system on a sea-going vessel / Z. Pietrzykowski, P. Borkowski, P. Wołajsza // Maritime University of Szczecin, Scientific Journals. - 2012. - 30(102). -P. 102–108.
8. Totem COLREGS adviser. Электронный ресурс. <http://www.totemplus.com>.

УДК 656.61.052.484

SOME FEATURES OF DRAFTING OF CARGO PLAN OF CONTAINERSHIP

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ ГРУЗОВОГО ПЛАНА КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ

Ye. A. Vlasenko, senior lecturer, N. N. Tsymbal, DSc, professor

Е. А. Власенко, старший преподаватель, Н. Н. Цымбал, д.т.н., профессор

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

By the features of loading of containership which complicate the calculation of preliminary cargo plan, there is the necessity of account of rotary press of ports at the loading or unloading in a few ports and account of forces of inertia, affecting loading at tossing. If a ship adopts a loading which will unloading by parts in a few successive ports, on every transition between ports his nautical state will be different, that will lead to the change of forces of inertia, which will undergo a loading during transition.

At the loading of containership with the subsequent unloading in a few ports in the holds of ship it is necessary to produce placing of loading taking into account the sequence of ports of unloading, providing access to necessary parties of loading, and also taking to account that all transient states of loading must suit on stability, landing and durability of ship, and forces of inertia, arising up at tossing, must were in possible limits.

It is shown that forming of initial loading must be begun with determination of the possible last loading before handing over of loading in the last port, and then be incrementally moved to the previous loading, while the initial loading in the last port of loading will not be got.

At the decision the set problem it is necessary to take into account communication between the loading of ship and parameters of her tossing, which determine descriptions of nascent angular accelerations and influence on the size of forces of inertia.

To minimize the size of force of inertia operating on a container at tossing of ship, to the required legitimate values it is possible besides placing of container yet and by diminishment of peak value of angle of roll, for what it is necessary to obtain a maximal difference between frequency of own vibrations of ship and seeming frequency of agitation. It is shown that seeming frequency of agitation is an out of control variable and its size can be only forecast on forthcoming transition, however much the size of frequency of own vibrations of ship depends on the loading of ship. Exactly the loading of ship determines the size of transversal initial metacentric

height and moment of inertia of ship in relation to the longitudinal axis X-X. If from the great number of possible loadings to choose that, for which the difference of frequencies has the maximal value, other things being equal it is possible to provide implementation of requirement of legitimate values of forces of inertia at tossing of ship.

Keywords: nautical safety of ship, loading of ship, force of inertia on tossing.

РЕФЕРАТ

Особливостями завантаження контейнеровозів, які ускладнюють розрахунок попереднього вантажного плану, є необхідність урахування ротації портів при завантаженні або розвантаженні в декількох портах та сил інерції, які впливають на вантаж при качанні. Якщо судно приймає вантаж, який здається частинами в декількох послідовних портах, то на кожному переході між портами його морехідний стан буде різним, що поведе до зміни сил інерції, яким піддаватиметься вантаж під час переходу.

При завантаженні контейнеровоза з подальшим розвантаженням в декількох портах розміщення вантажу в трюмах судна слід проводити з урахуванням послідовності портів вивантаження, забезпечуючи доступ до необхідних партій вантажу, а також з урахуванням того, що всі проміжні стани завантаження повинні задовольняти вимогам по остійності, посадці і міцності судна, а сили інерції, виникаючі при качанні, повинні знаходитися в допустимих межах.

Показано, що формування початкового завантаження необхідно починати з визначення допустимого останнього завантаження перед здачею вантажу в останньому порту, а потім покроково переміщатися до попереднього завантаження, поки не буде одержане початкове завантаження в останньому порту завантаження.

При рішенні поставленої задачі слід враховувати зв'язок між завантаженням судна і параметрами його качання, які визначають характеристики виникаючих кутових прискорень і впливають на величину сил інерції.

Мінімізувати величину сили інерції, діючої на контейнер при качанні судна, до необхідних допустимих значень можна крім розміщення контейнера ще і зменшенням амплітудного значення кута крену, для чого необхідно добитися максимальної різниці між частотою власних коливань судна і уявною частотою хвилювання моря. Показано, що уявна частота хвилювання є некерованою змінною і її величину можна тільки прогнозувати на майбутній перехід, проте величина частоти власних коливань судна залежить від завантаження судна. Саме завантаження судна визначає величину поперечної початкової метацентричної висоти і моменту інерції судна щодо подовжньої осі X-X. Якщо з множини допустимих завантажень вибрати ту, для якої різниця частот має максимальне значення, то за інших рівних умов можна забезпечити виконання вимоги допустимих значень сил інерції при качанні судна.

Ключові слова: морехідна безпека судна, завантаження судна, сили інерції на качанні.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Особенностями загрузки контейнеровозов, которые усложняют расчет предварительного грузового плана, является необходимость учета ротации портов при загрузке или разгрузке в нескольких портах и учет сил инерции, воздействующих на груз при качке. Если судно принимает груз, который будет выгружаться частями в нескольких последовательных портах, то на каждом переходе между портами его мореходное состояние будет разным, что поведет к изменению сил инерции, которым будет подвергаться груз во время перехода. Во время каждого перехода параметры остойчивости, посадки и прочности судно должны находиться в допустимых пределах, а возникающие силы инерции от его качки, не должны превосходить допустимых пределов.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Метод формирования оптимальной загрузки судна тарно-штучными грузами предложен в работе [1], а в работе [2] рассмотрен способ формирования оптимальной загрузки навалочных судов сыпучими грузами.

В работе [3] рассмотрена разработка метода оперативной оценки критериев мореходности судна с помощью имитационного моделирования. Процедура расчета угловых ускорений, возникающие при качке судна, изложена в статье [4].

Формулировка целей статьи

Цель данной статьи - анализ некоторых особенностей составления предварительного грузового плана контейнеровоза, вызванных спецификой его работы.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

При загрузке контейнеровоза с последующей разгрузкой в нескольких портах размещение груза в трюмах судна следует производить с учетом последовательности портов выгрузки, обеспечивая доступ к необходимым партиям груза, а также с учетом того, что все промежуточные состояния загрузки должны удовлетворять требованиям по остойчивости, посадке и прочности судна, а силы инерции, возникающие при качке, должны находиться в допустимых пределах.

Более подробное рассмотрение этого вопроса позволяет предложить следующую формализацию загрузки судна. В первом приближении под загрузкой судна G будем понимать множество партий груза p_i , находящихся на судне, судовые запасы P_z , балласт P_b и их размещение на судне Q . Через \tilde{p}_i

обозначим партию груза, к которой имеется свободный доступ для выгрузки, Поэтому формальная запись загрузки судна G , как совокупности нагрузок от грузовых партий, балласта, судовых запасов и их размещения на судне:

$$G = \{\cup p_i, P_b, P_z, Q\}.$$

Начальная загрузка судна в порту отправления $G_o = \{\tilde{p}_1 \cup p_i, P_b, P_z, Q_o\}$

должна обеспечить доступность к грузам, выгружаемым в первом порту разгрузки, обеспечить допустимое мореходное состояние $M_o \in Mn_{sf}$, где Mn_{sf} - множество безопасных мореходных состояний, а значения сил инерции качки F_{jk} , действующих на груз, должны находиться в допустимых пределах, т. е. $F_{jko} < F_{jd}$. Целесообразно различать размещение груза Q_c и балласта Q_b . Поэтому начальная загрузка судна:

$$G_o = \{\tilde{p}_1 \cup p_i, Q_{co}, P_z, P_{bo}, Q_{bo}\} \text{ или}$$

$$G_o = \{G_{co}, P_{bo}, Q_{bo}\},$$

где $G_{co} = \{\tilde{p}_1 \cup p_i, Q_{co}, P_z\}$ - размещение груза на судне, допуская неизменным значение P_z .

После выгрузки в первом порту оставшаяся загрузка судна обозначена $G_1 = \{\tilde{p}_2 \cup_{i \neq 1} p_i, Q_{c1}, P_z, P_{b1}, Q_{b1}\}$ или $G_1 = \{G_{c1}, P_{b1}, Q_{b1}\}$. После выгрузки в предыдущих портах загрузка судна после сдачи груза в s -м порту формально выражается следующим образом:

$$G_s = \{G_{cs}, P_{bs}, Q_{bs}\},$$

причем $G_{cs} = \{\tilde{p}_{s+1} \cup_{i \neq 1, 2..s} p_i, Q_{cs}, P_z\}$.

Следовательно, каждая из нагрузок судна G_s перед выходом к очередному порту назначения должна обеспечить свободный доступ к грузу, предназначенному для выгрузки в следующем порту и удовлетворять требованиям мореходной безопасности $M_s \in Mn_{sf}$, как и допустимость сил инерции на качке $F_{jks} < F_{jd}$, на предстоящем переходе, что формально можно выразить следующим образом:

$$G_s = \{G_{cs}, P_{bs}, Q_{bs}\},$$

$$G_{cs} = \{\tilde{p}_{s+1} \cup_{i \neq 1, 2..s} p_i, Q_{cs}, P_z\}, \quad (s=0 \dots n-1)$$

$$M_s \in Mn_{sf},$$

$$F_{jks} < F_{jd},$$

где n – число портов выгрузки.

Для формирования последовательности загрузок судна G_s , удовлетворяющих перечисленным требованиям, следует учесть, что размещение груза Q_{cs} в каждой загрузке судна включено в предыдущее $Q_{c(s-1)}$. Следовательно, начальное размещение груза Q_{c0} содержит все последующие размещения Q_{cs} и справедливы соотношения:

$$G_{cs} \subset G_{c0}, \quad (s=0 \dots n-1)$$

$$\bigcup_{s=1}^{n-1} G_{cs} = G_{c0}.$$

Поэтому формирование начальной загрузки G_0 необходимо начинать с определения допустимой последней загрузки $G_{c(n-1)}$ перед сдачей груза в последнем порту, а затем пошагово перемещаться к предыдущей загрузке, пока не будет получена начальная загрузка в последнем порту загрузки.

При решении поставленной задачи следует учитывать связь между загрузкой судна и параметрами его качки, которые определяют характеристики возникающих угловых ускорений и влияют на величину сил инерции.

В работе [5] показано, что максимальное значение горизонтальной составляющей сил инерции $\max F_{HI}$ при качке судна, действующей на контейнер определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} \max F_{HI} = m_c \omega_k^2 \{ & [\Delta Z \beta_m \sin(\omega_k t - \psi_\beta) - (\frac{g}{2} + 0,5h_w \sin \omega_k t) \cos \theta \sin \beta]^2 + \\ & + [\Delta Z \theta_m \sin(\omega_k t - \psi) + (\frac{g}{2} + 0,5h_w \sin \omega_k t) \sin \theta]^2 \}^{1/2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где β_m - амплитудное значение угла дифферента β ;

ψ_β - начальная фаза продольных колебаний.

θ_m - амплитудное значение угла крена;

ψ - начальная фаза;

ω_k - кажущаяся частота волнения;

m_c - масса груза, ΔZ - расстояние между центрами масс груза и судна по высоте.

Анализ приведенного выражения (1) показывает, что на значение $\max F_{HI}$ наибольшее влияние имеют размещение контейнера (ΔZ) и угловые ускорения бортовой качки, которые определяются величиной θ_m :

$$\theta_m = \frac{\chi_0 \omega_0^2}{[(\omega_0^2 - \omega_k^2)^2 + 4h^2 \omega_k^2]^{1/2}}, \quad (2)$$

где ω_k - кажущаяся частота волнения;

ω_0 - собственная частота судна при бортовой качке, причем

$$\omega_0^2 = \frac{Dh_0}{(J_x + m_x)}, \quad (3)$$

h_0 - поперечная начальная метацентрическая высота.

Минимизировать величину $\max F_{Н1}$ до требуемых допустимых значений можно помимо размещения контейнера еще и уменьшением амплитудного значения угла крена θ_m , для чего, как следует из (2), необходимо добиться максимальной разницы между частотами ω_0 и ω_k . Если ω_k является неуправляемой переменной и ее величину можно только прогнозировать на предстоящий переход, то величина ω_0 зависит от загрузки судна, что следует из выражения (3). Именно загрузка судна определяет величину поперечной начальной метацентрической высоты h_0 и момента инерции судна J_x относительно продольной оси X-X. Если из множества допустимых загрузок выбрать ту, для которой $(\omega_0 - \omega_k)$ имеет максимальное значение, то при прочих равных условиях можно обеспечить выполнение требования допустимых значений сил инерции при качке судна.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, рассмотрены основные особенности составления предварительного грузового плана контейнеровоза, вызванные спецификой его работы и влияющие на мореходную безопасность судна. В дальнейшем целесообразно исследовать зависимость сил инерции на качке от загрузки судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чепок А.О. Оптимизация загрузки судна тарно-штучными грузами в автоматизированных системах / Чепок А.О. // Проблемы техники: Научно-производственный журнал / ОНМУ, ХНУ – 2013. – № 4. – Одесса: Одесский национальный морской университет, 2013. – С. 44–51.
2. Цымбал Н.Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов/ Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Судовождение. – 2004. - № 7. – С. 3 - 10.
3. Николаева Л.Л. Способ формализации формы судовых грузовых помещений нестандартного типа / Николаева Л.Л., Гайченя А.В. // Автоматизация судовых технических средств. – 2010. - № 16. – С. 71-82.
4. Власенко Е.А. Угловые ускорения, возникающие при качке судна/ Власенко Е.А.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на

транспорті (MINTT-2018): Матеріали X Міжнародної наук.-практ. конф., 29-31 травня. 2018 – Херсон: ХДМА, 2018. – С. 96 – 99.

5. Власенко Е. А. Определение максимального значения горизонтальной составляющей сил инерций, действующей на груз при качке судна/ Власенко Е. А., Бурмака И. А.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI (18), Issue: 158, 2018.- С. 80 - 84.

УДК 656.61.052

**UNIVERSAL METHOD OF STOCHASTIC DESCRIPTION OF
RANDOM ERROR TERMS OF NAVIGATION MEASUREMENTS****УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПОСОБ СТОХАСТИЧЕСКОГО
ОПИСАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

I.I. Vorohobin, *PhD, associate professor*, **V. G. Aleksichin**, *PhD, professor*,
I.Y. Fusar, *PhD student*

И.И. Ворохобин, *к.т.н., доцент*, **В.Г. Алексишин**, *к.т.н., профессор*,
И. Ю. Фусар, *аспирант*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The analysis of statistical these errors of the navigation measuring, got last thirty years in the model supervisions, showed that errors did not submit to the normal law of distributing, and the histograms of their selections contain the surplus number of members in extreme digits, that testifies to the positive excess of law of distributing. Therefore, as alternative to the normal law the models of the mixed laws of distributing of errors were offered, for which characteristic positive excess.

For providing of maximally possible exactness of observations of place of ship it is necessary to know the law of distributing of errors of the navigation measuring. However, at the limited sample size of statistical materials of errors it is not succeeded by standard procedure to define the law of their distributing, although there is possibility to estimate the central moments of distributing. Thus if the histogram of selection has a positive excess, it is possible to use decomposition of closeness of distributing of errors by the orthogonal polynomials Ermit, not having in the order of its analytical expression, and to apply him as closeness of distributing.

It is shown that the variety of laws of distributing of authenticity of random error terms, the feature of which there is the presence of positive excess, can be compatible by the use of orthogonal decomposition with the acquired values of central moments of higher orders. Decomposition of normal closeness of the rationed error in the row of Gramme - Sharle type A by the orthogonal polynomials Ermit is a classic result, however for the standard closeness of law to Gaus of the uncaptioned error in work certain coefficients of row of Gramme - Sharle type A, and led to orthogonal of the Ermit polynomials.

The got result allows offering the universal method of description of closeness of distributing of the uncaptioned casual size by its decomposition in the row of Gramme - Sharle type A, that provides maximal exactness of observation of place of ship at the unknown law of distributing of errors of measuring, that has a positive excess.

Keywords: navigation accident rate, laws of distributing of random error terms, orthogonal decomposition of closeness of distributing, the Ermyt's polynomials.

РЕФЕРАТ

Аналіз статистичних даних похибок навігаційних вимірювань, одержаних останні тридцять років в натурних спостереженнях, показав, що похибки не підкоряються нормальному закону розподілу, а гістограми їх вибірок містять надмірне число членів в крайніх розрядах, що свідчить про позитивний ексцес закону розподілу. Тому як альтернативні нормальному закону були запропоновані моделі змішаних законів розподілу похибок, для яких характерний позитивний ексцес.

Для забезпечення максимально можливої точності обсервацій місця судна необхідно знати закон розподілу похибок навігаційних вимірювань. Проте при обмеженому об'ємі вибірки статистичних матеріалів похибок не вдається за допомогою стандартної процедури визначити закон їх розподілу, хоча є можливість оцінити центральні моменти розподілу. При цьому якщо гістограма вибірки має позитивний ексцес, то можна використовувати розкладання щільності розподілу похибок за допомогою ортогональних поліномів Ерміту, не маючи в своєму розпорядженні її аналітичного виразу, і застосувати його як щільність розподілу.

Показано, що різноманітність законів розподілу вірогідності випадкових похибок, особливістю яких є наявність позитивного ексцесу, може бути уніфіковане використанням ортогонального розкладання з набутими значеннями центральних моментів вищих порядків. Розкладання нормальної щільності нормованої похибки в ряд Грама - Шарльє типу А за допомогою ортогональних поліномів Ерміту є класичним результатом, проте для стандартної щільності закону Гаусу ненормованої похибки в роботі визначені коефіцієнти ряду Грама - Шарльє типу А, і доведена ортогональність поліномів Ерміту.

Одержаний результат дозволяє запропонувати універсальний спосіб опису щільності розподілу ненормованої випадкової величини за допомогою її розкладання в ряд Грама - Шарльє типу А, що забезпечує максимальну точність обсервації місця судна при невідомому законі розподілу похибок вимірювань, що має позитивний ексцес.

Ключові слова: навігаційна аварійність, закони розподілу випадкових похибок, ортогональне розкладання щільності розподілу, поліноми Ерміту.

Бібліографія – 4 джерела, ілюстрацій – немає.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

При дефиците статистических материалов погрешностей навигационных измерений не удается с помощью стандартной процедуры определить закон их распределения, однако можно оценить центральные моменты распределения и если гистограмма выборки имеет «утяжеленные хвосты», то можно

использовать разложение плотности распределения погрешностей с помощью ортогональных полиномов Эрмита, не располагая ее аналитическим выражением.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] рассмотрена модель формирования смешанных распределений погрешностей навигационных измерений, а в работе [2] предложены два типа смешанных законов распределения погрешностей измерения навигационных параметров. В работе [3] предложено использования обобщенного распределения Пуассона для описания случайных погрешностей.

Формулировка целей статьи (постановка задачи) Целью статьи является разработка универсального способа описания случайных погрешностей навигационных измерений с помощью ортогонального разложения их плотности распределения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Оценка точности обсервации судна возможна при известном законе распределения векториальной погрешности, аналитический вид плотности которой однозначно определяется выражением законов распределения погрешностей измерений навигационных параметров.

Закон распределения погрешностей навигационных измерений близок к закону Гаусса [1], поэтому можно воспользоваться результатами работы [4], в которой показано, что плотность распределения $f(x)$ центрированной и нормированной случайной величины x можно представить разложением:

$$f(x) = c_0 \varphi(x) + c_1 \varphi^{(1)}(x) + c_2 \varphi^{(2)}(x)/2! \dots + c_i \varphi^{(i)}(x)/i! \dots, \quad (1)$$

где $\varphi(x) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-x^2/2)$ - нормальная плотность нормированной и центрированной случайной величины.

В работе [4] показано, что производные высших порядков от нормальной плотности $\varphi^{(i)}(x)$ выражаются через ортогональные полиномы Эрмита $H_i(x)$:

$$\varphi^{(i)}(x) = (-1)^i H_i(x) \varphi(x),$$

где $H_i(x) = (-1)^i \left\{ \frac{d^i}{dx^i} [\exp(-x^2/2)] \right\} \exp(-x^2/2)$.

Коэффициенты c_i в формуле (1) вычисляются по формулам:

$$c_i = (2\pi)^{-1/2} (-1)^i \int_{-\infty}^{\infty} H_i(x) \exp(-x^2/2) dx.$$

В случае, когда случайной величина x является ненормированной, разложение имеет следующий вид:

$$f(x) = c_0 \varphi(x) + c_1 \varphi^{(1)}(x) + c_2 \varphi^{(2)}(x)/2! + \dots + c_i \varphi^{(i)}(x)/i! + \dots, \quad (2)$$

где $\varphi(x) = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp(-x^2/2\sigma^2)$ и $\varphi^{(i)}(x) = (-1)^i H_i(x/\sigma^2) \varphi(x)$,

причем σ - дисперсия исходной плотности $f(x)$.

Для нормированной нормальной плотности ортогональность полиномов Эрмита доказана в работе [3], которая выражается следующим образом:

$$\int_{-\infty}^{\infty} H_m(x) H_n(x) \exp(-x^2/2) dx = \begin{cases} 0 & \text{при } m \neq n \\ n! & \text{при } m = n \end{cases}.$$

Полиномы Эрмита для ненормированной плотности нормального закона $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-x^2/2\sigma^2)$ также обладают свойством ортогональности, т. е. удовлетворяют условию:

$$\int_{-\infty}^{\infty} H_m(x/\sigma^2) H_n(x/\sigma^2) \exp(-x^2/2\sigma^2) dx = \begin{cases} 0 & \text{при } m \neq n \\ \sigma^{-2n} n! & \text{при } m = n \end{cases}.$$

Для поиска выражений коэффициентов c_v умножим левую и правую части выражения (2) на $H_v(x/\sigma^2)$, почленно интегрируем и учитываем свойство ортогональности полиномов Эрмита, в итоге получим:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) H_v(x/\sigma^2) dx = \frac{c_0}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \int_{-\infty}^{\infty} H_0(x/\sigma^2) H_v(x/\sigma^2) \exp(-x^2/2\sigma^2) dx + \dots + \frac{c_v}{(2\pi)^{1/2} \sigma(v!)} \int_{-\infty}^{\infty} H_v(x/\sigma^2) H_v(x/\sigma^2) \exp(-x^2/2\sigma^2) dx + \dots + \quad (3)$$

Обращаем внимание на то, что все члены полученного ряда (3), кроме члена с коэффициентом c_v , содержат произведение полиномов Эрмита с разными индексами, это в силу свойства ортогональности полиномов обращает их произведения в ноль. Следовательно:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) H_v(x/\sigma^2) dx = \frac{c_v}{(2\pi)^{1/2} \sigma(v!)} \int_{-\infty}^{\infty} H_v(x/\sigma^2) H_v(x/\sigma^2) \exp(-x^2/2\sigma^2) dx.$$

Используя свойство ортогональности для произведения полиномов Эрмита с одинаковыми индексами, получим:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) H_v(x/\sigma^2) dx = \frac{c_v}{(2\pi)^{1/2} \sigma(v!)} \sigma^{-2v} v! (2\pi)^{1/2} \sigma = c_v \sigma^{-2v},$$

откуда:

$$c_{2\nu} = \sigma^{2\nu} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) H_{2\nu}(x/\sigma^2) dx.$$

Несобственный интеграл в правой части равенства является многочленом от моментов плотности распределения $f(x)$. В подинтегральном выражении следует учитывать только четные полиномы Эрмита, так как нечетные содержат переменную x только в нечетных степенях, что определяет их нулевые значения.

Для коэффициентов с четными индексами c_{2s} ($s=1, 2, \dots$) справедливо:

$$c_{2s} = \sigma^{4s} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^s (-1)^i \sigma^{-2(2s-i)} a_{iv} x^{2(v-i)} f(x) dx =$$

$$\sum_{i=0}^s (-1)^i \sigma^{-2i} a_{iv} \int_{-\infty}^{\infty} x^{2(v-i)} f(x) dx = \sum_{i=0}^s (-1)^i \sigma^{-2i} a_{iv} \mu_{2(v-i)},$$

где a_{iv} - коэффициенты при переменной x в полиномах Эрмита.

Коэффициенты c_{2s} выражаются следующим образом:

$$c_4 = \mu_4 / \sigma^4 - 3; \quad (\text{эксцесс})$$

$$c_6 = \mu_6 / \sigma^6 - 15\mu_4 / \sigma^4 + 30;$$

$$c_8 = \mu_8 / \sigma^8 - 28\mu_6 / \sigma^6 + 210\mu_4 / \sigma^4 - 315;$$

$$c_{10} = \mu_{10} / \sigma^{10} - 45\mu_8 / \sigma^8 + 630\mu_6 / \sigma^6 - 3150\mu_4 / \sigma^4 + 3780;$$

$$c_{12} = \mu_{12} / \sigma^{12} - 66\mu_{10} / \sigma^{10} + 1485\mu_8 / \sigma^8 - 13860\mu_6 / \sigma^6 + 51975.$$

Выражение (2) для ортогонального разложения плотности $f(x)$ с учетом полученных результатов принимает вид:

$$f(x) = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp(-x^2/2\sigma^2) \left[1 + \sum_{s=2}^{\infty} \frac{c_{2s}}{(2s)!} H_{2s}(x/\sigma^2) \right],$$

в котором σ^2 и μ_{2s} вычисляются по исходной плотности $f(x)$, а выражения для четных полиномов Эрмита имеют следующий вид:

$$H_4(y) = y^4 - 6y^2 + 3;$$

$$H_6(y) = y^6 - 15y^4 + 45y^2 - 15;$$

$$H_8(y) = y^8 - 28y^6 + 210y^4 - 420y^2 + 105;$$

$$H_{10}(y) = y^{10} - 45y^8 + 630y^6 - 3150y^4 + 4725y^2 - 945;$$

$$H_{12}(y) = y^{12} - 66y^{10} + 1485y^8 - 13860y^6 + 51975y^4 - 62370y^2 + 10395.$$

В приведенных выражениях $y = x/\sigma^2$.

Таким образом, ортогональное разложение плотности распределения вероятностей погрешности навигационных измерений является аналитическим описанием закона их распределения в явном виде.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В работе произведен анализ возможностей применения ортогонального разложения плотностей распределения погрешностей навигационных измерений с помощью полиномов Эрмита. Получены выражения для полиномов Эрмита и коэффициентов разложения для ненормированной плотности нормального закона. В явном виде получены ортогональные разложения плотностей на базе нормированного и ненормированного нормального закона. В дальнейшем целесообразно рассмотреть ортогональные разложения плотностей смешанных законов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т. Кондрашихин - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
2. 1. Ткаченко А.С. Совершенствование методов контроля и прогноза места судна. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.13/ ОНМА. – Одесса, 2009. – 24 с.
3. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrucken, Deutschland/ Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.
4. Ткаченко А.С. Применение обобщенных пуассоновских распределений для описания навигационных погрешностей / А.С. Ткаченко, В.Г. Алексишин. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 185 –189.
5. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер - М.: Мир. - 1975. - 648 с.

УДК 656.61.052.484

**OPERATIVE ESTIMATION OF SEAWORTHINESS OF SHIP BY
IMITATION DESIGN OF HIS LOADING****ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА МОРЕХОДНОСТИ СУДНА
ИМИТАЦИОННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ЕГО ЗАГРУЗКИ***A.V. Gaychenya, senior lecturer**А.В. Гайченя, к.т.н., старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

The method of the use of imitation design is offered for placing of cargo on to the holds of и ballast on to the tanks taking into account the operative control of parameters of nautical safety of ship, which provides the safe loading of ship.

The program with the module of interactive by introduction of parties of cargo was used for this purpose, accepted to transportation, and by the module of distributing cargo on to the holds of ship of and ballast on to the tanks. This software product was used for forming of previous cargo plan of ship taking into account the requirements of nautical safety. A case is considered, when to the loading 12 parties of cargo are accepted.

At placed to the cargo by the program express hatches information about parameters of ship. In the article the described procedure of the imitation placing of parties cargo on to the holds of ship, thus the parameters of landing of ship, parameters and general longitudinal durability change taking into account the accepted cargo.

For the control of general longitudinal durability at the design of loading of ship hatch graphics cutting forces and curving moments which are compared to maximum – the possible graphs, on the basis of what the conclusion of admission of loading is conducted on longitudinal durability. If current graphics cutting forces and curving moments are in possible scopes, the design of loading proceeds. Differently it follows to change placing or weight of the last party of the accepted cargo or conduct the change of present ballast by the redistribution of his amount on to the ballast tanks.

Conducting of taking ballast of ship for the redistribution of amount of ballast on to the tanks an imitation is foreseen by the loading routine of ship. With the help of procedure of taking ballast it is needed to choose on the computer chart of ship a tank for ballast operation, and then declare the type of operation: partial or complete reception of ballast, or partial or complete drainage to the tank.

As a result of imitation of taking ballast of ship, displacement of ships, static change moment in relation to ship planes, that conduces to the change of parameters of nautical safety of ship. Therefore, at the design of taking ballast of ship current

information hatches on to the parameters of landing of ship and general longitudinal durability.

By the resulted method of design of loading of ship possibility of choice of optimum previous cargo plan of ship appears by the imitation program.

Keywords: nautical safety of ship, loading of ship, imitation design.

РЕФЕРАТ

Запропоновано спосіб використання імітаційного моделювання для розміщення вантажу по трюмам и баласту по танкам з урахуванням оперативного контролю параметрів морехідної безпеки судна, який забезпечує безпечно завантаження судна.

Для цього була використана програма з модулем інтерактивного введення партій вантажу, прийнятих до перевезення, та модулем розподілу вантажу по трюмам судна и баласту по танкам. Цей програмний продукт був використаний для формування попереднього вантажного плану судна з урахуванням вимог морехідної безпеки. Розглянуто випадок, коли до завантаження прийнято 12 партій вантажу.

При розміщенні вантажу програмою виводиться експрес інформація про остійність судна. В статті описана процедура імітаційного розміщення партій вантажу по трюмам судна, причому параметри посадки судна, остійності і загальної подовжньої міцності змінюються з урахуванням прийнятого вантажу.

Для контролю загальної подовжньої міцності при моделюванні завантаження судна виводяться графічні епюри перерізуючих сил та вигинаючих моментів, які порівнюються з гранично – допустимими графіками, на основі чого проводиться висновок допустимості завантаження по подовжньої міцності. Якщо поточні епюри перерізуючих сил та вигинаючих моментів знаходяться в допустимих межах, то продовжується моделювання завантаження. Інакше слід змінити розміщення або вагу останньої партії прийнятого вантажу або провести зміну наявного баласту шляхом перерозподілу його кількості по баластним танкам.

Проведення баластування судна для перерозподілу кількості баласту по танкам передбачено імітаційної програмою завантаження судна. За допомогою процедури баластування потрібно вибрати на комп'ютерній схемі судна танк для баластної операції, а потім заявити тип операції: частковий чи повний прийом баласту, або часткове чи повне осушення танку.

В результаті імітації баластування судна змінюються водовантажність судна, статичні моменти відносно судових площин, що веде до зміни параметрів морехідної безпеки судна. Тому при моделюванні баластування судна виводиться поточна інформація по параметрам посадки судна, остійності і загальної подовжньої міцності.

За допомогою приведеного способу моделювання завантаження судна імітаційною програмою з'являється можливість вибору оптимального попереднього вантажного плану судна.

Ключові слова: морехідна безпека судна, завантаження судна, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Загрузка морских судов в значительной мере определяет их мореходную безопасность. Поэтому при составлении грузового плана судна целесообразно производить оперативную оценку его мореходной безопасности, располагая перечнем предлагаемых к перевозке грузов. Очевидно, в качестве технического средства, с помощью которого возможна оперативная оценка мореходной безопасности, можно использовать компьютерную программу, чему и посвящена данная работа.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Вопросы формирования оптимальной загрузки навалочных судов рассмотрены в работе [1]. Метод оптимизации загрузки судна тарно-штучными грузами предлагается в работе [2].

В работах [3-6] рассмотрены вопросы разработки метода оперативной оценки критериев мореходности судна.

Формулировка целей статьи

Целью данной статьи является анализ возможности разработки способа оперативного мониторинга состояния мореходной безопасности судна в процессе формирования его грузового плана.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Основой разработки компьютерной программы оперативной оценки мореходной безопасности судна послужили работы [3-6], с помощью которых была сгенерирована программа определения параметров посадки, остойчивости и продольной прочности восьми трюмного балкера. Программа была дополнена модулем интерактивного ввода партий груза, принятых к перевозке и модулем распределения груза по трюмам судна и балласта по танкам. Полученный программный продукт явился инструментом формирования предварительного грузового плана судна с учетом требований мореходной безопасности. На рис. 1 показан начальный интерфейс программы для случая, когда к перевозке приняты 12 партий груза (всего программой предусмотрен прием до 36 партий). С каждой из партий груза связана управляющая клавиша, на которой помещено условное изображение партии принимаемого груза, общий вес партии и вес ее погруженной на судно части. В начальном состоянии во всех трюмах судна отсутствует груз, а на всех клавишах партий вес принятого груза равен 0. На нижней левой части экрана выводится информация о посадке судна и общей продольной прочности корпуса, представленной эпюрами перерезывающих сил

и изгибающих моментов. Выводятся значения осадок судна носом, кормой, средней осадки и дифферента судна. Также указывается общий вес груза,

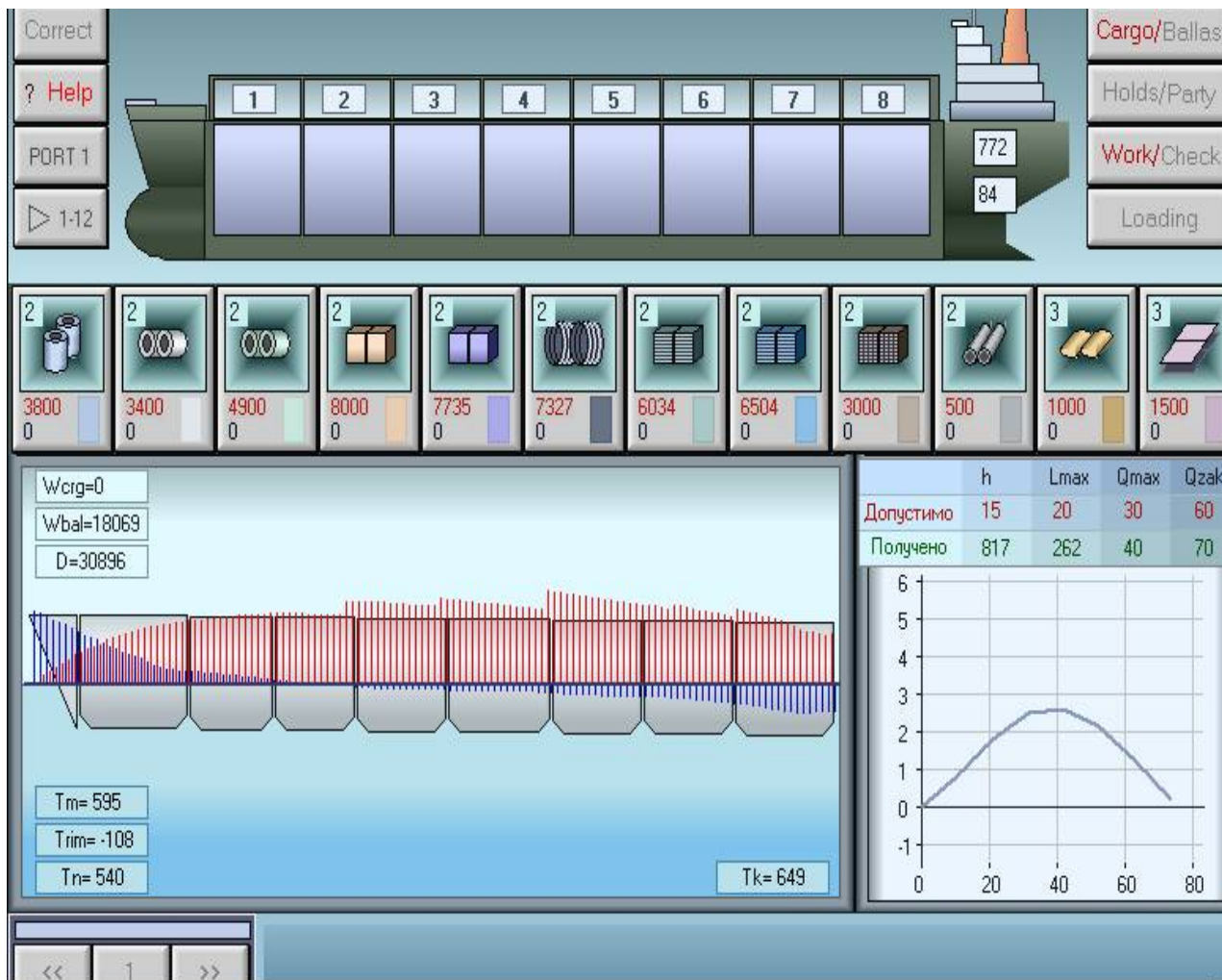


Рис. 1. Начальный интерфейс программы

принятого на судно ($W_{crg} = 0$), вес балласта (в начальном состоянии судном принят балласт полностью $W_{bal} = 18069$ т) и водоизмещение D . В правой нижней части экрана выводится экспресс информация об остойчивости судна. Для размещения партий груза по трюмам судна следует выбрать партию груза, "кликнув" по соответствующей клавише, как показано на рис. 2 выбрана четвертая клавиша, а затем указывается трюм, в который планируется загрузка выбранной партии (в примере трюм 5). После этого с помощью клавиш в нижней левой части экрана выбирается часть загружаемой партии (в примере вся партия "1"), и на экране с учетом удельного погрузочного объема отображается загруженный трюм 5 (рис. 2). С учетом принятого груза изменяются параметры посадки судна, остойчивости и общей продольной прочности.



Рис. 2. Результаты загрузки четвертой партии в трюм 5

Затем, как показано на рис. 3, в трюм 2 принята партия груза 5, а в трюм 7 загружены три партии груза 1, 9 и 12, что нашло свое отображение на схеме грузовых помещений судна и выводе информации о параметрах мореходной безопасности, которые находятся в допустимых пределах. Правда, изгибающие моменты близки к пределу в кормовой оконечности судна. Поэтому, как показано на рис. 4, произведено изменение распределения балласта, для чего клавишей "Cargo/Ballast" выбран режим балластирования и "кликанием" носового подвесного балластного танка производится его осушение. Из рис. 4 следует, что при этом угроза со стороны изгибающих моментов ликвидирована. По указанной процедуре производится размещение груза по трюмам судна, производя текущий контроль параметров мореходной безопасности судна, обеспечивая их допустимые значения.

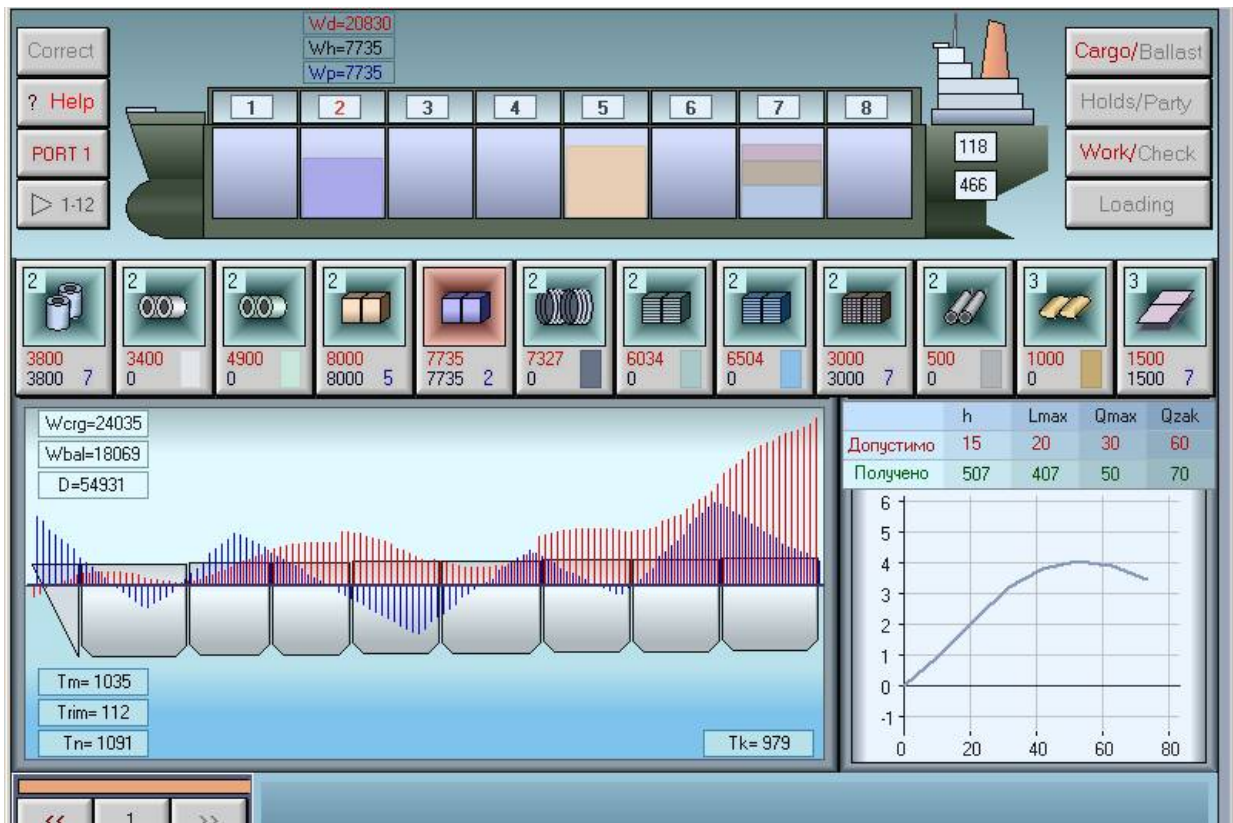


Рис. 3. Загрузка трюмов 2 и 7

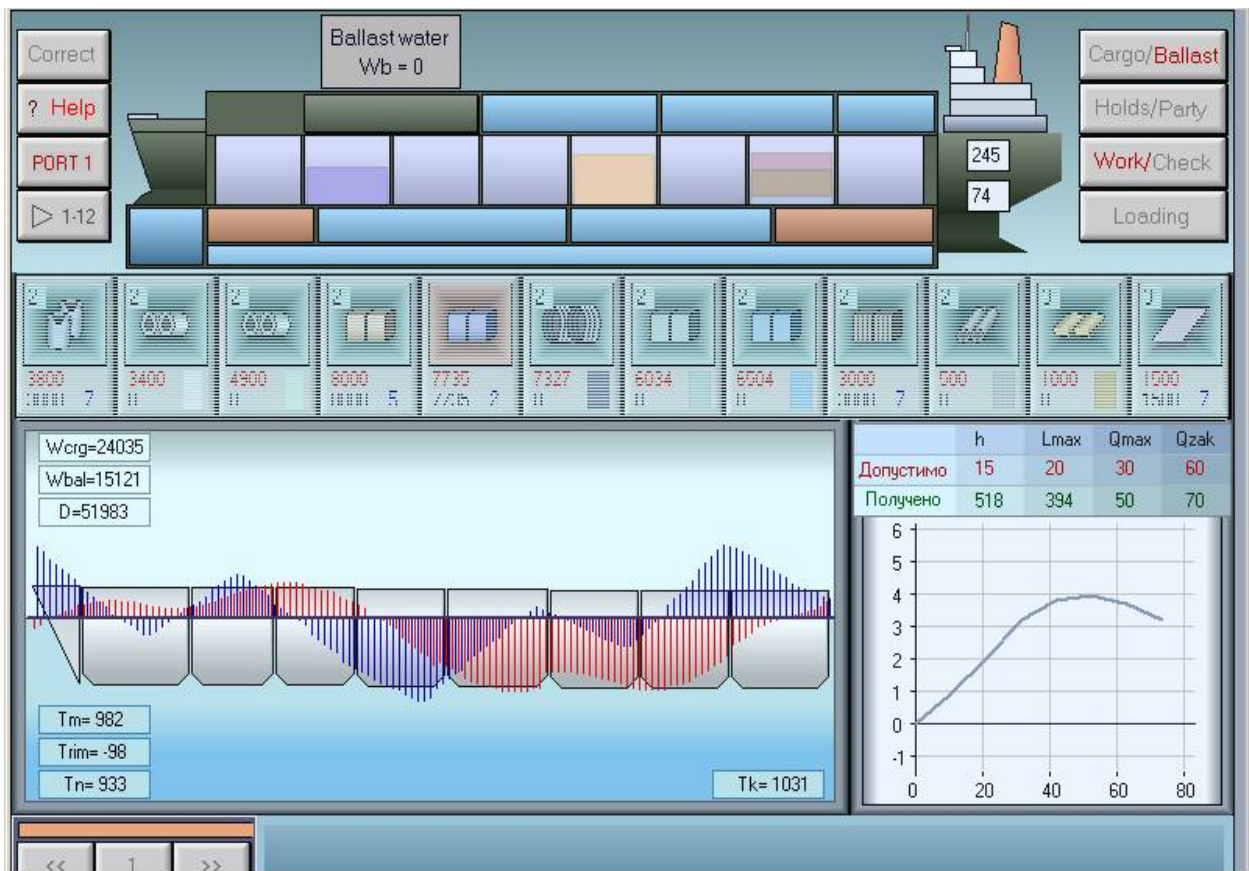


Рис. 4. Осушение балластного танка

На рис. 5 показано окончательное размещение груза по трюмам. В результате балластом заполнен только ахтерпик, а груз размещен по всем трюмам. К перевозке не принята только вторая партия груза из-за полного использования грузоподъемности судна.

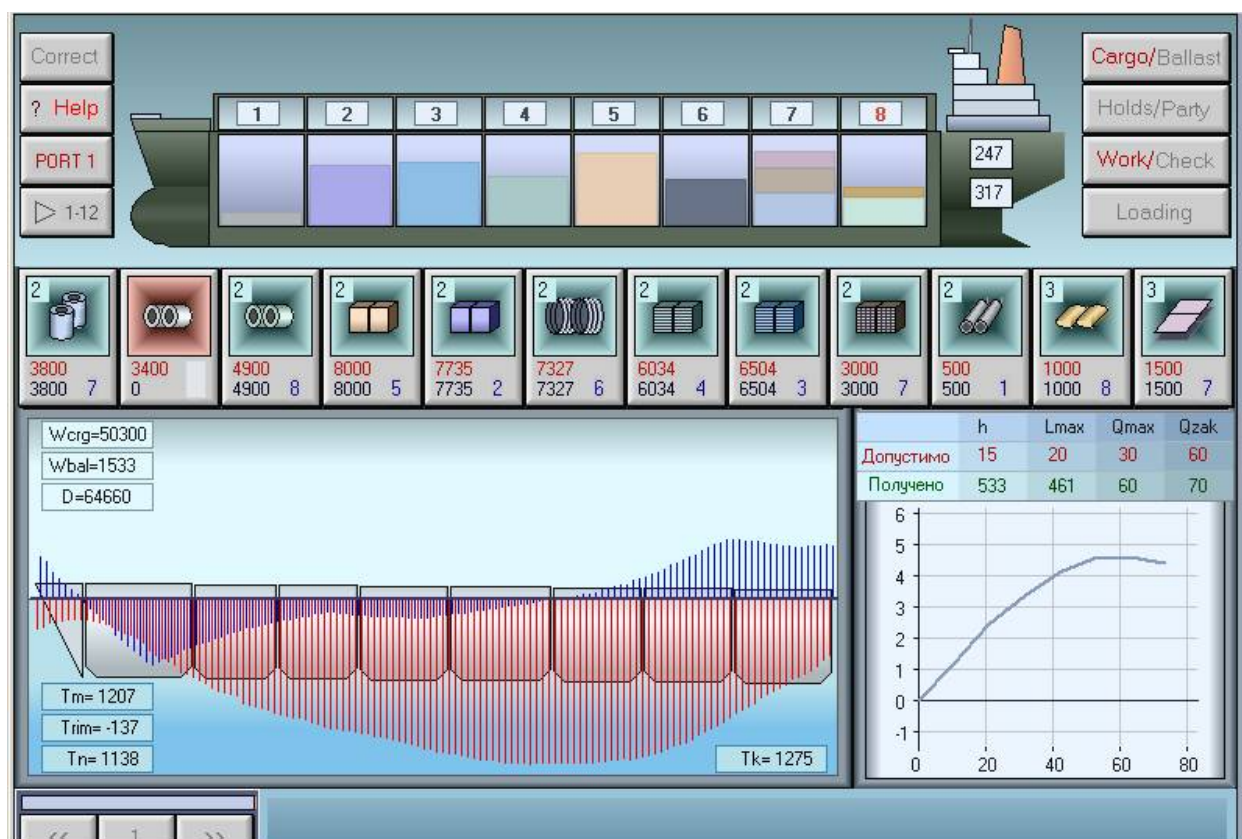


Рис. 5. Окончательное размещение груза

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, предложен способ размещения груза по трюмам и балласта по танкам с учетом оперативного контроля параметров мореходной безопасности судна, который обеспечивает безопасную загрузку судна. В дальнейшем предлагается исследовать возможность использования предлагаемого способа для оптимальной загрузки судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов./ Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Судовождение. – 2004. - № 7. – С. 3 - 10.
2. Чепок А.О. Оптимизация загрузки судна тарно-штучными грузами в автоматизированных системах. / Чепок А.О. // Проблемы техники: Научно-производственный журнал / ОНМУ, ХНУ – 2013. – № 4. – Одесса: Одесский национальный морской университет, 2013. – С. 44–51.
3. Николаева Л.Л. Разработка метода оперативной оценки критериев

мореходности судна. / Николаева Л.Л., Гайченя А.В., Соколов М.Ю.// Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 16. – Одесса: ИздатИнформ, 2009. - С.132-136.

4. Николаева Л.Л. Способ формализации формы судовых грузовых помещений нестандартного типа / Николаева Л.Л., Гайченя А.В. // Автоматизация судовых технических средств. – 2010. - № 16. – С. 71-82.
5. Гайченя А.В. Ввод в базу данных характеристик судна / Гайченя А.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 18. – Одесса: ИздатИнформ, 2010. - С. 64-67.
6. Гайченя А.В. Ввод информации о танках в базу данных судна / Гайченя А.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 19. – Одесса: ИздатИнформ, 2011. - С. 71-75.

УДК 656.61.052

**LINEAR APPROXIMATION OF THE MANEUVERING ROUTE
BY USING OF NATURAL ALGORITHMS OF OPTIMIZATION****ЛИНЕЙНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ МАРШРУТА
МАНЕВРИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
НАТУРАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ**

V. Dvoretzky, *PhD associate professor*, **O. Shyshkin**, *PhD associate professor*,
S. Shyshkin, *Chief officer, PhD student*

В.А. Дворецкий, *к.т.н., доцент*, **А.В. Шишкин**, *к.т.н., доцент*,
С.А. Шишкин, *ст. помощник, аспирант*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Украина

ABSTRACT

Discusses the principles of algorithm in the system of ensuring security of navigation based on biological approaches. In the last two decades during optimization of the difficult systems researchers apply the natural mechanisms of search of the best decisions all more often. Today scientific direction of Natural Computing is intensively developed uniting mathematical methods principles of natural mechanisms of making decision are stopped up in that. These mechanisms provide effective adaptation of flora and fauna to the environment during millions of years. The imitation of self-organization of ant colony makes basis of ant algorithms of optimization - new perspective method of natural calculations. The colony of ants can be examined as a multiagent system in that every agent (ant) functions autonomically on very simple rules. In a counterbalance to almost primitive behavior of agents, behavior of all system turns out to my surprise reasonable. In work the algorithm of calculation of a route of a ship with a maneuver based on linear approximation using the least squares method. The problem of linear approximation consists in finding the coefficients of the linear relationship, in which a function of two variables is minimum. To assess the quality of maneuvering in the presence of static obstacles use the ant optimization algorithm suitable for use in marine decision support systems in real-time. Important property of ant algorithms is unconvergence: even after the large number of iterations the great number of variants of decision is simultaneously investigated, because of whatever the protracted dwells are in local extremums. All of it allows to recommend application of ant algorithms for the decision of intricate combinatorics problems of optimization. The conducted computer experiments show that ant algorithms find the effective and safe routes of the following considerably quicker, than exact methods of combinatorics optimization. Efficiency of ant algorithms increases with the height of dimension of task of optimization.

Keywords: transport process, safety of navigation, ant optimization algorithm, technical means of navigation, a model of maneuvering.

РЕФЕРВАТ

Розглядаються принципи побудови алгоритму в системі забезпечення безпеки судноводіння, заснованого на біологічних підходах. В останні два десятиліття при оптимізації складних систем дослідники все частіше застосовують природні механізми пошуку найкращих рішень. Сьогодні інтенсивно розробляється науковий напрямок Natural Computing— «Природні обчислення», що поєднує математичні методи, в яких закладені принципи природних механізмів прийняття рішень. Ці механізми забезпечують ефективну адаптацію флори і фауни до навколишнього середовища протягом мільйонів років. Імітація самоорганізації мурашиної колонії складає основу мурашиних алгоритмів оптимізації — нового перспективного методу природних обчислень. Колонія мурах може розглядатися як багатоагентна система, в якій кожен агент (мураха) функціонує автономно за дуже простими правилами. На противагу майже примітивній поведінці агентів, поведінка всієї системи виходить напрочуд розумним. У роботі розроблено алгоритм розрахунку маршруту судна при маневрі на основі лінійної апроксимації методом найменших квадратів. Завдання лінійної апроксимації полягає в знаходженні коефіцієнтів лінійної залежності, при яких функція двох змінних приймає найменше значення. Для оцінки якості маневрування при наявності статичної перешкоди використовується мурашиний алгоритм оптимізації, придатний для використання в судових системах прийняття рішень у режимі реального часу. Важливою властивістю мурашиних алгоритмів є неконвергентність: навіть після великої кількості ітерацій одночасно досліджується безліч варіантів рішення, внаслідок чого не відбувається тривалих часових затримок у локальних екстремумах. Все це дозволяє рекомендувати застосування мурашиних алгоритмів для вирішення складних комбінаторних задач оптимізації. Проведені комп'ютерні експерименти показують, що мурашині алгоритми знаходять ефективні і безпечні маршрути прямування значно швидше, ніж точні методи комбінаторної оптимізації. Ефективність мурашиних алгоритмів збільшується зі зростанням розмірності завдання оптимізації.

Ключові слова: транспортний процес, безпека судноводіння, мурашиний алгоритм оптимізації, технічні засоби навігації, модель маневрування.

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами

Каждому транспортному процессу присущ фактор риска. Для морского транспорта этот риск определяется объективно существующей опасностью повреждения корпуса судна или его технических средств, разрушения, повреждения или потери груза, нанесения ущерба окружающей среде, а также опасностью для жизни членов экипажей судов.

Для судна, как объекта повышенной опасности, причинами существования риска являются:

- обладание огромной кинетической энергией. Они при своем движении создают угрозу, как для себя, так и для других судов и неподвижных объектов (средства навигационного оборудования, подводные кабели связи, газо- и нефтепроводы, морские объекты и т.п.);
- огнеопасное топливо для обеспечения движения судов;
- токсичные, пожаро- и взрывоопасные грузы.

В дополнение к этому в процессе судовождения имеет место наличие риска возникновения аварийных ситуаций, связанных с возможными неправильными и необоснованными действиями судоводителей при выработке решений по управлению судном.

Меры по уменьшению рисков рассматриваются и реализуются морской общественностью по направлениям технического совершенствования устройства корпуса и технических средств судна, организационного и юридического обеспечения повышения безопасности мореплавания, а в судовождении - разработки более совершенных схем взаимодействия системы судно-оператор (СО) для обеспечения безошибочного функционирования команды мостика.

Комплекс современных средств навигации на ходовом мостике судна, регламентированных главой V СОЛАС, обеспечивает судоводителя первичными навигационными данными, необходимыми для эффективного и безопасного судоходства. При этом выработка решений по управлению судном остается за человеком – вахтенным офицером ходового мостика судна. Человеческий фактор согласно долговременной статистике морских инцидентов имеет превалирующее значение на безопасность мореплавания в сравнении с проблемами технического характера.

Система поддержки принятия решений (СППР) [1] в настоящее время является ключевым направлением развития морской навигации с учетом запросов непосредственно судоводителей. В отличие от традиционных навигационных систем СППР дополнительно выполняют функции анализа и оценки текущей обстановки и предложения судоводителю решений в случае сложных ситуаций.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Одним из подходов к решению задачи оптимизации маршрута и динамики судна является применение так называемых натуральных и природных алгоритмов, которые объединяют биологические механизмы живой природы. К ним относятся генетические алгоритмы, эволюционное программирование, ДНК-вычисления, клеточные автоматы, муравьиные и пчелиные алгоритмы и др. [2]. В статье [3] на основе муравьиного алгоритма оптимизации (МАО) предложено решение оптимизации маршрута расхождения судов с учетом требований МППСС-72 и ограничений типа статических препятствий.

Полученный расчетный маршрут представляется при этом несколько флюктуирующей траекторией относительно главного пути. Для адаптации решения МАО необходима соответствующая линейризация прогнозируемого маршрута судна и вычисление поворотных точек.

Целью статьи является разработка алгоритма для расчета маршрута судна при маневре на основе линейной аппроксимации методом наименьших квадратов.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Задача линейной аппроксимации заключается в нахождении коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных a и b принимает наименьшее значение:

$$F(a,b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2 = \min.$$

В общем случае при сложной конфигурации маршрута, который дает МАО, необходимо разбиение всего интервала на $k > 1$ интервалов, для каждого из которых находятся свои пары коэффициентов (a_k, b_k) . При $k > 1$ имеем кусочно-линейную аппроксимацию. В такой постановке задачи основной проблемой является определение собственно числа k интервалов аппроксимации, поскольку методы вычисления коэффициентов a, b хорошо известны из математики. Для определения поворотной точки предложено последовательное вычисление функции $F(a, b)$ для точек $i = 1, 2, \dots$ до тех пор, пока ошибка аппроксимации находится в заданных допустимых пределах: $F(a, b) \leq \rho$. При превышении этого порога принимается решение о достижении поворотной точки и просчитывается следующий отрезок аппроксимации.

Для нахождения решения задач расхождения судов между собой или безопасного расхождения с препятствиями при интенсивном маневрировании большое значение имеет построение формальной модели ситуаций [1]. Она должна отражать реальную обстановку с учетом всех ограничений на выполнение маневрирования навигационного, гидрографического, ситуационного и др. характеров.

Для применения необходимо, чтобы модель:

- отражала существенные стороны сложившейся ситуации и характер её развития с требуемой полнотой и точностью (адекватность модели);
- была простой по структуре и имела небольшое количество параметров (экономность модели);
- обеспечивала возможность практического использования (реализуемость модели);
- служила существенным вспомогательным средством при выборе решений (целенаправленность модели).

Математическая модель должна позволять прогнозировать ситуацию на определенное время вперед, чтобы иметь запас времени для принятия обоснованного решения для предотвращения аварийной ситуации.

Для задач судовождения общепризнанной моделью [1] навигационных условий служит навигационная карта. Она обладает высокой информативностью, закладываемой при создании и поддерживаемой на уровне современности своевременной корректурой. Применение электронных карт делает процесс работы с картами еще более унифицированным, благодаря возможности размещения на карте информации от различных источников. Для обеспечения безопасного маневрирования необходимо и достаточно ограничить район акватории за пределы которого СО не должно выходить для обеспечения навигационной безопасности.

Известны различные алгоритмы пространственного поиска, применяемые в технических системах [1], характеризующиеся четкими правилами выбора действий, планированием и построением модели. Недостатком таких алгоритмов является необходимость анализа больших объемов информации об объекте и окружающей среде. Для устранения этого недостатка в технических системах могут быть использованы так называемые „природные вычисления“ [2]- алгоритмы, основанные на функционировании биологических систем. Такие технические системы относятся к интеллектуальным, они способны, подобно живым организмам, принимать решения о собственном поведении в условиях неопределенности и неполноты информации, основываясь на отказе от планирования и моделирования в пользу простых правил поведения [5].

Упомянутым выше условиям удовлетворяет представленный на рис. 1 результат моделирования разработанного алгоритма и реализованного в системе Матлаб для сценария навигационной ситуации, анализируемой в работе [3].

В соответствии с принятым сценарием СО, находясь в исходной точке А, должно уступить путь другому судну справа и пересекающего направление движения судна-оператора (пересечение курсов, цель справа впереди траверза СО). Поэтому СО делает маневр вправо и затем возвращается на начальную линию маршрута. При этом по сценарию вводится дополнительное ограничение в виде статического препятствия справа от СО.

Для получения данных о расположении статических и динамических целей относительно СО используется радиолокационное оборудование. Следует учитывать ограничения и погрешности применяемой радиолокационной аппаратуры, влияющей на качество получаемых навигационных параметров [4], что немаловажно для обеспечения достоверности выработки маршрута маневрирования.

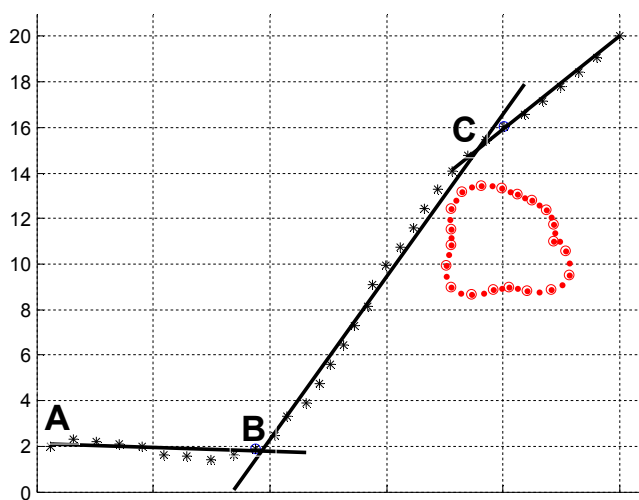


Рис. 1. Линейная аппроксимация маршрута, рассчитанного по МАО

Первоначальный маршрут, рассчитанный по МАО, отмечен на рисунке звездочками. Такая интерпретация не годится для судоводителя. Поэтому требуется кусочно-линейная аппроксимация флуктуирующей траектории пути СО. В результате расчета получен маршрут из начальной точки А с двумя поворотными точками В и С.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, совместно с МАО получен расчетный алгоритм маршрута маневрирования при наличии статического препятствия, пригодный для использования в судовых СППР реального времени, при том, что важным свойством муравьиных алгоритмов является неконвергентность: даже после большого числа итераций одновременно исследуется множество вариантов решения, вследствие чего не происходит длительных временных задержек в локальных экстремумах.

Так как более точная и четкая проработка маршрута должна включать в себя учет возможных ограничений в существующей навигационно-гидрографической обстановке в районе плавания, оригинальных маневренных характеристик судна и особенностей работы технических средств и систем навигации, то продолжение исследований лежит в плоскости создания унифицированного и всеобъемлющего алгоритма выработки действий на основе совершенствования системы поддержки принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко – Одесса: Феникс, 2010. – 296 с.
2. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы / Exponenta Pro. Математика в приложениях. № 4 (4), 2003. С. 70 – 75.

3. Шишкин А.В., Шишкин С.А. Оптимизация маневра расхождения судов с помощью муравьиного алгоритма // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. Одесса: «ИздатИнформ», 2016, С. 157 – 165.
4. Дворецкий В. А. Погрешности РЛС, оказывающие влияние на точность определения радиолокационного пеленга / В. А. Дворецкий // Матеріали наук. - метод. конф. "Морський транспорт: управління, економіка, безпека", – Одесса: ОНМА, 2010. – С. 55–57.
5. Непомнящих В. А. Модели автономного поискового поведения // От моделей поведения к искусственному интеллекту / Под общ. ред. В. Г. Редько. М.: УРСС, 2006. С. 200 – 242.

УДК 656.61.052.484

**ACCOUNT OF DYNAMIC MODELS OF ROTATORY MOTION
OF SHIP AT PROVIDING OF SAFETY OF NAVIGATOR****УЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО
ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
СУДОВОЖДЕНИЯ***Y.V. Kazak, PhD student, G.E. Kalinichenko, PhD student**Ю.В. Казак, аспирант, Г. Е. Калиниченко, аспирант**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

It is shown that at sailing of ship in the compressed terms is achieved minimization of risks of origin of emergency situation at the use of dynamic model of rotatory motion of ship of the third order. Taking into account the use of this model procedure of determination of vector's position error and forming of region of dangerous ships is considered at the external process control of divergence.

It is marked in work, that at the turn of ship one of reasons of appearance of vector's error in relation to the next point of output of ship on a new course is the error of position angle of feather of helm, thus in the case of appearance of this error the resulted mechanism of forming of vector's error.

It is shown in the article, that rapprochement of two ships can be analyzed by the region of dangerous courses, that is represented on the plane of courses of ships, thus overhead and lower by the scopes of region there are points which meet condition of equality distance of the shortest rapprochement and maximum - possible distance. Points between the scopes of region answer the courses of ships, at which distance of the shortest rapprochement of more small after maximum - possible distance, that characterizes dangerous rapprochement of ships.

In the case of determination of scopes of region of dangerous courses without taking into account inertia of ships at a turn ships will divide in the distance, that more small after maximum - possible distance. Therefore, for the account of inertia of turn it is necessary maximum - to advance possible distance by the proper amendment. The size of this amendment is simply determined by the dynamic model of rotatory motion of ship, and accordance of value of amendment with true is determined by the degree of adequacy of dynamic model of rotatory motion of ship to the real process of turn of ship. Thus, the use of model of turning of ship depends on the degree of accordance of dynamic model of rotatory motion of ship to the real process of his turn.

The most adequate dynamic model of rotatory motion of ship, which is described by differential equalizations of the third order, is considered in work.

It is marked that the turn of ship consists of two phases of laying of feather of helm. At first, on the first phase, position angle of helm which is contained in such position some time domain is conducted in the initial moment of time. Then position angle of helm is conducted in other side on that size of и inertia of turn of ship is extinguished. As a result, a ship goes out on the inflicted course, angular speed of turn diminishes to the zero, and the feather of helm is driven to the diametral plane of ship.

Keywords: safety of navigation, dynamic model of agility of ship, vector's error, region of dangerous courses.

РЕФЕРАТ

Показано, що при плаванні судна в стислих умовах мінімізація ризиків виникнення аварійної ситуації досягається при використанні динамічної моделі обертального руху судна третього порядку. З урахуванням використання цієї моделі розглянуто процедуру визначення векторіальної позиційної похибки і формування області небезпечних суден при зовнішньому управлінні процесом розходження.

В роботі відмічено, що при повороті судна однією із причин появи векторіальної похибки відносно прогнозуємої точки виходу судна на новий курс є похибка перекладки пера керма, причому в разі появи цієї похибки приведений механізм формування векторіальної похибки.

В статті показано, що зближення двох суден може аналізуватися областю небезпечних курсів, що відображається на площині курсів суден, при цьому верхньою і нижньою межами області є точки, які задовольняють умові рівності дистанції найкоротшого зближення та гранично - допустимої дистанції. Точки між межами області відповідають курсам суден, при яких дистанція найкоротшого зближення менша за гранично - допустиму дистанцію, що характеризує небезпечне зближення суден.

В разі визначення меж області небезпечних курсів без урахування інерційності суден при повороті судна розійдуться на відстані, що менша за гранично - допустиму дистанцію. Тому для урахування інерційності повороту необхідно гранично - допустиму дистанцію збільшити на відповідну поправку. Величина цієї поправки однозначно визначається динамічною моделлю обертального руху судна, а відповідність значення поправки до істинного визначається ступенем адекватності динамічної моделі обертального руху судна реальному процесу повороту судна. Таким чином, використання моделі поворотності судна залежить від ступеня відповідності динамічної моделі обертального руху судна реальному процесу його повороту.

В роботі розглянуто найбільш адекватну динамічну модель обертального руху судна, яка описується диференціальними рівняннями третього порядку.

Відзначено, що поворот судна складається із двох фаз кладки пера керма. Спочатку, на першій фазі, в початковий момент часу проводиться перекладка керма, яке утримується в такому положенні деякий інтервал часу. Потім проводиться перекладка керма в іншу сторону на ту ж величину и гаситься

інерція повороту судна. В результаті судно виходить на завданий курс, кутова швидкість повороту зменшується до нуля, а перо керма приводиться в діаметральну площину судна.

Ключові слова: безпечність судноводіння, динамічна модель обертального руху судна, векторіальна похибка, область небезпечних курсів.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Обеспечение безопасности судовождения в стесненных районах плавания является одной из наиболее актуальных проблем, решение которой способствует снижению числа навигационных аварий, возникающих из-за посадок судов на мель. Число навигационных аварий можно снизить, повысив точность управления судном при выполнении им поворотов, для чего необходимо учитывать его динамику.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] рассмотрены векториальные погрешности, возникающие при повороте судна. Получены аналитические выражения для погрешностей, которые появляются из-за неточностей при перекладке пера руля и момента начала поворота. Влияние погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна с учетом влияния его динамики на вращательное движение рассмотрено в работе [2], а в работе [3] приведен способ формирования области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик поворотливости.

Формулировка целей статьи (постановка задачи) Целью статьи является анализ влияния динамической модели вращательного движения судна прогноза его поворота на безопасность маневрирования судна в стесненных районах.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Как показано в работе [1], при повороте судна одной из причин появления векториальной погрешности $S^{(\beta)}$ относительно прогнозируемой точки выхода судна на новый курс является погрешность перекладки пера руля $\Delta\beta_k$.

В случае появления погрешности $\Delta\beta_k$ угол кладки пера руля равен $\beta_k + \Delta\beta_k$, и к концу маневра, когда курса судна изменяется с величины K_0 до значения K_y , погрешность $S^{(\beta)}$ определяется величиной отрезка между прогнозируемой N и реальной M точками выхода судна на новый курс, а ее составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ равны [1]:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M \text{ и } S_y^{(\beta)} = y_N - y_M ,$$

где x_M и y_M - координаты точки М при наличии погрешности $\Delta\beta_k$;

x_N и y_N - координаты точки N при отсутствии погрешностей.

Причем погрешность $S^{(\beta)}$ зависит от степени адекватности динамической модели вращательного движения реальному процессу поворота судна.

В работе [2] показано, что сближение двух судов характеризуется областью опасных курсов Ω , которая отображается на плоскости курсов судов. Верхней и нижней границами области Ω являются точки (K_1, K_2) , которые соответственно удовлетворяют уравнениям:

$$K_2^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin\left[\frac{V_1}{V_2} \sin(K_1 - \gamma^{(1)})\right];$$

$$K_2^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin\left[\frac{V_1}{V_2} \sin(K_1 - \gamma^{(2)})\right],$$

где $\gamma^{(1,2)} = \alpha \pm \arcsin D_d / D$; α и D - соответственно пеленг и дистанция между судами; D_d - предельно-допустимая дистанция сближения.

Если точка (K_1, K_2) находится на границе или вне области опасных курсов Ω угроза столкновения отсутствует ($D_{\min} \geq D_d$), в противном случае дистанция кратчайшего сближения D_{\min} меньше предельно-допустимой дистанции D_d , и сближение судов является опасным. Для безопасного расхождения необходимо выбрать точку (K_{1y}, K_2) , соответствующую курсу уклонения оперирующего судна K_{1y} , которая находится на границе области опасных курсов Ω .

Если рассчитать границы области опасных курсов Ω с помощью последних выражений, то не будет учтена инерционность судна при повороте, и расхождение произойдет не в предельно-допустимой дистанции D_d , а на величину ΔD_d ближе [2]. Следовательно, для учета инерционности поворота необходимо предельно-допустимую дистанцию увеличивать до значения $D_d + \Delta D_d$ и суда разойдутся на дистанции D_d . Величина поправки ΔD_d однозначно определяется динамической моделью вращательного движения судна и приближение ее значения к истинному определяется степенью адекватности динамической модели вращательного движения реальному процессу поворота судна. Таким образом, в рассмотренных случаях использования модели поворотливости судна определяющим обстоятельством является степень соответствия динамической модели вращательного движения судна реальному процессу его поворота.

В работе [4] рассмотрены различные модели вращательного движения судна, анализ которых показывает, что наиболее адекватная динамическая модель вращательного движения судна описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$T_1 T_2 \ddot{K} + (T_1 + T_2) \dot{K} + K = K_{\omega} \beta_k ,$$

где T_1 и T_2 - постоянные времени, характеризующие инерционные свойства судна;

β_k - угол кладки руля;

K_ω - коэффициент эффективности руля.

Решение приведенного дифференциального уравнения имеет следующий вид:

$$K = K_0 + \omega_r t + (\omega_0 - \omega_r) \{T_1^2 [1 - \exp(-t/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-t/T_2)]\} / (T_1 - T_2), \quad (1)$$

где ω_0 и ω_r - соответственно начальное значение угловой скорости поворота и частное решение исходного дифференциального уравнения.

Поворот судна содержит две фазы кладки пера руля. Сначала, на первой фазе, в начальный момент времени производится перекладка руля на угол β_k и руль удерживается в таком положении в течение интервала времени Δt_k . Затем производится перекладка руля на противоположный борт на ту же величину и гасится инерция поворота судна в течение интервала времени Δt , по истечению которого судно выходит на заданный курс, угловая скорость поворота обращается в нуль, а перо руля приводится в диаметрально плоскость судна. На первой фазе поворота, длительность которой составляет интервал времени Δt_k , выражение (1) приобретает следующий вид:

$$K = K_0 + a_\omega \{t - \{T_1^2 [1 - \exp(-t/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-t/T_2)]\} / (T_1 - T_2)\}. \quad (2)$$

На второй фазе поворота происходит перекладка руля на противоположный борт на угол $-\beta_k$ и в течение интервала времени Δt происходит одерживание судна. Для этой фазы поворота значение текущего курса описывается зависимостью:

$$\begin{aligned} \tilde{K} = K - a_\omega t + a_\omega \{2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2)\} \times \\ \times \{T_1^2 [1 - \exp(-t/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-t/T_2)]\} / (T_1 - T_2). \end{aligned} \quad (3)$$

Для вычисления интервалов времени Δt_k и Δt необходимо составить систему уравнений, которая в общем случае формализует требования поворота на заданное приращение курса ΔK , а также обращение в нуль угловой скорости на момент времени выхода на новый курс и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \Delta K = K(\Delta t_k) + \tilde{K}(\Delta t) \\ \omega(\Delta t_k, \Delta t) = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

С учетом выражений (2) и (3) и системы уравнений (4) находим выражения для расчета интервалов времени Δt_k и Δt методом простых итераций с начальным приближением $\Delta t_k = \Delta K / a_\omega$:

$$\Delta t_k = \Delta t + \{T_1^2 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_2)]\} / (T_1 - T_2) - \{2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2)\} \times \{T_1^2 [1 - \exp(-\Delta t / T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\Delta t / T_2)]\} / (T_1 - T_2) + \Delta K / a_\omega. \quad (5)$$

$$\Delta t = -T_1 \ln \left\{ (T_2 / T_1) \exp(-\Delta t / T_2) + [(T_1 - T_2) / T_1] \times \{2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2)\}^{-1} \right\}. \quad (6)$$

Таким образом, для расчета величин Δt_k и Δt методом простых итераций, задаваясь предыдущим значением Δt_k , с помощью выражения (6) вычисляется значение Δt , которое затем подставляется в выражение (5) для расчета последующего значения Δt_k .

Для определения погрешности $S^{(\beta)}$ необходимо определить координаты точек М и N. Координаты точки М определяются выражениями:

$$x_M = \int_0^{\Delta t_k} V_0 \sin[K_0 + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_0 \sin[K_0 + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt, \quad (7)$$

$$y_M = \int_0^{\Delta t_k} V_0 \cos[K_0 + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_0 \cos[K_0 + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt, \quad (8)$$

причем в выражениях (2), (3), (5) и (6) применяем $a_\omega = k_\omega \beta_k$.

Аналогично находятся выражения для координат x_N и y_N точки N, только при их расчете по формулам (7) и (8) значение $a_\omega = k_\omega (\beta_k + \Delta \beta_k)$. При расчете координат с помощью (7) и (8) определенные интегралы, которые входят в эти формулы, не выражаются в элементарных функциях и их значения находятся численными методами, например, используется метод Симпсона.

Аналогично, расчет величины поправки ΔD_d также производится с использованием расчета координат судна с помощью выражений (7) и (8), что обеспечивает безопасное расхождение опасно сближающихся судов методом их внешнего управления.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, минимизация рисков при плавании судна в стесненных условиях достигается при использовании рассмотренной в работе динамической модели вращательного движения судна третьего порядка.

В дальнейшем следует рассмотреть целесообразность использования моделей вращательного движения судна с учетом времени перекладки пера руля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворохобин И.И. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна/ Ворохобин И.И., Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С.
2. Калиниченко Г.Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик / Калиниченко Г.Е., Пасечнюк С.С. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23 – С. 28 – 33.
3. Казак Ю.В. Влияние погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 96-100.
4. Вагущенко Л.Л. Судно как объект автоматического управления/ Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОГМА, 2000. – 140 с.

УДК 629.123.03

**BY ADDITIVE ALGORITHM FOR DISPOSITION OF
DANGEROUS GOODS ON CONTAINER SHIP**

**ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ
РОЗМІЩЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА
КОНТЕЙНЕРНОМУ СУДНІ**

Kamienieva A., *assistant professor*, **Kamieniev K.**, *navigator*
Камєнєва А.В., *доцент*, **Камєнєв К. І.**, *ш.д.п.*

Національний університет «Одеська морська академія», Україна
National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

ABSTRACT

High competition in container shipping industry reinforces the utter importance of safe, timely and sound cargo delivery. In order to ensure those qualities preliminary stowage planning that ensures vessels' seaworthiness components is a must. These include, among others, dangerous goods properties and compatibility. Nowadays stowage planning is done using stowage planning software. Although known programs do check dangerous goods stowage positions and compatibility they can't allocate containers automatically. Therefore, automation of the process is considered relevant.

To ensure safety when compiling a stowage plan human factors must be taken into account. Human errors are responsible for most cases of marine accidents, therefore solutions capable of mitigating them are required. Stowage planning software does that on the preliminary planning stage by calculating parameters responsible for seaworthiness, such as metacentric height (GM), sagging and hogging moments etc. While the parameters provide useful data for any ship's voyage planning, in container vessels' case they are also highly accurate. The reason for that is set container positions in vessels' holds, that allows to make accurate predictions of each unit's center of mass. It is noteworthy that all known stowage planning software is closed source so its algorithms can't be verified.

The article attempts to use a mathematical method for containers with dangerous goods allocation onboard of a ship. The attempt uses the additive algorithm to try and find allowable containers positions prior to loading. A mathematical model is built for dangerous goods stowage optimization.

Boolean programming methodology is applied to the problem. The usage simplifies calculations as all variables can only have two values: "0" or "1". The algorithm is of branch and bound design paradigm and its calculations are limited by operations of addition and subtraction. The main idea consists of a systematic enumeration of possible candidate solutions, but the enumeration procedure allows to eliminate the solutions it can prove are not optimal.

The results received demonstrate the possibilities of using the method for preliminary stowage planning.

Keywords: dangerous goods, container ships, additive algorithm.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

Через велику конкуренцію на контейнерному флоті вимоги своєчасної, збереженої та безпечної доставки вантажів є дуже важливими. Попереднє планування розміщення контейнерів на судні вимагає врахування багатьох параметрів, у тому числі характеристик небезпечних вантажів і їх сумісності. На сучасному флоті для складання вантажного плану зазвичай використовуються вантажні програми. Однак слід зазначити, що відомі вантажні програми не обчислюють положення небезпечних грузів самостійно, а лише перевіряють правильність заданого користувачем розміщення небезпечних вантажів. Тому автоматизація розміщення небезпечних вантажів на контейнерному судні представляється актуальною.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язування даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Основним документом, який регламентує перевезення небезпечних вантажів морем, є IMDG Code (International maritime dangerous goods code, Міжнародний кодекс морського перевезення небезпечних вантажів) [1].

Правила розміщення і сегрегації небезпечних вантажів наведені в розділі 7 «Положення, що стосуються транспортних операцій» Міжнародного кодексу морського перевезення небезпечних вантажів [1]. Небезпечні вантажі розділені на класи і підкласи. У таблиці 1 наведені 9 класів небезпечних вантажів.

Таблиця 1. Класи небезпечних вантажів згідно з кодексом IMDG

Номер класу	Назва
Клас 1	Вибухові матеріали
Клас 2	Гази
Клас 3	Легкозаймисті рідини
Клас 4	Легкозаймисті тверді речовини; речовини, що можуть спонтанно запалитися, речовини, що виділяють легкозаймисті гази при контакті з водою
Клас 5	Окислюючі речовини та органічні перекиси
Клас 6	Токсичні та інфекційні речовини
Клас 7	Радіоактивні матеріали
Клас 8	Корозійні субстанції
Клас 9	Різні небезпечні субстанції та предмети

Крім загальних вимог (Таблиця 2) при перевезеннях небезпечних вантажів, до контейнерних суден пред'являються додаткові вимоги. Вимоги до сегрегації на контейнерних судах представлені в кодексі в вигляді таблиць сегрегації і у вигляді малюнків [1].

Таблиця 2. Таблиця сегрегації небезпечних вантажів

КЛАС	1.1 1.2 1.5	1.3 1.6	1.4	2.2	2.1	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9
1.1,1.2, 1.5	*	*	*	2	4	2	4	4	4	4	4	4	2	4	2	4	X
1.3, 1.6	*	*	*	2	4	2	4	3	3	4	4	4	2	4	2	2	X
1.4	*	*	*	1	2	1	2	2	2	2	2	2	X	4	2	2	X
2.1	4	4	2	X	X	X	2	1	2	X	2	2	X	4	2	1	X
2.2	2	2	1	X	X	X	1	X	1	X	X	1	X	2	1	X	X
2.3	2	2	1	X	X	X	2	X	2	X	X	2	X	2	1	X	X
3	4	4	2	1	2	2	X	X	2	1	2	2	X	3	2	X	X
4.1	4	3	2	X	1	X	X	X	1	X	1	2	X	3	2	1	X
4.2	4	3	2	1	2	2	2	1	X	1	2	2	1	3	2	1	X
4.3	4	4	2	X	X	X	1	X	1	X	2	2	X	2	2	1	X
5.1	4	4	2	X	2	X	2	1	2	2	X	2	1	3	1	2	X
5.2	4	4	2	1	2	2	2	2	2	2	2	X	1	3	2	2	X
6.1	2	2	X	X	X	X	X	X	1	X	1	1	X	1	X	X	X
6.2	4	4	4	2	4	2	3	3	3	2	3	3	1	X	3	3	X
7	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	X	3	X	2	X
8	4	2	2	X	1	X	X	1	1	1	2	2	X	3	2	X	X
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Цифри і символи, зазначені у таблиці, мають таке значення:

1 - «на відстані від»;

2 - «відокремлене від»;

3 - «відділена цілим відсіком або трюмом від»;

4 - «відділена продольно проміжним повним відсіком або трюмом від»;

X - необхідно звіритися зі Списком небезпечних товарів;

* - необхідно звіритися з пунктом 7.2.7.1 для встановлення правил сегрегації між товарами класу 1.

При складанні вантажного плану повинен враховуватися людський фактор, тому на сучасному флоті для складання вантажного плану використовуються вантажні програми, які зменшують його вплив і тим самим підвищують безпеку судноплавства [2]. При експлуатації будь-якого судна вантажні програми грають самостійну роль, а в разі експлуатації контейнеровозів вони дозволяють отримати результати з більшою точністю. Точність обумовлена тим, що вантажні місця контейнеровозів чітко визначені, припущення про центр ваги дають мінімальні зміни результатів [3]. Слід зазначити, що всі відомі програми працюють за закритими алгоритмами.

Формулювання мети статі (постановка задачі)

У даній роботі зроблена спроба використання математичного методу (адитивного алгоритму) для знаходження допустимого варіанту розміщення небезпечних вантажів на контейнерному судні в процесі завантаження.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Складемо математичну модель задачі оптимізації розміщення небезпечних вантажів на контейнерному судні. Позначимо через x_{ijklct} контейнер виду t з вантажем класу c в позиції (i, j, k) . Якщо контейнер знаходиться в позиції (i, j, k) , то відповідна змінна дорівнює 1, в іншому випадку вона дорівнює 0.

Вид контейнера позначений змінною t , яка може приймати значення:

$$t = \begin{cases} 1 & - \text{відкритий,} \\ 2 & - \text{закритий.} \end{cases}$$

Клас вантажу позначений змінною c . Змінна c може приймати 18 різних значень: 1 - якщо клас вантажу 1.1 (Таблиця 2), 2 - якщо клас вантажу 1.2, ..., 17 - якщо клас вантажу 9, 0 - якщо вантаж безпечний.

Таким чином,

$$x_{ijklct} = \begin{cases} 1, & \text{якщо контейнер виду } t \text{ з вантажем класу } c \text{ має позицію } (i, j, k), \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Нехай N_0 – число контейнерів з безпечними вантажами;

N_1 – число контейнерів з вантажами класу 1;

⋮

N_{17} – число контейнерів з вантажами класу 17;

N – загальне число контейнерів.

$$\text{Тоді } N = \sum_{c=0}^{17} N_c .$$

Розглянемо деякі обмеження:

$$- \text{ на загальне число контейнерів } - \sum_i \sum_j \sum_k \sum_c \sum_t x_{ijklct} = N ;$$

– на кількість контейнерів з безпечними вантажами – $\sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijk0t} = N_0$;

– на кількість контейнерів з вантажами класу 1 – $\sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijk1t} = N_1$;

...

– на кількість контейнерів з вантажами класу 17 – $\sum_i \sum_j \sum_k \sum_t x_{ijk17t} = N_{17}$.

Обмеження на розміщення контейнерів розглянемо на прикладі.

Нехай в позиції $(i0, j0, k0)$ знаходиться відкритий $(t = 1)$ контейнер класу 4.1 $(c = 8)$. Тодя $x_{i0, j0, k0, 8, 1} = 1$.

Як витікає з Таблиці 2 для відкритих контейнерів з вантажем класу 1.1 («4»):

$$x_{i0, j0, k, 1, 1} = 0 \text{ для } \forall k, \text{ тобто } \sum_k x_{i0, j0, k, 1, 1} = 0, (t=1, c=1)$$

$$x_{i, j0, k0, 1, 1} = 0 \text{ для } \forall i, \text{ тобто } \sum_i x_{i, j0, k0, 1, 1} = 0.$$

Обмеження для закритих $(t = 2)$ контейнерів класу 1.1:

$$x_{i0, j0, k, 1, 2} = 0 \text{ для } \forall k, \text{ тобто } \sum_k x_{i0, j0, k, 1, 2} = 0,$$

$$x_{i, j0, k0, 1, 2} = 0 \text{ для } \forall i, \text{ тобто } \sum_i x_{i, j0, k0, 1, 2} = 0.$$

Аналогічні обмеження для всіх типів розміщення контейнерів згідно з таблицею 2 і всіх класів вантажів.

В основному, всі обмеження мають вигляд: якщо $x_{i0, j0, k0, c0, t0} = 1$, то сума певних змінних $x_{i j k c t}$ дорівнює нулю. У вигляді нерівності ці обмеження виглядають так:

$$\sum_{ijklct} x_{ijklct} \leq N (1 - x_{i0, j0, k0, c0, t0}).$$

Розглянуту в даній роботі задачу оптимізації можна віднести до окремого випадку задач цілочисельного лінійного програмування - булевському програмуванню, в якому змінні можуть приймати лише два значення – '0' і '1'. Використання булевих змінних спрощує обчислювальні процедури (кожна змінна приймає всього лише 2 значення). Ця обставина враховується при розробці алгоритму вирішення задач з булевими змінними. У розглянутому алгоритмі обчислювальні операції обмежуються лише складанням і відніманням. Тому алгоритм вирішення задач з булевими змінними іноді називають адитивним алгоритмом. Цей алгоритм опирається на ідеї загального методу гілок і границь [4].

Для реалізації адитивного алгоритму оптимізаційна задача повинна мати такий вигляд.

$$\text{Мінімізувати } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j, \quad c_j \geq 0$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + S_i = b_i, \quad i=1,2,\dots,m;$$

$$x_j=0 \text{ або } 1, \quad j = 1,2,\dots,n, \quad S_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,m.$$

S_i – додаткова змінна, асоційована з i -тим обмеженням.

Симплекс-таблиця даної задачі визначає допустиме рішення, коли всі $c_j \geq 0$ [4]. Якщо деякі значення $c_j < 0$, задачу можна привести до необхідного виду за допомогою заміни $x_j = 1 - x_j$, де x_j – булева змінна, в цільовій функції і обмеженнях.

Основна ідея адитивного алгоритму полягає в переборі 2^n можливих рішень вихідної задачі. Процедура перебору здійснюється спеціальним чином, що дозволяє відкидати деякі рішення без безпосередньої перевірки. В кінцевому підсумку, реалізація адитивного алгоритму вимагає безпосереднього розгляду лише частини з 2^n можливих рішень.

У даній роботі зроблена спроба використовувати для розміщення небезпечних вантажів адитивний алгоритм [4]. Розглянуті вище обмеження на розміщення контейнерів, записані у вигляді нерівностей, приводяться до

$$\text{виду } \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + S_i = b_i \text{ введенням додаткової змінної } S_i.$$

Скорочена схема роботи алгоритму наступна. На першому кроці всі початкові змінні покладаються рівними нулю. Отримане рішення виявляється неприпустимим, тому що деякі додаткові змінні S_i набувають від'ємних значень. Тому деяким початковим змінним необхідно присвоїти значення 1. Далі здійснюється вибір однієї або декількох змінних з початкових, яким потрібно присвоїти значення 1. Метою цієї процедури є забезпечення допустимості рішення, тобто виконання умов $S_i \geq 0$ для всіх i . Зазначений вибір здійснюється за допомогою спеціальних тестів:

```
static public int test1(int[,] a, int [] si, int r)
{ ... }
static public int test2(int r, int [] c, int zmin, int zsol)
{ ... }
static public bool test3(int[,] a, int[] si, int [] nt)
{ ... }
static public int test4(int[,] a, int[] xnt, int[] si)
{ ... }
```

У тестовому прикладі розглядаються 13 контейнерів, серед яких два з небезпечним вантажем класу 4.1, розташовані в беї зазначеним на рис. 1 чином. Потрібно розмістити контейнер з вантажем класу 5.2.

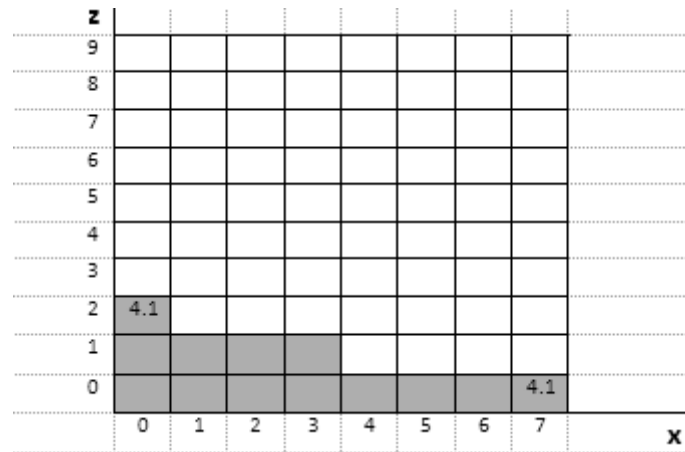


Рис. 1. Початкове розташування контейнерів в бейі

Аддитивний алгоритм реалізовано на об'єктно-орієнтованій мові програмування C # (стандартизована як ECMA-334 і ISO / IEC 23270) [5]. Для тестового прикладу, розглянутого вище, цей алгоритм дає наступне рішення (Рис. 2):

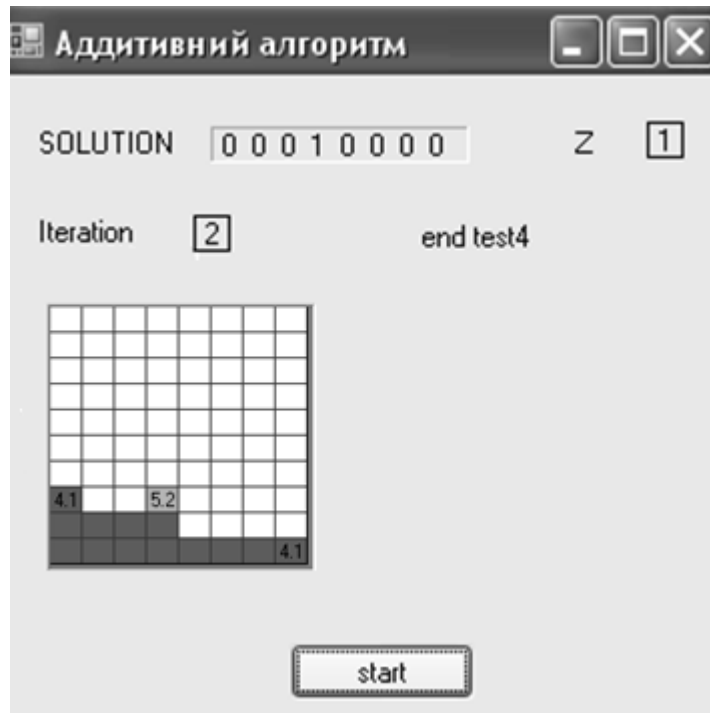


Рис. 2. Розміщення контейнера класу 5.2

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Отримана математична модель засвідчила свою адекватність. Отримане за допомогою адитивного алгоритму розміщення контейнерів з небезпечними вантажами класів 4.1 та 5.2 (Рис. 2) є допустимим. Таким чином, вважаємо за доцільне продовжити удосконалення математичної моделі, а також дослідження використання адитивного алгоритму для розміщення небезпечних вантажів на контейнерних судах.

ЛІТЕРАТУРА

1. IMDG Code: Vol. 1 – CPI Group (UK) Ltd, Croydon, CR0 4YY, 2012. – 486 p.
2. Комплексный метод загрузки судна тарно-штучными грузами с учетом инерционных сил качки: автореф. / А. О. Чепок – Одесса: ОНМА, 2014. – 22 с.
3. Перевозка опасных грузов: уч. пособ. / С. А. Кузнецов, Ю. А. Шумилов, А. Н. Давидчук, В. А. Халупенко, А. В. Халупенко. – Одесса: Издательство ОНМА, 2006. – 32 с.
4. Введение в исследование операций: В 2-х книгах. Кн.1. / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – 479 с.
5. C# 4.0 и платформа .NET 4 для профессионалов/ К. Нейгел, Б. Ивьен, Д. Глинн, К. Уотсон, М. Скиннер. – М.: Диалектика, Вильямс, 2011. – 1440 с.
6. Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» станом на 20 лист. 2012 р. / <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1644-14>.

УДК 621.391

THE USE OF ULTRA WIDEBAND TECHNIQUE'S FOR MARINE RADIOLOCATION'S TASKS**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ЗАДАЧ МОРСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ**

V. Koshevyu, *doctor of science, professor*, **A. Shevchenko**, *assistant*
В.М. Кошевой, *доктор наук, профессор*, **А.А. Шевченко** *аспирант*

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine
Національний Університет "Одеська Морська Академія", Україна

ABSTRACT

The reception antenna diagram side lobe's level suppression algorithm for marine UWB-radar by means of antenna array with only a few tuning elements of antenna array is considered. The others no tuning elements of array are choosing for obtain a given value of average side lobe level suppression and with given value of antenna directivity without using of numerical optimization procedures. The special algorithm of interaction of these no tuning elements for realizing superdirectivity properties is used. The structural diagram of array is presented. The efficiency of suggested design has been investigated.

Keywords: ultra-wide band, antenna array, weight coefficients, side lobes level, partial diagram, superdirectivity.

РЕФЕРАТ

Метою представленого дослідження є формування алгоритму для пригнічення бічних пелюстків діаграми спрямованості антени судового надширокопосмугового (Ultra-wide band – UWB) радіолокатора за допомогою антенних решіток з контрольованими елементами.

Методика дослідження полягає в розробці методів пригнічення бічних пелюстків діаграми спрямованості антени за допомогою використання антенних решіток з обмеженою кількістю налаштованих вагових коефіцієнтів просторового фільтру (елементів антенної решітки). Як відомо, через досить високий рівень бічних пелюстків діаграми спрямованості антени неможливе відокремлення відбитих сигналів від великих цілей (які мають велику ефективну площу розсіювання (ЕПР)) та від малих цілей, що мають малу ЕПР, що розташовані на одній дальності та мають близькі значення азимутальних кутів. UWB - радіолокатори здатні розпізнавати тип і форму цілі, оскільки прийнятий ехо-сигнал несе інформацію не тільки про об'єкт в цілому, але й про його елементи [1].

Результатом дослідження є розрахований алгоритм пригнічення бічних пелюстків діаграми спрямованості антени в зазначених точках за допомогою двох налаштованих вагових коефіцієнтів (першого та останнього W_1, W_N), а всі

інші вагові коефіцієнти W_i прийомної антенної решітки фіксовані (обираються за умови забезпечення необхідного середнього рівня бічних пелюстків діаграми спрямованості – W_2, W_3, \dots, W_{N-1}) [6]. На основі отриманих результатів розрахунків побудовано діаграми спрямованості, які відображають отримання пригнічення бічних пелюстків в зазначених точках. Також приведено структурну схему запропонованого алгоритму.

Практичне значення. Представлене дослідження можливо застосовувати у модернізації існуючих та побудові нових систем морської радіолокації. Враховуючи широке застосування над широкосмугових (Ultra-wide band – UWB) технологій для задач формування діаграм спрямованості антен, запропонований алгоритм також дає можливість використання отриманих розрахунків стосовно завдань морської радіолокації.

Ключові слова: над-широкосмуговий, антенна решітка, вагові коефіцієнти, пригнічення бічних пелюстків, парціальна діаграма, над-спрямованість.

Formulation of the problem in general terms and its connection with important scientific practical tasks

UWB radars are used not only ultrashort pulses, but also a very low level of radiated power. Higher range resolution and accuracy of measuring the distance to the target is provided by a UWB radar's wide band. High spatial resolution also provides the ability to isolate the target from interference reflections [1]. The modern UWB radars aren't free from a lot of drawbacks, including high enough side lobes level of radar antenna array diagram. It leads to impossibility of separation reflected signals from the big targets (which have big effective reflecting surface (ERS)) and from the small targets, which has small ERS, and which are situated on the same distance and have azimuth angle's with close value. The solution of this problem can be obtained by means radar antenna pattern formation on the base of antenna array with controlled elements.

The last achievements and publications analysis, in which the solution of the problem is begun and selection of the unsolved aspects of the problem

Optimal methods of radiation pattern linear array with controllable elements are known and involve the adjustment of all elements on the rather complicated algorithms and discussed in [2]. Our research makes it possible to simplify these methods and use simpler algorithm, worked out on the base of approaches, suggested in [15], [16].

The proper choice of antenna construction for corresponding broadband characteristics is considered in [3]. Also, obtaining good broadband characteristics using horn elements in antenna array considered in [3]. Corresponded broadband characteristics of antenna may be achieved by means proper choice of antenna construction [3]. Theoretically antennas which are constructed on the base of biconical elements may be provided pattern as well as impedance which are

practically independent of frequency inside of certain interval [3], [4]. It is known UWB antenna array based on planar dipole elements [5].

In [6], [7], [8] are presented the different algorithms for calculation the fixed weights coefficients for providing the required average antenna pattern side lobes level on the base of mean-square criteria, and more simple ones on the base of weighing functions $\sin(x)$ and $(\sin(x))^2$ [8], [11].

The increasing the width of main lobe of antenna diagram's issues are considered in [8,12]. Our algorithm allow significantly reduce the width of main lobe of antenna diagram's on the base of forming two partial diagrams and using the special interaction between them [9,10].

Therefore, the issues of using ultra wideband (UWB) techniques for marine radiolocation's tasks are relevant, and this determines the choice of this publication.

The paper purpose formulation

The purpose of this paper is to use special algorithm of interaction of non-tuning elements for realizing super directivity properties for UWB radars. The considered algorithm together with suppression antenna diagram side lobes in given points will improve the antenna array resolution and give possibility of separation reflected signals from the targets with different effective reflecting surfaces (ERS).

Presentation of basic research material substantiating scientific results

The reaching of antenna pattern side lobes required suppression level may be realized with the simple methods by using the arrays with limited number of tunable weight coefficients of spatial filter (antenna array elements), for example, when there are only two of such tunable weight coefficients. In this case all weights coefficients W_i of the receiving antenna array, except two (first and last: W_1, W_N), are fixed (selected under the condition of providing the required average antenna pattern side lobe's level) (W_2, W_3, \dots, W_{N-1}). Value of the two tunable weights coefficients are selected for providing zero values in two points (θ_1, θ_2) of the reception pattern [6,8].

The expressions, which are describing the reception pattern of linear array antenna $G(\theta)$ for the case considered were obtained in [6], and has the next form:

$$G(\theta) = \sum_{i=1}^N W_i \cdot e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)i\sin\theta} = G_{N-2}(\theta) - \gamma_1 \cdot G_{N-2}(\theta_1) - \gamma_2 \cdot G_{N-2}(\theta_2), \quad (1)$$

where $G_{N-2}(\theta)$ — partial diagram,

$$G_{N-2}(\theta) = \sum_{i=2}^{N-1} W_i \cdot e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)i\sin\theta} \quad (2)$$

$$W_1 = \frac{G_{N-2}(\theta_2) \cdot e^{j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_1} - G_{N-2}(\theta_1) \cdot e^{j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_2}}{e^{j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_2} - e^{j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_1}} \quad (3)$$

$$W_N = \frac{G_{N-2}(\theta_1) - G_{N-2}(\theta_2)}{e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_1}} \quad (4)$$

$$\gamma_1(\theta) = \frac{e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)(d/\lambda)\sin\theta}}{e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)(d/\lambda)\sin\theta_1}} \quad (5)$$

$$\gamma_2(\theta) = \frac{e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta} - e^{-j2\pi(N-1)(d/\lambda)\sin\theta_1}}{e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)(d/\lambda)\sin\theta_1}}, \quad (6)$$

$\phi = 2\pi d \sin \theta / \lambda$ — signal phase; λ – wave’s length; d – distance between antenna’s array elements; θ – angle between the normal to the axis of the array antenna and direction of coming signal.

$(N-2)$ -fixed weight coefficients may be selected under condition of additional suppression average level of reception diagram’s side lobes (2) with possible widening the main lobe of antenna array diagram (1). So, the full number of the coefficients, which creates reception array diagram, is equal N . In this resrarch we use ten-elelements antenna array. This number of antenna array elements is used in standart marine radars. Calculation algorithm of the fixed weight coefficients optimized by mean-square criteria is considered in [7], [8].

Losses in antenna’s directivity to fully common-mode reception diagram:

$$\rho = \frac{|G(0)|^2}{N \sum_{n=1}^N |W_n|^2} \quad (7)$$

Let’s consider the form for different weight functions effect on reception diagram, which allow transforming the reception diagram properties. The expression for the weight coefficient in this case has the next form [6,11]:

$$W_n^{(1)} = \sin \left[\pi \left(\frac{y}{N+1-2} + \frac{n-2}{N+z-2} \right) \right] \quad (8)$$

$$W_n^{(2)} = \left[\sin \left[\pi \left(\frac{y}{N+1-2} + \frac{n-2}{N+z-2} \right) \right] \right]^2, \quad (9)$$

where: $n=2:N-1$; $y=1/[(N-2+1)/2]$; $z=[2y(N-2)-(N-2+1)]/[N-2+1-2y]$.

We can regulate the main lobe widening by parameter ‘y’. The bigger value of parameter ‘y’, so the less main lobe widening. For example, the reception diagrams calculated with (8) and (9) are shown in Fig. 1.

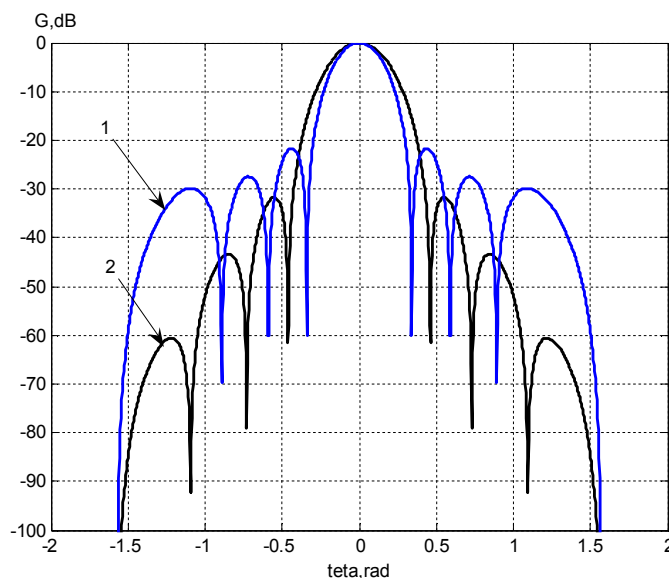


Fig. 1. Partial reception diagram with 1) – $y=1, W_n^{(1)}$; 2) – $y=1, W_n^{(2)}$

The similar type of expressions, as (3), (4) were obtained for the signal time processing in the case of frequency selection [15] and the time-frequency task selection of signal [16].

So, we can correct the reception diagram by different weights functions. This approach doesn't require the implementation of numerical optimization procedures as were described in [6]. Choosing of such kind weighing functions we can get additional average side-lobe suppression, but with widening main lobe. The results of calculation diagram with using tuneable weights coefficients chosen according (3), (4) presented in Fig. 2. As we can see zero values in two given points are provided. The side-lobes value between suppressing points is rather small and satisfy to estimates were gotten in [17].

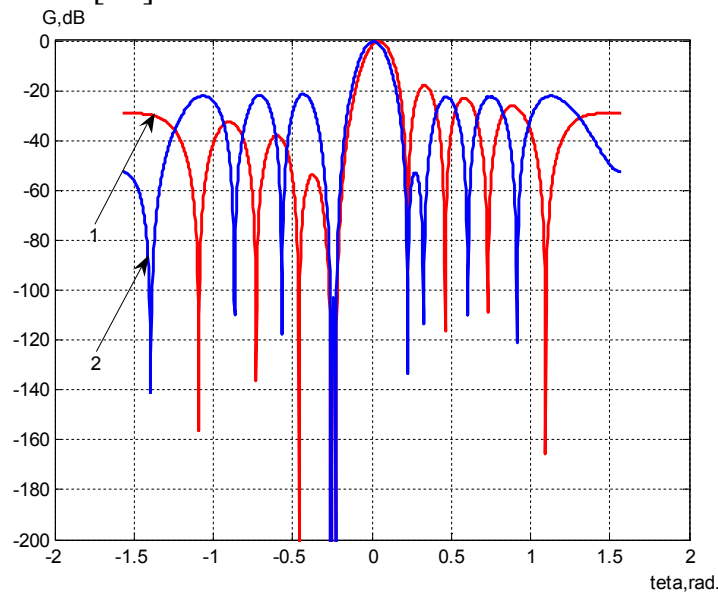


Fig. 2. Reception diagram side lobes suppression:

1) $-\theta_1 = -0.2576, \theta_2 = -0.2293, \rho = -1.4107dB;$

2) $-\theta_1 = -0.2576, \theta_2 = -0.2293, \rho = -7.4690dB, \gamma=1, W_n^{(2)}$

The method of increasing angle selectivity without losses in suppression of given points and in average side-lobe level had been suggested in [9] on the base of approach worked out in [18]. In considered case at the output of $N-2$ antenna array (no tunable part of reception antenna (1) (see (4))) we have complex signals X_1, X_2, \dots, X_N [6]. By the first $N-2$ signals are created the sum:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^{N-2} W_{i+1} X_i \tag{10}$$

Beside (8) the second sum is created:

$$Z_2 = \sum_{i=3}^N W_{i-1} X_i \tag{11}$$

Where $X_i = S_i + N_{1i}, S_i = |S_1| e^{j(i-1)\varphi}, \varphi = 2\pi d \sin \theta / \lambda, N_{1i}$ — thermal noise. If root-mean-square value of thermal noise is negligible small and $|S_1| = 1$ coincides with (2) and $Z_2 = Z_1 e^{j2\varphi}$.

Then the sum is created [18]:

$$G_R(\varphi^\wedge) = \left[1 \cdot e^{-j\psi^\wedge} \right] \cdot \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

where $\psi^\wedge = -2 \operatorname{arctg} \cdot \mu \sin \varphi^\wedge / (1 - \mu \cos \varphi^\wedge)$ – resulting phase angle; φ^\wedge – resulting signal's phase; $0 \leq \mu \leq 1$ – parameter, that controls the main peak's width.

$$\sin 2\varphi^\wedge = \operatorname{Im}[(Z_1^* Z_2) / (|Z_1| |Z_2|)], \quad \cos 2\varphi^\wedge = \operatorname{Re}[(Z_1^* Z_2) / (|Z_1| |Z_2|)].$$

From (11), using (12), after some transformations we can get:

$$G_R(\varphi) = [G_{N-2}(\varphi) \cdot 2 \cdot |\mu - \cos \varphi|] / \sqrt{1 - 2\mu \cos \varphi + \mu^2}. \quad (13)$$

Considering (11) and (12), (13) may be represented in the form:

$$G_R(\theta) = G_{N-2}(\theta) \cdot G_S(\theta) \quad (14)$$

$$G_S(\theta) = \left[2 \cdot |\mu - \cos 2\pi \sin \theta (d / \lambda)| \right] / \sqrt{1 - 2\mu \cos 2\pi \sin \theta (d / \lambda) + \mu^2}, \quad (15)$$

where: $G_{N-2}(\theta)$ is determined by (2).

As we can see from (11) angle selectivity of antenna may be essentially increased by means proper choose the value of μ . The width of the main beam of (11) on the level 0 and level $0,5G_S(0)$ are:

$$\Delta\theta_0 = 2 \operatorname{arcsin}[(\arccos \mu) / (2\pi d / \lambda)], \quad (16)$$

$$\Delta\theta_{0,5} = \arccos \left[\mu / 2 + (\sqrt{2 - \mu^2}) / 2 \right] / (\pi d / \lambda). \quad (17)$$

From (17) it follows, that if $\mu \rightarrow 1$, so $\Delta\theta_{0,5} \rightarrow 0$. So supper selectivity [13,14] may be provided by means (15).

Consider some peculiarities of antenna array working with diagram (15). Due to functional transform (12) linearity of processing and Principe of superposition are breaking under affecting a few signals from different direction. If two interfering signals have close angles of arrival, may be provided good enough suppression of both signals. If the difference of arrival angles is big and intensity one is bigger enough than another, we get the suppression of the bigger signal. These considerations are stay in force for the case of more, then two signals. Thus for providing functionality of proposed principle of selection for multitarget situation special condition should be provided. Which suppose that signals with approximately equal intensity would have small difference of arrival angles, and for signals with essential different angles of arrival would be provided corresponding difference in their intensities. It may be realise by means antenna with diagram $G_R(\theta)$ (14). So, approximately equal intensities will be took place only in narrow angles interval, determined by main lobe beam width of diagram $G_{N-2}(\theta)$. For the signals which have essential difference of arrival directions, weighting of their intensities would be provided by the same diagram ($G_{N-2}(\theta)$).

Thermal noise and errors of practical realization are limited the maximal value of μ and thus limited the minimal value of main lobe beam width. If it is introduced η - noise/interference ratio (supposed equivalent noise, which included thermal noise

and technology errors), then we have $\mu \leq 1/1+\eta$. Using this value in (14) we can get restriction on main lobe beam width.

The partial reception diagrams, calculated by (11) with weight coefficients, calculated by (8) and (9), with equal and unequal correction are shown in Fig. 3.

The reception diagrams side lobes suppression in given points, calculated by (11), and for comparison reception diagram 10-element phased array with equal correction, calculated by (2) are shown in Fig. 4. One can see that not only side lobe suppression level was reserved, but and main lobe width is decreased in twice comparatively to simple phased array without amplitude correction.

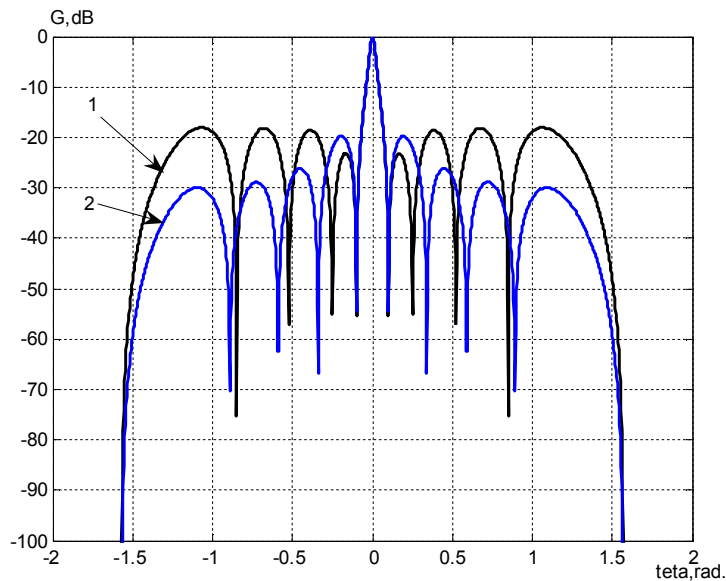


Fig. 3. The reception diagram $W_i(G_{N-2}(\theta))$, $\mu=0.95$:
 1) – with equal correction; 2) – with unequal correction, $y=1$

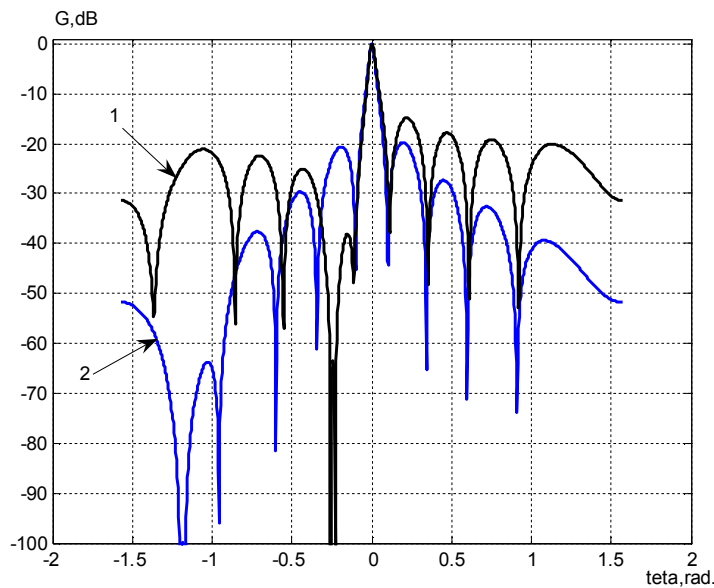


Fig. 4. The reception diagram $W_i(G_{N-2}(\theta))$ side lobes suppression in points:

- 1 – $\theta_1 = -0,2576, \theta_2 = -0,2293, \rho = -7,4690dB$; $y=1, W_n^{(1)}, \mu=0.95$;
- 2 – $\theta_1 = -1,2001, \theta_2 = -1,1718, \rho = -0,2238dB$; $y=1, W_n^{(1)}, \mu=0.95$;

The block diagram of the proposed ten elements radar antenna array algorithm is shown on fig. 5.

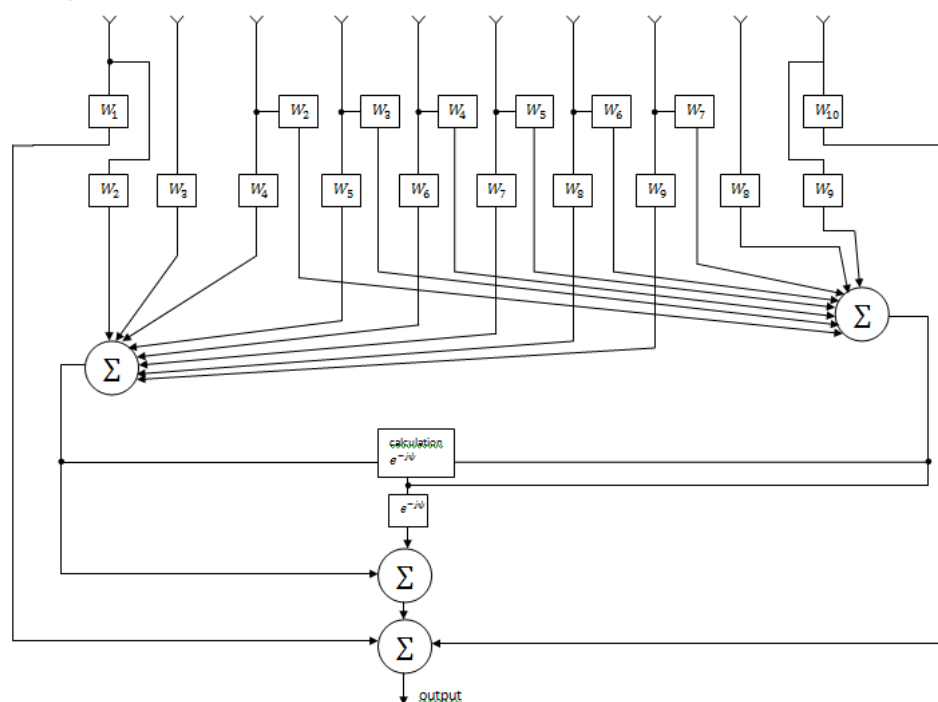


Fig. 5. Block diagram of the proposed algorithm

Conclusions

In this paper UWB radar's antenna array design capable to obtain the given side-lobe suppression with controlled value of directivity coefficient and with possible realization of superdirectivity property is suggested. The approach is simple enough for calculations and does not require the implementation of numerical optimization procedures. It's very useful for practical implementation, when it's necessary to get the given side lobes suppression with given main lobe properties. This approach can be applied in the modernization existing marine radar and construction of new marine radar systems on the base UWB techniques. The efficiency of proposed approach is investigated.

REFERENCES

1. N. Scherbak, Ultra-wide band radiolocation. What is this? // Electronics, technology, business. Issue N3/2002.
2. Y. Shirman, V. Mandjos, 1981, Theory and technics of radar information processing under interferences. M. Radio I Svyaz, – P. 416.
3. D. Valderas, J.I. Suncho, D. Puente, C. Ling, X. Chen. Ultra-wideband Antennas (Design and Application) Imperial College Press.2011. P.194.
4. K. Siviaak, D. McKeown, Ultra-Wide-band Radio Technology, John Wilay&Sons,2004, P.246.

5. B. LiJ. Zhang, Y. Deng, Z. Zhou. Design of a Low-profile Ultra-wideband Antenna Array Based on Planar Dipole Elements, *IEEE Radar 2018*, pp.0125-0128.
6. Koshevyy V., Shershnova A., 2013, The formation of zero levels of Radiation Pattern linear Antennas Array with minimum quantity of controlling elements, *Proc. 9 Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT-13)*, Odessa, Ukraine: pp. 264-265.
7. V. Koshevyy, V. Lavrinenko, S. Chuprov, 1975, The efficiency of quasi-filter analysis. «RIPORT », VIMI. №2, – p. 7.
8. V. Koshevyy, A. Shevchenko, 2016, The research of non-tuneable part of antenna array amplitude distribution for side lobes suppression efficiency. 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo'2016), National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, pp. 156 – 160.
9. V. Koshevyy, A. Shevchenko, 2017, Radiation Pattern of Linear Antenna Array With Control of Directivity and Super-Selectivity Properties//XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), Kyiv, Ukraine, pp. 165 – 168, 2017.
10. V. Koshevyy, A. Shevchenko, 2018, Antenna array with superdirectivity properties. International Conference on Electrical, Electronics, Computer, Communication, Mechanical and Computing (EECCMC) – 2018, Priyadarshini Engineering College, Vellore District, Tamil Nadu, India.
11. Koshevyy V., Pashenko O., Improved compound multiphase waveforms with additional amplitude modulation (periodic mode) for marine radars. *The second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017), 11-15 September 2017, Odessa, Ukraine*: pp. 1-6.
12. Huang Yi, Boyle K., *Antennas, From Theory to Practice*. Wiley, 2008: P. 363.
13. Hansen R.C., 1981, Some New Calculations on Antenna Superdirectivity, *Proceeding of the IEEE, Vol. 69, No. 10*: pp. 1365-1366. (Oct. 1981).
14. Newman E. H., Richmond J.H., Walter C. H., Array size reduction using superdirectivity, *AP – S Session 108, 1550*: pp. 331-334 (June 21, 1976).
15. Koshevyy V., Lavrinenko V., 1981, Target selection on the base of discret structure with minimum number of tuned elements. “*Izvestia VUZ Radioelectronika*”, vol. 24, №4: pp. 105 – 107.
16. V. Koshevyy, 1982, Moving target systems indication synthesis with the inverse matrix size restrictions. - «*Izvestia VUZ. Radioelectronika*», т.25, № 3, pp. 84-86.

17. V. Koshevyy, 1981, Some Limited Relations for Cross-Ambiguity Function of Finite Signals, *Radio Engineering and Electronics*, Vol. 26. Pp. 2588-2599. Dec. 1981.
18. V. Koshevyy, 1983, Optimum Properties of One Stage (Single) MTI Canceller, *Radio Engineering*, N7, pp. 64-66, Jul.1983.

УДК 656.61.052

MATHEMATICAL MODELS OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE SHIP'S PROPULSION COMPLEX FOR ANY DRIFT ANGLES**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА СУДНА ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ УГЛОВ ДРЕЙФА**

О.Ф. Кривуй, *Dr. Sci., professor*; **М.В. Миусов**, *Dr. Sci., professor*
А.Ф. Кривой *д.ф.-м.н., профессор*, **М.В. Миусов**, *д.т.н., профессор*

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The main among non-inertial forces on the hull are hydrodynamic forces. Without taking these forces into account, no adequate mathematical model of the dynamics and statics of the propulsion complex of a ship is possible in solving various optimal control problems in navigation, in particular: acceleration and deceleration, maneuvering, course stabilization, positioning, divergence and others. Such models are necessary to predict the behavior of the vessel at various combinations of the parameters of the controls of the vessel (rudder positions, fuel rod, the area and setting angle of the sails, etc.). Especially important is the presence of adequate mathematical models in the development and design of shipboard automatic control systems and simulators. In this work, an effective nonlinear mathematical model of hydrodynamic forces and the moment of the propulsion complex of the vessel in plane motion for any drift angles at various angular velocities is obtained. The construction of the model is based on the physical and mathematical properties of hydrodynamic forces such as parity or oddness, periodicity, differentiability. Analytical dependences for hydrodynamic characteristics contain hydrodynamic constants of polynomial models, the method of obtaining of which has now received significant development. The construction of the model is based on the recovery of the hydrodynamic characteristics of the vessel according to their decomposition into the Maclaurin series, contains infinitely differentiable trigonometric functions and simple expressions for the hydrodynamic constants. A numerical analysis of the obtained dependences was carried out, in particular, they were compared with polynomial models for small drift angles, known trigonometric models and experimental results for large drift angles. A good agreement between the proposed mathematical model and polynomial models, existing non-linear trigonometric models and experimental data has been established. The flat and three-dimensional graphs of the hydrodynamic characteristics of the propulsion complex of the vessel are constructed for any drift angles for various values of the relative angular velocity.

Keywords: planar motion of a ship, hydrodynamic forces, hydrodynamic characteristics, hydrodynamic constants, polynomial and non-linear models.

РЕФЕРАТ

Основними серед неінерційних сил на корпусі судна є гідродинамічні сили. Без урахування цих сил неможлива жодна адекватна математична модель динаміки і статички пропульсивного комплексу судна при вирішенні різних завдань оптимального управління в судноводінні, зокрема: розгону і гальмування, маневрування, курсової стабілізації, позиціонування, розходження і ін. Такі моделі є необхідними для прогнозування поведінки судна при різних поєднаннях значень параметрів керуючих органів судна (положення керма, паливної тяги, площі і кута повороту вітрил і т.п.). Особливо актуально наявність адекватних математичних моделей при розробці і проектуванні судових систем автоматичного управління і тренажерів. У даній роботі отримана ефективна нелінійна математична модель гідродинамічних сил і моменту пропульсивного комплексу судна при плоскому русі для довільних кутів дрейфу при різних значеннях кутової швидкості. Побудова моделі базується на фізичних і математичних властивості гідродинамічних сили, зокрема, таких як парність або непарність, періодичність, диференційованість. Аналітичні залежності для гідродинамічних характеристик містять гідродинамічні постійні поліноміальних моделей, методика отримання яких в даній час отримала значний розвиток. Побудова моделі базується на відновленні гідродинамічних характеристик судна по їх розкладах в ряд Маклорена, містить нескінченно диференціюються тригонометричні функції і прості вирази для гідродинамічних постійних. Проведено чисельний аналіз отриманих залежностей, зокрема, проведено їх порівняння із поліноміальними моделями для малих кутів дрейфу, відомими тригонометричними моделями і експериментальними результатами при великих кутах дрейфу. Встановлено гарне узгодження запропонованої математичної моделі з поліноміальними моделями, існуючими нелінійними тригонометричними моделями і експериментальними даними. Побудовано плоскі і тривимірні графіки гідродинамічних характеристик пропульсивного комплексу судна для довільних кутів дрейфу при різних значеннях відносної кутової швидкості.

Ключові слова: плоский рух судна, гідродинамічні сили, гідродинамічні сили, гідродинамічні характеристики, гідродинамічні сталі, поліноміальні та нелінійні моделі.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Основными среди неинерционных сил на корпусе судна являются гидродинамические силы. Без учета этих сил не возможна ни одна адекватная математическая модель динамики и статички пропульсивного комплекса судна при решении различных задач оптимального управления в судовождении, в частности: разгона и торможения, маневрирования, курсовой стабилизации,

позиционирования, расхождения и других. Такие модели являются необходимыми для прогнозирования поведения судна при различных сочетаниях значений параметров управляющих органов судна (положения рулей, топливной тяги, площади и угла поворота парусов и т.п.). Особенно актуально наличие адекватных математических моделей при разработке и проектировании судовых систем автоматического управления и тренажеров.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Исследованию гидродинамических сил на корпусе судна посвящено много работ [1-18]. При этом для их описания используют математические модели, которые в основном охватывают ограниченный спектр изменения динамических параметров движения судна. Однако, при решении различных задач динамики пропульсивного комплекса судна, важно иметь представления, которые описывали бы гидродинамические силы с достаточной точностью, согласовывались с физическими и математическими свойствами, и охватывали максимально широкую область изменения параметров движения судна.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью настоящей работы является анализ и построение общих адекватных математических выражений для гидродинамических характеристик на корпусе судна, которые согласовывались бы с физическими и математическими свойствами модели пропульсивного комплекса судна для широкого спектра параметров движения, в частности для произвольных углов дрейфа.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

1. Математическая модель динамики судна

Выберем начало связанной с судном декартовой системы координат $Gxyz$ в центре тяжести судна. Пусть $V = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ – величина скорости судна, β – угол дрейфа судна, ω_z – величина угловой скорости судна вокруг оси Z , перпендикулярной плоскости движения, L – длину судна по ватерлинии, V_0 – величина скорости в момент начала маневра (начальная скорость). Обозначим безразмерное время, безразмерные величин линейной и угловой скорости судна так: $\tau = t \frac{V_0}{L}$, $v = \frac{V}{V_0}$, $\omega = \omega_z \frac{L}{V_0}$, тогда систему дифференциальных уравнений двумерного движения судна, оснащенного ветродвижателем, можно представить в виде [1-3]

$$\begin{aligned} m_{11}(v' \cos \beta - v\beta' \sin \beta) + m_{22}v\omega \sin \beta - m_{26}\omega^2 &= n_x, \\ -m_{22}(v' \sin \beta + v\beta' \cos \beta) + m_{26}\omega' + m_{11}v\omega \cos \beta &= n_y, \end{aligned} \quad (1)$$

$$m_{66}\omega' - m_{26}(v'\sin\beta + v\beta'\cos\beta) + m_{12}\frac{v^2}{2}\sin 2\beta + m_{26}v\omega_z\cos\beta = m_z.$$

Коэффициенты системы выражают через технические характеристики судна [1,4], а правые части представляют собой сумму безразмерных сил неинерционного характера, действующих на судно [1-3]:

$$n_x = X_h + X_a + X_p - \sum_{j=1}^{\kappa_b} P_{E_j} - \sum_{j=1}^{\kappa} T_j + X_{вл},$$

$$n_y = Y_h + Y_a + Y_p + \sum_{j=1}^{\kappa} D_j + Y_{вл},$$

$$m_y = M_h + M_a - M_p + \sum_{j=1}^{\kappa} M_j + M_{вл},$$

где X_h, Y_h, M_h – гидродинамические силы и момент на корпусе судна; X_a, Y_a, M_a – аэродинамические силы и момент, действующие на надводную часть судна и надстройки; X_p, Y_p, M_p – гидродинамические силы и момент на руле; P_{E_j} – полезный упор j -го винта ($j = \overline{1; \kappa_b}$); T_j, D_j, M_j – соответственно аэродинамические силы тяги, дрейфа и момента аэродинамических сил относительно центра тяжести j -го ветродвижителя ($j = \overline{1; \kappa}$); X_w, Y_w, M_w – аэродинамические силы и момент, обусловленные ветроволновым воздействием на судно.

Следует отметить, что для существования решения системы (1) в классах дифференцируемых функций правые части системы должны иметь, по крайней мере, непрерывные производные до третьего порядка включительно. Последнее и физические соображения приводят к необходимости искать представления для неинерционных сил в классах бесконечно дифференцируемых функций.

2. Представления и общие свойства гидродинамических сил

Среди неинерционных сил следует выделить гидродинамические силы на корпусе судна, которые учитываются при описании любых маневров судна. Как правило, проекции X_h, Y_h этих сил на оси координат связанные с судном и момент M_h вокруг оси Z выражают следующим образом:

$$X_h = C_h^x(\beta, \omega) v^2, \quad Y_h = C_h^y(\beta, \omega) v^2, \quad M_h = C_h^m(\beta, \omega) v^2. \quad (2)$$

Здесь $C_h^x(\beta, \omega), C_h^y(\beta, \omega), C_h^m(\beta, \omega)$ - гидродинамические характеристики корпуса судна, которые допускают разложение:

$$C_h^x = C_{hp}^x(\beta) + C_{hv}^x(\beta, \omega), \quad C_h^y = C_{hp}^y(\beta) + C_{hv}^y(\beta, \omega), \quad C_h^m = C_{hp}^m(\beta) + C_{hv}^m(\beta, \omega), \quad (3)$$

где $C_{hp}^x(\beta)$, $C_{hp}^y(\beta)$, $C_{hp}^m(\beta)$ - позиционные составляющие гидродинамических характеристик, которые соответствуют гидродинамическим силам и моменту на корпусе при поступательном движении ($\omega = 0$); $C_{hv}^x(\beta, \omega)$, $C_{hv}^y(\beta, \omega)$, $C_{hv}^m(\beta, \omega)$ - вращательные составляющие, которые соответствуют гидродинамическим силам и моменту на корпусе при криволинейном движении с угловой скоростью ω .

Определению гидродинамических характеристик корпуса судна посвящено много работ [5-17], которые в основном базируются на экспериментальных исследованиях. При этом возникают две проблемы: выбор математической модели представлений (вида функциональных зависимостей) и определение гидродинамических постоянных входящих в выбранную модель. Последние, как правило, выражают через геометрические и физические характеристики судна путем обработки экспериментальных данных.

Выбор вида функциональных зависимостей для гидродинамических характеристик базируется на общих свойствах гидродинамических сил на корпусе судна [4-7]:

$$\begin{aligned} C_{hp}^x(-\beta) &= C_{hp}^x(\beta), \quad C_{hp}^y(-\beta) = -C_{hp}^y(\beta), \quad C_{hp}^m(-\beta) = -C_{hp}^m(\beta), \\ C_{hv}^x(0, -\omega) &= C_{hv}^x(0, \omega), \quad C_{hv}^x(\beta, 0) = C_{hv}^x(-\beta, 0), \quad C_{hv}^x(-\beta, -\omega) = -C_{hv}^x(\beta, \omega), \\ C_{hv}^y(0, -\omega) &= -C_{hv}^y(0, \omega), \quad C_{hv}^y(\beta, 0) = -C_{hv}^y(-\beta, 0), \quad C_{hv}^y(-\beta, -\omega) = -C_{hv}^y(\beta, \omega), \\ C_{hv}^m(0, -\omega) &= -C_{hv}^m(0, \omega), \quad C_{hv}^m(\beta, 0) = -C_{hv}^m(-\beta, 0), \quad C_{hv}^m(-\beta, -\omega) = -C_{hv}^m(\beta, \omega). \end{aligned} \quad (4)$$

3. Полиномиальные модели гидродинамических характеристик

Как было сказано выше, для разрешимости системы дифференциальных уравнений (1) её правые части должны обладать достаточной гладкостью, что дает основания предположить существования рядов Маклорена для гидродинамических характеристик судна:

$$C_h^p(\beta, \omega) = \sum_{j+k=0}^{\infty} C_{jk}^p \beta^j \omega^k, \quad \{p\} = \{x, y, m\}, \quad (5)$$

$$C_{jk}^p = \frac{1}{(j+k)!} \left. \frac{\partial^{j+k} C_h^p(\beta, \omega)}{\partial \beta^j \partial \omega^k} \right|_{\beta=0, \omega=0}.$$

C_{jk}^p называют гидродинамическими постоянными. Представления (5) позволяют аппроксимировать гидродинамические характеристики корпуса судна полиномами. Если, например, ограничиться в разложении (5) членами порядка малости не ниже третьего, и учесть равенства:

$$C_{jk}^x = 0, (j, k) \neq (0, 0), (j, k) \neq (2, 0), (j, k) \neq (1, 1), (j, k) \neq (0, 2), (j, k) \neq (0, 4);$$

$$C_{jk}^y = 0, C_{jk}^m = 0, (j, k) \neq (1, 0), (j, k) \neq (0, 1), (j, k) \neq (3, 0),$$

$$(j, k) \neq (1, 2), (j, k) \neq (2, 1), (j, k) \neq (0, 3),$$

вытекающие из свойства (4), то получим следующие разложения:

$$C_h^x(\beta, \omega) = C_{00}^x + C_{20}^x \beta^2 + C_{11}^x \beta \omega + C_{02}^x \omega^2 + C_{40}^x \beta^4,$$

$$C_h^y(\beta, \omega) = C_{10}^y \beta + C_{01}^y \omega + C_{30}^y \beta^3 + C_{21}^y \beta^2 \omega + C_{12}^y \beta \omega^2 + C_{03}^y \omega^3,$$

$$C_h^m(\beta, \omega) = C_{10}^m \beta + C_{01}^m \omega + C_{30}^m \beta^3 + C_{21}^m \beta^2 \omega + C_{12}^m \beta \omega^2 + C_{03}^m \omega^3. \quad (6)$$

Гидродинамические постоянные в разложениях (6) выражают через геометрические характеристики судна путем обработки экспериментальных данных. В этом направлении получено значительное количество результатов [14-17], учитывающее различные внешние факторы и конструкционные особенности строения судна, как-то мелководье, скошенность киля и др. Здесь, например, можно выделить часто используемые выражения [15,16]:

$$C_{00}^x = -C_{x_0}; \quad C_{20}^x = 1,15C_B k_2 - 0,18; \quad C_{11}^x = 0,08 - 1,91C_B k_2 + k_1(k_2^{-1} - 0,5);$$

$$C_{02}^x = 0,008 - 0,085C_B k_2; \quad C_{40}^x = -6,68C_B k_2 + 1,1; \quad k_1 = \frac{2T}{L}; \quad k_2 = \frac{B}{L}.$$

$$C_{10}^y = 0,5\pi k_1 + 1,4k_2 C_B; \quad C_{01}^y = 0,5k_2 C_B + 0,25k_1; \quad C_{30}^y = 0,185k_2^{-1} + 0,48;$$

$$C_{21}^y = 0,75C_B k_1 k_2^{-1} - 0,65; \quad C_{12}^y = 0,26(1 - C_B)k_2^{-1} + 0,11;$$

$$C_{03}^y = 0,058C_B \frac{k_2}{k_1} - 0,008 \frac{1}{k_1}; \quad C_{10}^m = k_1; \quad C_{01}^m = -0,54k_1 + k_1^2;$$

$$C_{30}^m = -0,69C_B + 0,66; \quad C_{21}^m = 1,55C_B k_2 - 0,76;$$

$$C_{12}^m = 0,075(1 - C_B)k_2^{-1} - 0,098; \quad C_{03}^m = 0,25C_B k_2 - 0,056, \quad (7)$$

где T – осадка судна на миделе, C_b – коэффициент общей полноты судна, B – ширина судна по действующую ватерлинию, $C_{x_0} = 2R_{x_0}(\rho V_0^2 S)^{-1}$ – коэффициент сопротивления воды прямолинейному движению судна, $S = LT$, ρ – массовая плотность морской воды ($\rho = 1025 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

К полиномиальным моделям можно также отнести часто используемые представления [13]:

$$C_h^y = q_{21}\beta + q_{22}\omega + q_{23}\beta|\beta| + q_{24}\omega|\omega| + q_{25}\beta^2\omega + q_{26}\beta\omega^2,$$

$$C_h^m = q_{31}\beta + q_{32}\omega + q_{33}\beta|\beta| + q_{34}\omega|\omega| + q_{35}\beta^2\omega + q_{36}\beta\omega^2, \quad (8)$$

где гидродинамические постоянные q_{jk} также выражают через параметры судна L, B, T, C_B, C_{x_0} .

Однако, существенным недостатком представлений вида (8) является наличие не дифференцируемых функций $|\beta|$, $|\omega|$ что не позволяет вообще говорить о существовании решений системы дифференциальных уравнений в

классах дифференцируемых функций, к которым очевидно относятся искомые динамические характеристики движения судна.

4. Модели гидродинамических характеристик для произвольных углов дрейфа

Полиномиальные модели, обладая достаточной простотой, охватывают весьма узкий диапазон изменения динамических характеристик судна, в частности, угла дрейфа, для которого должно выполняться условие: $-15^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$.

Устраняют этот недостаток нелинейные модели, содержащие тригонометрические функции. Следует отметить, что таких моделей, основанных на систематических экспериментальных исследованиях не так много, наиболее известные для позиционных составляющих имеют вид [4,6-8] ($0 \leq \beta \leq \pi$):

$$\begin{aligned} C_{hp}^x &= -\frac{3}{40} \sin((\pi - \arcsin(\frac{40}{3} C_{x_0})) (1 - 2\sigma_D^4 \frac{\beta}{\pi})), \\ C_{hp}^y &= \frac{1}{2} C_y^\beta \sin 2\beta \cos \beta + c_2 \sin^2 \beta + c_3 \sin^4 2\beta, \\ C_{hp}^m &= m_1 \sin 2\beta + m_2 \sin \beta + m_3 \sin^3 2\beta + m_4 \sin^4 2\beta, \end{aligned} \quad (9)$$

где σ_D – приведенный коэффициент полноты погруженной части диаметральной плоскости, параметры модели $C_y^\beta, c_4, c_2, m_2, m_3, m_4$ определяют по номограммам [5,8], или по аппроксимационным формулам [5]. Как указано в работе [6,8], для продольной гидродинамической характеристики C_{hp}^x при $0 \leq \beta \leq \frac{\pi}{2}$, более адекватным является представление:

$$C_{hp}^x = -C_{x_0} \cos \frac{3\beta}{2} - 0,07 \sin^4 \frac{3\beta}{2} + 8c_4 \frac{\beta^3}{\pi^3}. \quad (10)$$

Представления (9), (10) также не охватывают весь диапазон изменения угла дрейфа, в частности для отрицательных углов дрейфа: $\beta \leq 0$. В работе [7] сделана попытка расширить диапазон их применения, однако с помощью не дифференцируемых функций. Вызывает вопросы и структура указанных представлений. Кроме того, методика определения гидродинамических параметров моделей достаточно сложна и не удобна в применении.

Одним из подходов построения нелинейных моделей является также восстановление по разложениям (5) (фактически (6)) функций, которые они аппроксимируют. Такого рода задачи относятся к так называемым обратным задачам, и в общем случае являются некорректными, в силу не однозначности их решений. Однако, дополнительные соображения, базирующиеся на известных математических и физических свойствах искомых функций и последующее их сравнение с экспериментальными данными, позволяют получить решение поставленной задачи с достаточно высокой степенью точности. Здесь следует учесть, что искомые функции должны удовлетворять свойствам (4), кроме того, гидродинамические силы и моменты, действующие

на судно, периодическим образом, (силы с периодом 2π , моменты с периодом π), зависят от угла дрейфа β , что подтверждается и экспериментальными исследованиями [5-7].

Для больших углов дрейфа, с точностью до членов третьего порядка малости, справедливы соотношения:

$$\beta - \frac{\beta^3}{6} \approx \sin \beta, \quad 1 - \frac{\beta^2}{2} \approx \cos \beta,$$

что позволяет с той же точностью установить, например, следующие соотношения: $1 \approx \cos \beta + \frac{1}{8} \sin^2 2\beta$, $\beta \approx \sin \beta + \frac{1}{6} \sin^3 \beta$, $\beta \approx \frac{1}{2} (\sin 2\beta + \frac{1}{6} \sin^3 2\beta)$.

Последние, а также указанные выше свойства, позволяют гидродинамические характеристики судна, с помощью разложений (6), представить в виде:

$$\begin{aligned} C_h^x(\beta, \omega) &= C_{00}^x \cos \beta + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} C_{00}^x + C_{20}^x \cos \beta + \frac{1}{4} C_{40}^x \sin^2 \beta \right) \sin^2 \beta + \\ &\quad + C_{11}^x \omega (\sin \beta + \frac{1}{6} \sin^3 \beta) + C_{02}^x \omega^2, \\ C_h^y(\beta, \omega) &= (C_{10}^y + C_{12}^y \omega^2) \sin \beta + \frac{1}{6} (C_{10}^y + 6C_{30}^y + C_{12}^y \omega^2) \sin^3 \beta + \\ &\quad + C_{12}^y \omega \sin^2 \beta + C_{01}^y \omega + C_{03}^y \omega^3, \\ C_h^m(\beta, \omega) &= \frac{1}{2} (C_{10}^m + C_{12}^m \omega^2) \sin 2\beta + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{3} C_{10}^m + \frac{1}{2} C_{30}^m + \frac{1}{3} C_{12}^y \omega^2 \right) \sin^3 2\beta + \\ &\quad + \frac{1}{4} C_{21}^m \omega \sin^2 2\beta + C_{01}^m \omega + C_{03}^m \omega^3. \end{aligned} \quad (11)$$

Существенным преимуществом представлений (11) является широкий спектр изменения динамических параметров, в частности, они охватывают всю область изменения угла дрейфа. Предложенные зависимости содержат также бесконечно дифференцируемые функции, кроме того, гидродинамические постоянные модели (11) выбирают из полиномиальной модели (6), методика получения которых в последнее время получила значительно развитие [13-17].

5. Численный анализ полученных моделей.

Численные исследования полученных моделей и сравнение их с существующими моделями проводилось для судов, геометрические и физические параметры которых приведены в таблице 1. На рисунках 1, 2 дано сравнение гидродинамических характеристик, полученных с помощью нелинейных представлений (11) (сплошные линии) и полиномиальной модели (6) (пунктирные линии). Кривые 1-3 на рис. 1 соответствуют примерам 1-3. Кривые 1 на рис. 2 изображают зависимость $C_h^y(\beta, 0)$, а кривые 2 зависимость $10 \cdot C_h^m(\beta, 0)$ для примера 2. Результаты показывают, что для всех трех гидродинамических характеристик обе модели дают приемлемое в диапазоне: $-15^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$ совпадение, что, собственно, согласуется с областью применения полиномиальных моделей.

На рисунках 3, 4, для примера 2 приведены зависимости гидродинамических характеристик от угла дрейфа для полученных представлений (11) (сплошные линии), моделей (9) (пунктирные линии), и уточненного представления (10) (точечная линия). В частности, на рисунке 3 представлены графики для $10 \cdot C_h^x(\beta, 0)$ в диапазоне: $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$, на рисунке 4 графики для $C_h^y(\beta, 0)$ (кривые 1) и для $10 \cdot C_h^m(\beta, 0)$ (кривые 2) в диапазоне $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Результаты показывают хорошую согласованность поведения предложенных нелинейных зависимостей (11) с экспериментальными моделями, особенно это хорошо заметно для $C_h^m(\beta, 0)$. Хорошая согласованность поведения видна и для других характеристик. При этом более точно характер поведения гидродинамических характеристик $C_h^x(\beta, 0)$ и $C_h^y(\beta, 0)$, полученных экспериментальным путем (см. рис.23 [4]), описывают зависимости (10) - (12). Особенно это заметно для $C_h^x(\beta, 0)$ при углах $40^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$ и для $C_h^y(\beta, 0)$ при углах $40^\circ \leq \beta \leq 140^\circ$.

На рисунках 5, 6 приведены зависимости гидродинамических характеристик от угла дрейфа $\beta \in [-180^\circ, 180^\circ]$ при $\omega = 0$ для предложенной нелинейной модели (11). Сплошные линии на обоих рисунках соответствует примеру 1, точечные примеру 2, пунктирные примеру 3 и штрихпунктирные примеру 4. Линии 1 на рис. 6 соответствуют характеристике $C_h^y(\beta, 0)$, а линии 2 характеристике $C_h^m(\beta, 0)$. Полученные результаты полностью согласуются с экспериментальными данными [4.6,7].

На рисунках 7-12 для примера 1 даны зависимости гидродинамических характеристик, полученной нелинейной модели (11), при фиксированных значениях безразмерной угловой скорости ω (рис. 7,9,11) и при фиксированных значениях угла дрейфа β (рис. 8,10,12). В частности, на рис. 7 приведены зависимости гидродинамической характеристики $C_h^x(\beta, \omega_j)$ от угла дрейфа $\beta \in [-180^\circ; 180^\circ]$ для фиксированных значений безразмерной угловой скорости: $\{\omega_j\} = \{\pm 0.5, \pm 1, \pm 1.5, \pm 2\}$. На рис. 9 даны зависимости гидродинамических характеристик $C_h^y(\beta, \omega_j)$, $C_h^y(-\beta, -\omega_j)$ для значений $\{\omega_j\} = \{0.1, 0.3, 0.6, 0.9\}$. На рис. 11 приведены зависимости гидродинамических характеристик $C_h^m(\beta, \omega_j)$, $C_h^m(-\beta, -\omega_j)$ для фиксированных значений: $\{\omega_j\} = \{0, 1, 1.5, 2\}$. На рис. 8 даны зависимости гидродинамической характеристики $C_h^x(\beta_j, \omega)$ от относительной скорости $\omega = [-3; 3]$ для фиксированных значений угла дрейфа: $\{\beta_j\} = \{0, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 90^\circ\}$. На рис.

10 приведены зависимости гидродинамической характеристики $C_h^y(\beta_j, \omega)$ для фиксированных значений $\{\beta_j\} = \{0, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 90^\circ\}$. На рис. 12 даны зависимости гидродинамических характеристик $C_h^m(\beta_j, \omega)$, $C_h^m(-\beta_j, -\omega)$ для значений $\{\beta_j\} = \{0, 20^\circ, 60^\circ, 80^\circ\}$.

Для более наглядной иллюстрации поведения гидродинамических характеристик на рисунках 13-15 приведены трехмерные графики зависимостей $C_h^x(\beta, \omega)$, $C_h^y(\beta, \omega)$, $C_h^m(\beta, \omega)$.

Таблица 1. Технические характеристики судна

	$L(m)$	$B(m)$	$T(m)$	C_b	C_{x_0}	σ_D
Пример 1	250	40,77	16,96	0,831	0,018	0,985
Пример 2	160,9	23,2	7,5	0,59	0,01	0,98
Пример 3	100	17	4,6	0,64	0,007	0,971
Пример 4	320	58	20,8	0,8098	0,023	0,99

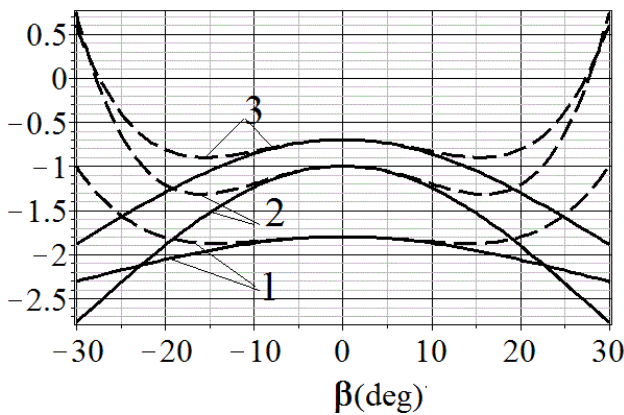


Рис.1. $100 \cdot C_h^x(\beta, 0)$ для полиномиальной и нелинейной модели.

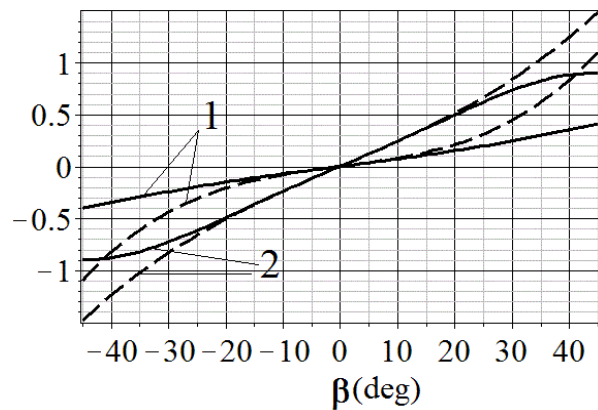


Рис.2. $C_h^y(\beta, 0)$ и $10 \cdot C_h^m(\beta, 0)$ для полиномиальной и нелинейной модели.

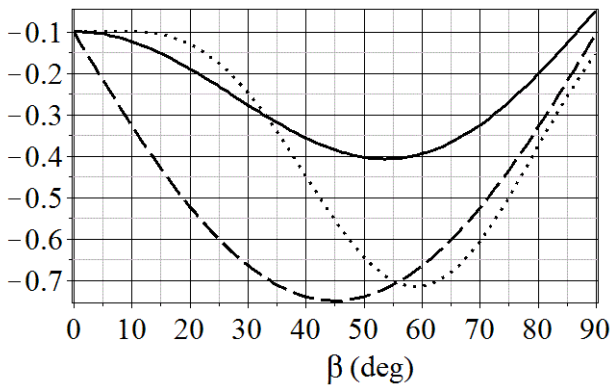


Рис.3. $10 \cdot C_h^x(\beta, 0)$ для различных нелинейных моделей.

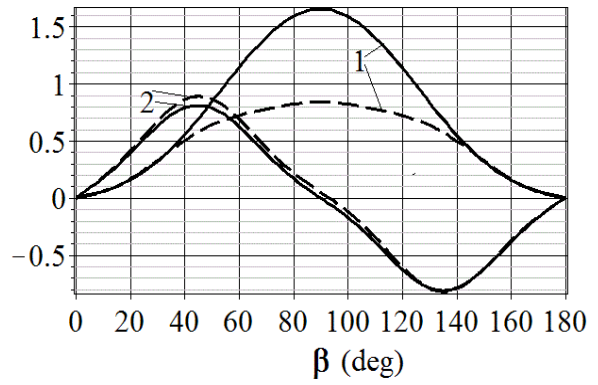


Рис.4. $C_h^y(\beta, 0)$ и $10 \cdot C_h^m(\beta, 0)$ для различных нелинейных моделей.

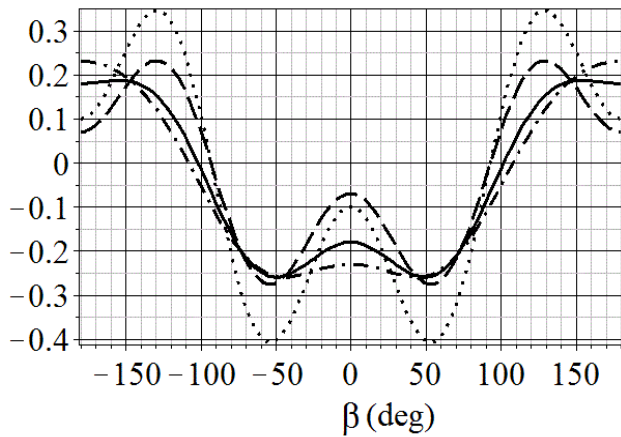


Рис.5. $10 \cdot C_h^x(\beta, 0)$ для полученной нелинейной модели.

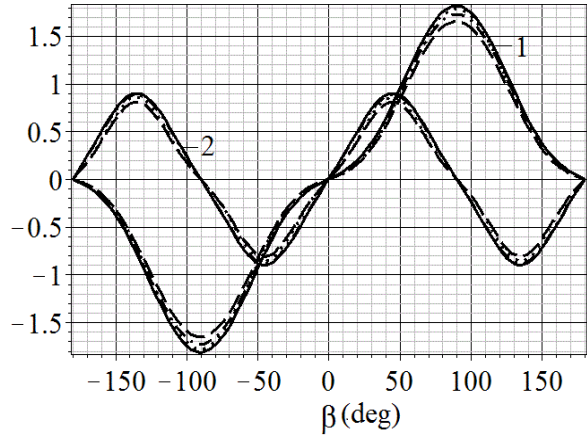


Рис.6. $C_h^y(\beta, 0)$ и $10 \cdot C_h^m(\beta, 0)$ для полученной нелинейной модели.

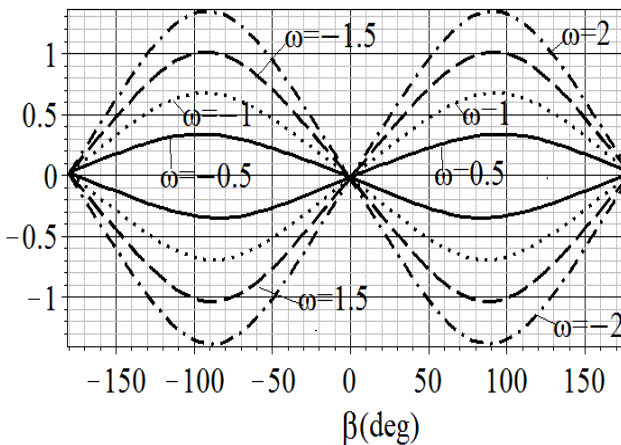


Рис.7. $C_h^x(\beta, \omega_j)$ для полученной нелинейной модели.

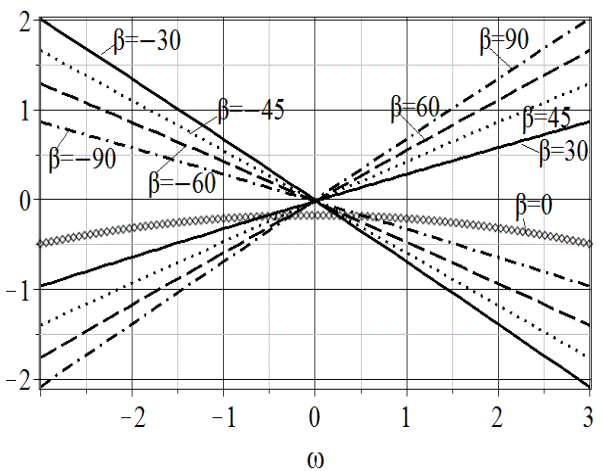


Рис.8. $C_h^x(\beta_j, \omega)$ для полученной нелинейной модели.

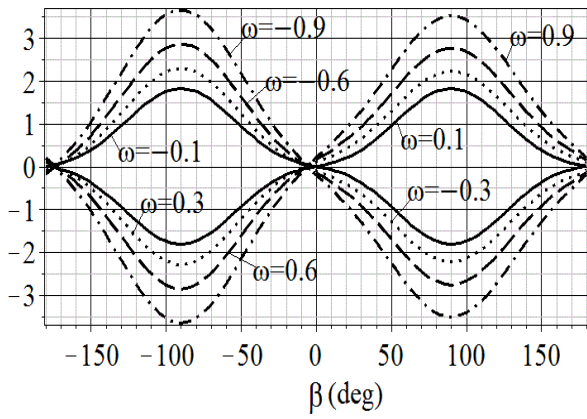


Рис.9. $C_h^y(\beta, \omega_j), C_h^y(-\beta, -\omega_j)$ для полученной нелинейной модели.

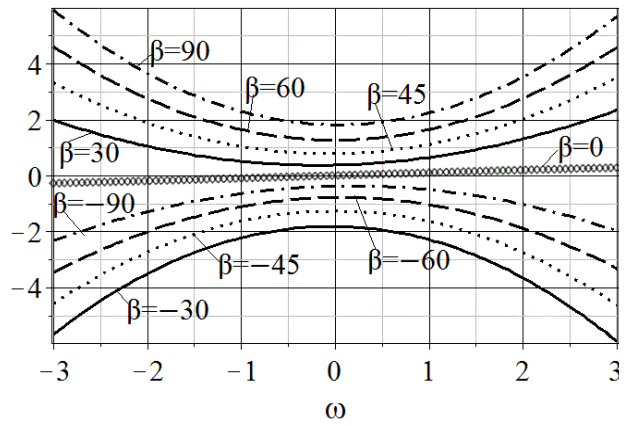


Рис.10. $C_h^y(\beta_j, \omega)$ для полученной нелинейной модели

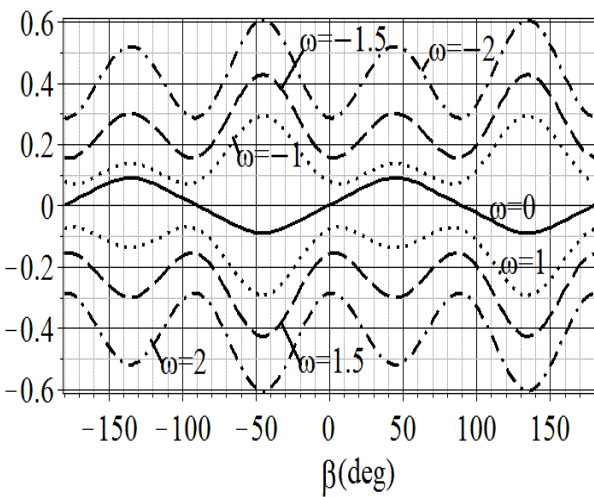


Рис.11. $C_h^m(\beta, \omega_j), C_h^m(-\beta, -\omega_j)$ для полученной нелинейной модели

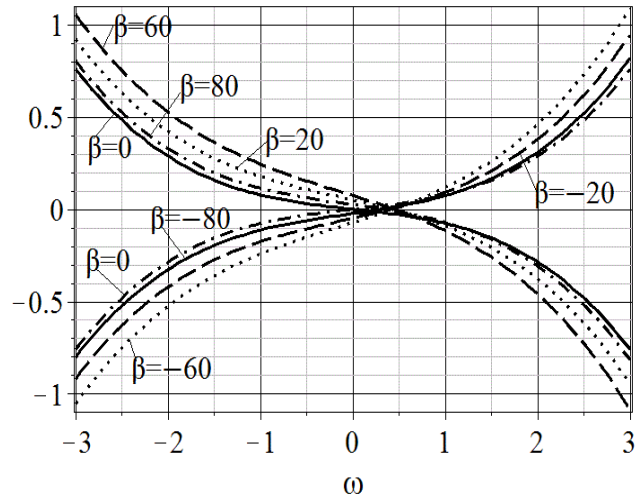


Рис.12. $C_h^m(\beta_j, \omega), C_h^m(-\beta_j, -\omega)$ для полученной нелинейной модели

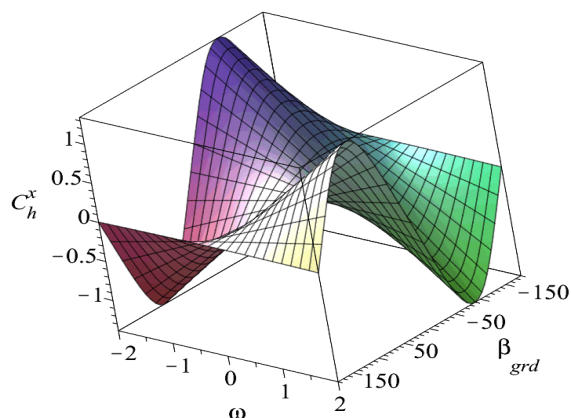


Рис.13. $C_h^x(\beta, \omega)$ для полученной нелинейной модели

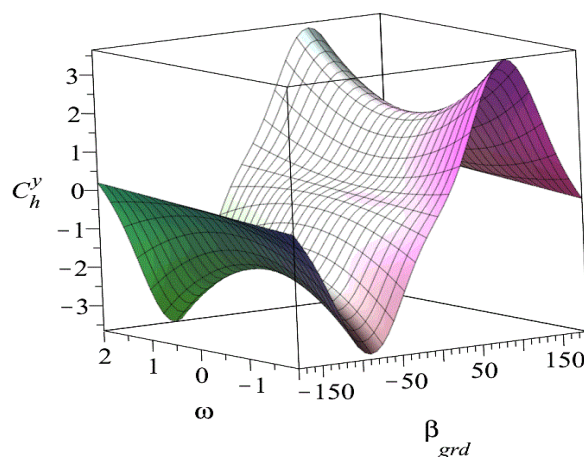


Рис.14. $C_h^y(\beta, \omega)$ для полученной нелинейной модели

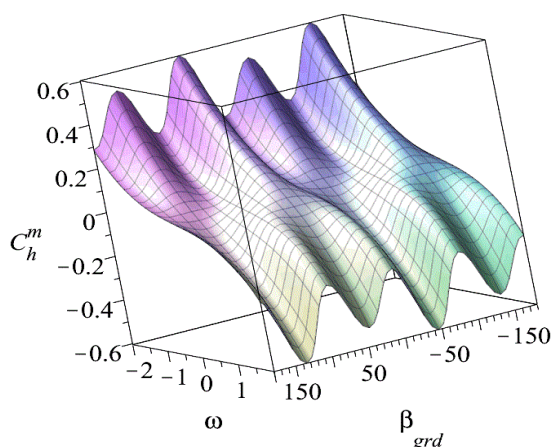


Рис.15. $C_h^m(\beta, \omega)$ для полученной нелинейной модели

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Получена эффективная модель гидродинамических характеристик судна с простыми выражениями для гидродинамических постоянных. Эта математическая модель охватывает весь диапазон изменения угла дрейфа и полностью согласуется с существующими полиномиальными и нелинейными тригонометрическими моделями, а также с экспериментальными данными. Предложенная модель может быть записана для любого типа судна при любых условиях движения, если известны гидродинамические постоянные соответствующей полиномиальной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривой А.Ф., Миусов М.В. Математическая модель плоского движения судна при наличии ветродвижителей // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 110-119.
2. Миусов М.В. Режимы работы и автоматизация пропульсивного комплекса теплохода с ветродвижителями / М.В Миусов//Одесса: ОГМА, ОКФА – 1996.- 256 с.
3. Кривий О.Ф. Методи математичного моделювання в задачах судноводіння: навчальний посібник / О.Ф. Кривий//Одеса: ОНМА, 2015. – 86 с.
4. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения / Г.В. Соболев// Л.: Судостроение, 1976. – 477 с.
5. Справочник по теории корабля. В 3-х томах. /Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 765 с.
6. Першиц Р. Я. Управляемость и управление судном/ Р.Я. Першиц// Л.: Судостроение.– 1983.- 272 с.
7. Васильев А. В. Управляемость судов: учеб. пособие / А. В. Васильев.- Л.: Судостроение, 1989. - 328 с. Анисимова Н.И. Позиционные гидродинамические характеристики судов при произвольных углах дрейфа// Судостроение.- 1968. №5.С. 4-8.
8. Анисимова Н.И. Позиционные гидродинамические характеристики судов при произвольных углах дрейфа// Судостроение.- 1968. №5. С. 4-8.
9. Юдин Ю.И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ/ Ю.И. Юдин, И.И. Сотников // Вестник МГТУ - т. 9, № 2. - 2006 г. - С. 200-208.
10. Ogawa A. On the Mathematical Model of Maneuvering Motion of Ship/ Ogawa A., Kasai H// International Shipbuilding Progress.- 1978.- Vol. 25, № 292, pp. 306-319.
11. Kose K., Yumuro A., Yoshimura Y. Concrete of Mathematical model for ship manoeuvrability// 3rd Symposium on Ship Maneuverability, Society of Naval Architects of Japan.- 1981, pp. 27-80 (in Japanese).
12. Inoe S. Hydrodynamic derivatives on ship manoeuvring/ S. Inoe, M. Hirano, K. Kijima// Int. Shipbuilding Progress. – 1981. – V. 28, - № 321, pp. 67.
13. Kijima K. Prediction method for ship manoeuvring performance in deep and shallow waters. Presented at the Workshop on Modular Manoeuvring Models/ K. Kijima// The Society of Naval Architects and Marine Engineering. - 1991.- v. 47.- 121-130 pp.

14. Ming-Chung Fang. A nonlinear mathematical model for ship turning circle simulation in waves. /Ming-Chung Fang, Jih-Hong Luo, Ming-Ling Lee.// *Jornal of Ship Research.*- 2005.- Vol. 49.- №2., 69-79pp.
15. Yoshimura, Y., Ma, N. : Manoeuvring Prediction of of Fishing Vessels, proc. of MARSIM'03, 2003, pp. RC-29-1-RS-29-10.
16. Y. Yoshimura, Y. Masumoto. Hydrodynamic Database And Manoeuvring Prediction Method With Medium High-Speed Merchant Ships And Fishing// International Conference on Marine Simulation and Ship Manoeuvrability 2012 (MARSIM 2012) pp.494-504.
17. H. Yasukawa, Y. Yoshimura. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions//*J Mar Sci Technol* (2015) 20:37–52 DOI 10.1007/s00773-014-0293-y.

УДК 656.61.052.484

HYBRID CONTROL SYSTEM BY COOPERATION OF VESSELS IN SITUATION OF THEIR DANGEROUS RAPPROCHEMENT

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ СУДОВ В СИТУАЦИИ ИХ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ

M.A. Kulakov, *PhD student*, **A.Yu. Kozachenko**, *assistant*, **V.V. Stepanenko**, *PhD, associate professor*

М. А. Кулаков, *аспирант*, **А.Ю. Козаченко**, *ассистент*, **В.В. Степаненко**, *к.т.н., доцент*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

In work for warning of collisions of two и three ships the structure of the two-tier hybrid system of coordination which is built on the existent system of the binary coordination COLREGis offered in the situations of their dangerous rapprochement.

In case of occurring of situation of dangerous rapprochement of two ships the first level is used, and the second level is used at dangerous rapprochement of three ships.

In quality the first level in the hybrid system of coordination existing recommends COLREG. If there is the situation of dangerous rapprochement of two ships cooperation which is determined by a binary coordinator and as a result of which ships execute the general maneuver of divergence takes place. At first level a coordinator analyses relative position of ships which are dangerously drawn together, takes into account their statuses and addresses them coordinating signals. These signals specify mutual duties to each of ships, in obedience to which ships choose strategy of divergence, when it is required that first from ships kept the parameters of motion, and the second ship conducted the maneuver of divergence, or both ships coordinated execute the maneuvers of divergence.

In the situation of dangerous rapprochement of three ships it is suggested to form the second level of the hybrid system of coordination as follows. At presence of three ships which are dangerously drawn together, additionally there are situation indignations which in general case can take on a value from 0 to 2. The second level of the hybrid system of coordination, which for such situation of rapprochement forms the additional signals of coordination also, is therefore used. A coordinator addresses to the base ship the signals of coordination, which determine his conduct in relation to the second and third ships, that his type of maneuver of divergence is determined.

If the signals of coordination in relation to both ships coincide and require yielding, a base ship must concede a way to the ships, with which cooperates, by the

maneuver of divergence general for both ships or two successive maneuvers for each of them. In time, when the signals of coordination require from a base ship to keep unchanging a course and speed after the relation of both ships, a base ship executes this requirement on condition that both targets execute the foreseen maneuvers of deviation.

A numeral example is resulted in completion of the article.

Keywords: safety of navigation, cooperation of vessels, binary coordination, hybrid system of coordination.

РЕФЕРАТ

В роботі для попередження зіткнень двох и трьох суден в ситуаціях їх небезпечного зближення запропоновано структуру дворівневої гібридної системи координації, яка побудована на існуючій системі бінарної координації МППЗС-72.

При виникненні ситуації небезпечного зближення двох суден використовується перший рівень, а другий рівень застосовується при небезпечному зближенні трьох суден.

В якості першого рівня в такій гібридній системі координації рекомендовано існуючі МППЗС-72. Якщо виникає ситуація небезпечного зближення двох суден має місце взаємодія, котра визначається бінарним координатором і в результаті якої судна виконують спільний маневр розходження. На першому рівні координатор аналізує відносну позицію суден, що небезпечно зближуються, враховує їх статуси і адресує їм координуючі сигнали. Дані сигнали вказують кожному із суден взаємні обов'язки, згідно яким судна вибирають стратегію розходження, коли вимагається, щоб одно із суден зберігало свої параметри руху, а друге судно проводило маневр розходження, або обидва судна скоординовано виконують маневри розходження.

В ситуації небезпечного зближення трьох суден другий рівень гібридної системи координації запропоновано сформуванню наступним чином. При наявності трьох суден, що небезпечно зближуються, додатково виникають ситуативні збурення, які в загальному випадку можуть приймати значення від 0 до 2. Тому використовується другий рівень гібридної системи координації, який для такої ситуації зближення формує також додаткові сигнали координації. Координатор адресує базовому судну сигнали координації, які визначають його поведінку по відношенню до другого та третього суден, тобто визначають його тип маневру розходження.

Якщо сигнали координації відносно обох суден співпадають та вимагають поступитися, то базове судно повинно поступитися дорогою суднам, з якими взаємодіє, маневром розходження спільним для обох суден або двома послідовними маневрами для кожного із них. В разі, коли сигнали координації вимагають від базового судна зберігати незмінними курс та швидкість по відношенню обох суден, базове судно виконує дану вимогу при умові, що обидві цілі виконують передбачені маневри ухилення.

В завершения статті приведено чисельний приклад.

Ключові слова: безпечність судноводіння, взаємодія суден, бінарна координація, гібридна система координації.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Морские суда значительную часть эксплуатационного времени работают в стесненных условиях, где маневрирование судна затруднено, и плавание производится по единственно безопасным, нередко весьма стесненным путям. Морское судно проводит в стесненных водах в среднем 5-10 % ходового времени, однако на эти районы приходится свыше 80 % всех навигационных аварий. Предупреждение столкновений судов в стесненных водах является одной из наиболее актуальных проблем в обеспечении безопасности судовождения. Для успешного ее решения необходимо разработать корректную и адекватную математическую модель взаимодействия судов в случае возникновения ситуации опасного сближения двух и трех судов, чем и определяется актуальность темы публикации.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Для снижения отрицательного влияния человеческого фактора на безопасность судовождения, особенно в стесненных водах при опасных сближениях судов, в последние десятилетия на основе исследований по автоматизации маневра уклонения судна от столкновения, электронных карт и информационных систем предложен новый тип автоматизированной системы VICAN (Vessel Intelligent Collision Avoidance Navigator) [1]. С этой же целью разработана модель автоматизированной системы предупреждения столкновений судов, которая может использоваться для построения базы знаний [2]. При разработке таких интеллектуальных системы возникает необходимость в формализации взаимодействия судов и их координации для безопасного расхождения, чем и обусловлен выбор темы данной работы.

В работе [3] рассмотрена задача расхождения судов на этапе классификации начальных ситуаций в зависимости от их начальной относительной позиции и параметров движения. Вопросы формализации взаимодействия пары судов в различных ситуациях опасного сближения рассмотрены в работе [4], а в работе [5] освещено взаимодействие судов в ситуации чрезмерного сближения.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью публикации является формализация взаимодействия при опасном сближении двух и трех судов для координации их маневров расхождения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

При плавании в стесненных водах возникают ситуации опасного сближения как двух, так и трех судов, однако существующая система бинарной координации, которая реализована в МППСС-72, предусматривает координацию только парных взаимодействий судов. Поэтому для предупреждения столкновений судов следует разработать систему координации, которая содержит два уровня, причем при возникновении ситуации опасного сближения двух судов используется первый уровень, второй уровень задействуется при опасном сближении трех судов.

В качестве первого уровня в такой гибридной системе координации целесообразно выбрать существующие МППСС-72. В случае опасного сближения двух судов возникают ситуационные возмущения ω_{12} и ω_{21} [3] и взаимодействие, которое предписывается бинарным координатором C_2 (МППСС-72 в части маневрирования судов при расхождении, являющиеся первым уровнем гибридной системы координации), в результате которого суда выполняют согласованный маневр расхождения. На первом уровне координатор C_2 анализирует относительную позицию судов, которые опасно сближаются, учитывает их статусы, и предписывает им координирующие сигналы γ_{12} и γ_{21} [3]. Указанные сигналы предписывают каждому из взаимодействующих судов взаимные обязанности, согласно которым суда выбирают стратегию расхождения, когда одно из судов сохраняет свои параметры движения, а второе судно производит маневр расхождения, или оба судна согласовано выполняют маневры расхождения.

В ситуации опасного сближения трех судов второй уровень гибридной системы координации предлагается сформировать следующим образом. При наличии трех опасно сближающихся судов дополнительно возникают ситуационные возмущения $\omega_{13} = \omega_{31}$ и $\omega_{23} = \omega_{32}$, которые в общем случае могут принимать значения от 0 до 2. Поэтому задействуется второй уровень гибридной системы координации, при использовании которого обобщенный координатор C_2 в рассматриваемой ситуации сближения помимо сигналов γ_{12} и γ_{21} формирует также координирующие сигналы γ_{13} , γ_{31} , γ_{23} и γ_{32} . Координатор C_2 адресует оперирующему судну сигналы координации γ_{12} и γ_{13} , определяющие его поведение по отношению ко второму и третьему судну, которые предписывают ему тип маневра расхождения. Если сигналы координации согласованные (с одинаковым значением) и имеют значения $\gamma_{12} = 1$, $\gamma_{13} = 1$, то оперирующее судно уклоняется, уступая обоим судам дорогу. В случае согласованных сигналов координации со значениями $\gamma_{12} = 0$, $\gamma_{13} = 0$ оперирующее судно сохраняет неизменные параметры движения. Возможны ситуации опасного сближения, в которых сигналы координации могут противоречить друг другу ($\gamma_{12} = 1$, $\gamma_{13} = 0$ или $\gamma_{12} = 0$, $\gamma_{13} = 1$), т. е.

оперирующее судно одновременно одному из судов должно уступать дорогу, а относительно второго судна сохранять неизменными курс и скорость.

Если координирующие сигналы согласованны, причем $\gamma_{12} = 1$ и $\gamma_{13} = 1$, то оперирующее судно должно уступить дорогу судам, с которыми взаимодействует, маневром расхождения, реализующимся либо общим маневром для обоих судов, или двумя последовательными маневрами для каждого из них. В случае, когда координирующие сигналы $\gamma_{12} = 0$ и $\gamma_{13} = 0$ предписывают оперирующему судну сохранять неизменными курс и скорость относительно обоих судов, оперирующее судно выполняет данное требование при условии, что обе цели выполняют предписанные маневры уклонения. Если же хотя бы одна из целей не уступает дорогу оперирующему судну, выполняя предписанный маневр расхождения, то последнее сохраняет постоянными курс и скорость до некоторого момента времени, после которого оно вынуждено собственным маневром предупредить возможное столкновение.

В случае противоречивых координирующих сигналов оперирующее судно решает возникшее противоречие тем, что предпринимает маневр расхождения, который является безопасным для обеих судов в нулевой момент времени.

Рассмотрим использование второго уровня гибридной системы координации при возникновении ситуации опасного сближения трех судов с переменными параметрами движения оперирующего судна $K_1 = 245^\circ$, $V_1 = 19$ узлов, первой цели - $K_2 = 50^\circ$, $V_2 = 18$ узлов, второй цели - $K_3 = 330^\circ$, $V_3 = 25$ узлов; относительной позицией $\alpha_{12} = 235^\circ$, $d_{12} = 4,8$ мили, $\alpha_{13} = 175^\circ$, $d_{13} = 4,75$ мили, $\alpha_{23} = 112^\circ$, $d_{23} = 5,0$ миль. По исходным данным были рассчитаны дистанции кратчайшего сближения судов: $D_{\min 12} = 0,1$ мили, $D_{\min 13} = 0,1$ мили, $D_{\min 23} = 0,9$ мили. Все три сближающиеся судна являются судами с механическим двигателем, поэтому имеют одинаковый статус. С учетом их относительного положения координатором формируются следующие координирующие сигналы: $\gamma_{12} = 0$, $\gamma_{21} = 1$, $\gamma_{13} = 0$, $\gamma_{31} = 1$, $\gamma_{23} = 1$ и $\gamma_{32} = 0$.

В данном примере координирующие сигналы $\gamma_{12} = 0$ и $\gamma_{13} = 0$ являются согласованными, поэтому если обе цели выполняют предписанные координатором маневры уклонения, то оперирующее судно сохраняет неизменные параметры движения. Если же хотя бы одна из целей не уступает дорогу оперирующему судну, то последнее следует постоянным курсом и скоростью до некоторого момента времени \tilde{t} , после которого собственным маневром расхождения предупреждает возможное столкновение. В данном примере момент времени \tilde{t} определяется уменьшением дистанций d_{12} до значений $d_{12} = 3,4$ мили. В этот момент времени оперирующее судно уклоняется на курс $K_{1y} = 285^\circ$, в результате чего оперирующее судно

безопасно расходится с целями на расстояниях $D_{\min 12} = 1,7$ мили и $D_{\min 13} = 1,0$ мили.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в статье предложена двухуровневая гибридная система координации, использующая бинарную координацию МППСС-72, для предупреждения столкновений двух и трех судов в ситуации их опасного сближения. В дальнейшем целесообразно произвести анализ эффективности предлагаемой гибридной системы координации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129 - 142.
2. Lisowski J. Safety of navigation based – mathematical models of game ship control/ Lisowski J. // Journal of Shanghai Maritime University. - 2004. - No 104, Vol. 25. – P. 65 - 74.
3. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
4. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. -312 с.
5. Бурмака, И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.

УДК 656.61.052.484

**FORMS OF VERITABLE AND RELATIVE TRAJECTORIES
OF DIVERGENCE OF SHIP****ФОРМЫ ИСТИННОЙ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ
ТРАЕКТОРИЙ РАСХОЖДЕНИЯ СУДНА**

T.Y. Omelchenko, *senior lecturer*, **V.V. Kaliuzhniy**, *PhD student*,
A.V. Borodulin, *PhD student*

Т.Ю. Омельченко, *старший преподаватель*, **В.В. Калюжный**, *аспирант*,
А.В. Бородулин, *аспирант*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The forms of veritable and relative trajectories of divergence are considered. It is shown that at speed of ship of greater speed the whole forms of veritable and relative trajectories coincide. For a case, when speed of ship less speed of target certain dependence of form of relative trajectory on the form of veritable trajectory.

So as the forms of veritable trajectory get out for divergence, and their parameters depend on the form of relative trajectory of divergence, communication of forms of relative and veritable trajectories of divergence is considered. It is shown that two forms of veritable trajectory of standard strategy of divergence are and four forms of relative trajectory of divergence can answer them in general case.

Therefore, in work the reflection of two elementary forms of veritable trajectory of divergence of ship is considered deviation to the right and to the left in the great number of forms of relative trajectory of divergence.

If speed of ship more large to speed of target, regardless of side of veritable deviation the forms of veritable and relative trajectories coincide, that direction of veritable deviation, as well as direction of veritable output on a previous course coincide with the proper relative directions. It is conditioned proportional dependence of relative course on a veritable course for the case of speed of ship of target larger from speed.

In time, when speed of ship more small to speed of target, dependence of relative course on a veritable course has both the intervals of growth and intervals of falling. In this communication accordance disappears between a relative course and veritable course. Therefore, can answer the interval of growth of veritable course, as interval of growth, so interval of falling of relative course. It is just for the cases of veritable deviation, both to the right and to the left, that shows the ambiguous reflection of two forms of veritable trajectory of divergence of ship in the great number of four forms.

In the article four examples of reflection of form of veritable trajectory of divergence by deviation are resulted to the right in each of forms of relative trajectory of divergence.

Similar results are got for the elementary form of veritable trajectory of divergence of ship deviation of course to the left. It is shown in both cases, that size of interval of growth, as well as the interval of falling of relative course is determined by the relation of speeds of ship and target.

Keywords: safety of navigation, warning of collision of vessels, form of veritable and relative trajectories of divergence.

РЕФЕРАТ

Розглянуто форми істинної та відносної траєкторій розходження. Показано, що при швидкості судна більшої швидкості цілі форми істинної та відносної траєкторій співпадають. Для випадку, коли швидкість судна менше швидкості цілі визначена залежність форми відносної траєкторії від форми істинної траєкторії.

Так як для розходження вибираються форми істинної траєкторії, а їх параметри залежать від форми відносної траєкторії розходження, то розглянуто зв'язок форм відносної і істинної траєкторій розходження. Показано, що існує дві форми істинної траєкторії стандартної стратегії розходження і в загальному випадку їм можуть відповідати чотири форми відносної траєкторії розходження.

Тому в роботі розглянуто відображення двох елементарних форм істинної траєкторії розходження судна ухиленням вправо та вліво в множину форм відносної траєкторії розходження.

Якщо швидкість судна більша швидкості цілі, то незалежно від сторони істинного ухилення форми істинної та відносної траєкторій співпадають, тобто напрям істинного ухилення, як і напрям істинного виходу на попередній курс співпадають з відповідними відносними напрямками. Це обумовлено пропорційною залежністю відносного курсу від істинного курсу для випадку швидкості судна більшої від швидкості цілі.

В разі, коли швидкість судна менша швидкості цілі, залежність відносного курсу від істинного курсу має як інтервали зростання, так і інтервали падіння. В зв'язку з цим відповідність між відносним курсом і істинним курсом зникає. Тому інтервалу зростання істинного курсу може відповідати, як інтервал зростання, так інтервал падіння відносного курсу. Це справедливо для випадків істинного ухилення, як вправо, так і вліво, що показує неоднозначне відображення двох форм істинної траєкторії розходження судна в множину чотирьох форм.

В статті приведено чотири приклади відображення форми істинної траєкторії розходження ухиленням вправо в кожному із форм відносної траєкторії розходження.

Аналогічні результати отримані для елементарної форми істинної траєкторії розходження судна ухиленням курсу вліво. В обох випадках показано, що величина інтервалу зростання, як і інтервалу падіння відносного курсу визначається відношенням швидкостей судна і цілі.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, форми істинної та відносної траєкторій розходження.

Постановка проблеми в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Важнейшей проблемой обеспечения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. Аварийность по причине столкновений судов до сих пор находится на высоком уровне, что обуславливает необходимость разработки эффективных мер по предупреждению их столкновений.

Следовательно, разработка способов совершенствования процесса расхождения опасно сближающихся судов, в частности учетом относительной формы траектории расхождения для расчета параметров стратегии расхождения судна и зависимости относительной формы расхождения от истинной траектории, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Основные вопросы предупреждения столкновения судов освещены в работах [1] и [2], а работа [3] посвящена формированию безопасных доменов. Работа [4] рассматривает выбор ситуации сближения судна с целью из множества стандартных ситуаций, после чего производится определение стратегии расхождения. При возникновении ситуации чрезмерного сближения судов в работе [5] предлагается способ формирования стратегии экстренного расхождения.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является установление зависимости формы относительной траектории расхождения от истинной траектории в случае, когда скорость судна меньше скорости цели.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Для корректных расчетов параметров маневра расхождения оперирующего судна, опасно сближающегося с целью необходимо рассмотреть формы истинной и относительной траекторий расхождения, а также их взаимозависимость.

Форма истинной траектории расхождения, которая характеризуется отклонением вправо δ_{tst} показана на рис. 1, а форма истинной траектории расхождения отклонением влево обозначена $\delta_{\text{трг}}$ и показана на том же рисунке.

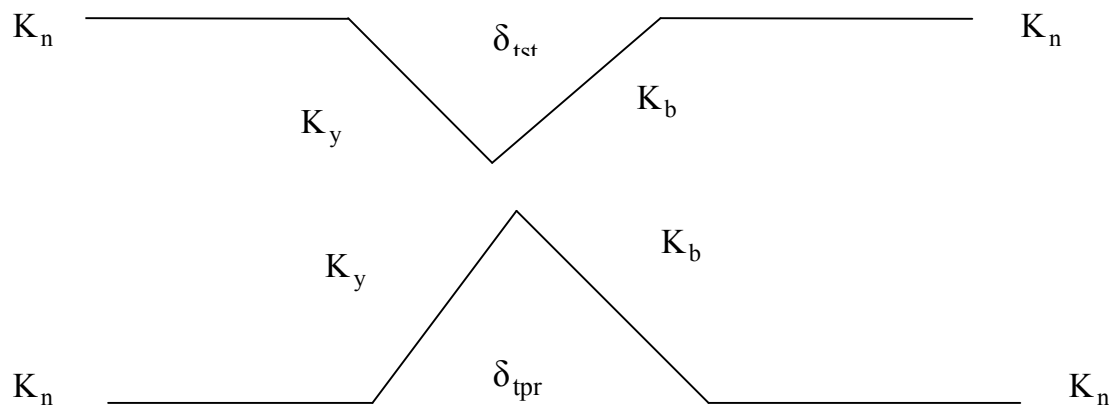


Рис. 1. Формы истинной траектории расхождения

В случае, когда маневр расхождения выполняется судном, скорость которого больше скорости цели, т. е. $V_o > V_c$, то формы истинной и относительной траекторий совпадают. Обозначим относительную траекторию, у которой относительный курс уклонения больше начального относительного курса, $K_{oty} > K_{otn}$ и $K_{otb} < K_{oty}$, через Δ_{tst} (рис. 2). Относительная форма Δ_{tpr} , для которой характерны соотношения $K_{oty} < K_{otn}$ и $K_{otb} > K_{oty}$, как показано также на рис. 2.

В дальнейшем рассмотрим ситуацию, когда скорость маневрирующего судна меньше скорости цели, т. е. $V_o < V_c$. При этом необходимо учитывать, что при увеличении истинного курса судна K_o относительный курс K_{ot} имеет как участок роста, так и участок убывания. На рис. 3 показана ситуация, когда начальный курс судна K_n и курсы уклонения K_y и возвращения на заданную траекторию K_b находятся на растущем участке зависимости относительного курса. В этом случае форме δ_{tst} истинной траектории соответствует форма Δ_{tst} относительной траектории, т. е. $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst}$. Если же курсы K_n , K_y и K_b формы истинной траектории расхождения δ_{tst} принадлежат убывающему участку зависимости относительного курса, как показано на рис. 4, то форма относительной траектории расхождения не совпадает с формой истинной траектории, а имеет место соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr}$. В дальнейшем рассмотрим ситуации, когда курсы истинной траектории расхождения находятся на разных участках зависимости относительного курса.

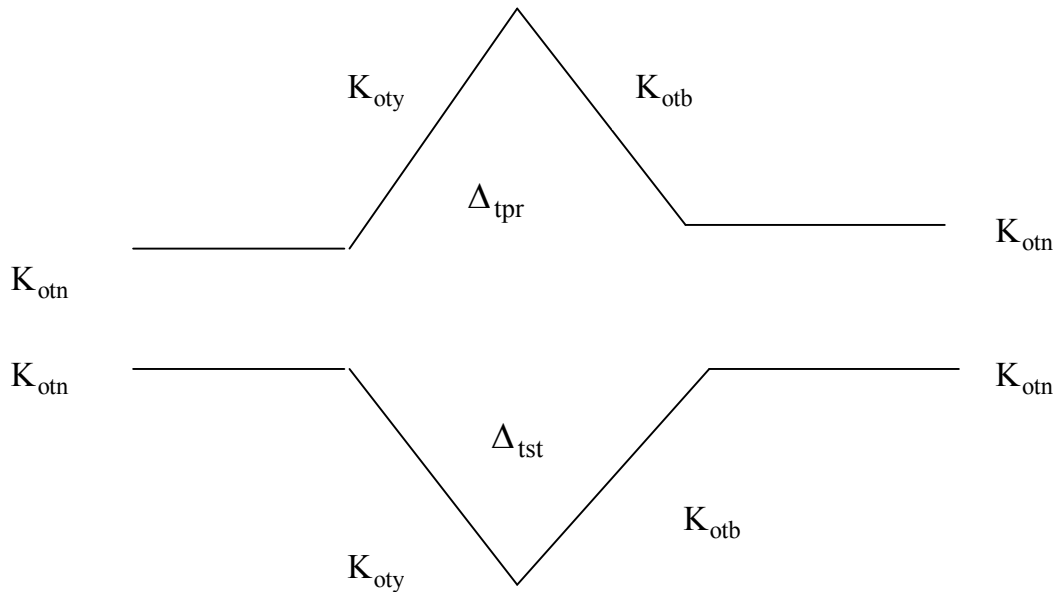


Рис. 2. Формы относительной траектории расхождения Δ_{tst} и Δ_{tpr}

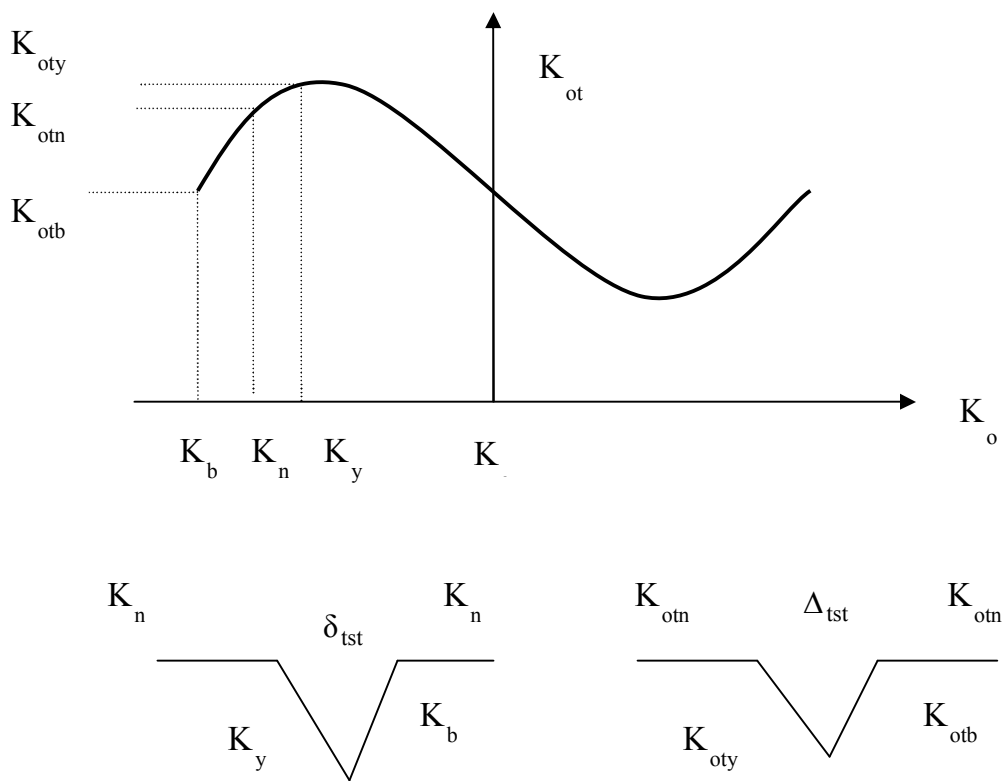


Рис. 3. Соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

Вначале допустим, что курсы K_n и K_b формы δ_{tst} истинной траектории принадлежат растущему участку зависимости относительного курса, а курс уклонения K_y - убывающему участку, как показано на рис. 5. В показанном

примере относительная траектория имеет участки уклонения и выхода, которые изменяются влево. Такую форму траектории расхождения обозначим Δ_{tpr1} .

Соответствие $\delta_{\text{tst}} \rightarrow \Delta_{\text{tpr1}}$ истинной и относительных траекторий показано на рис. 5.

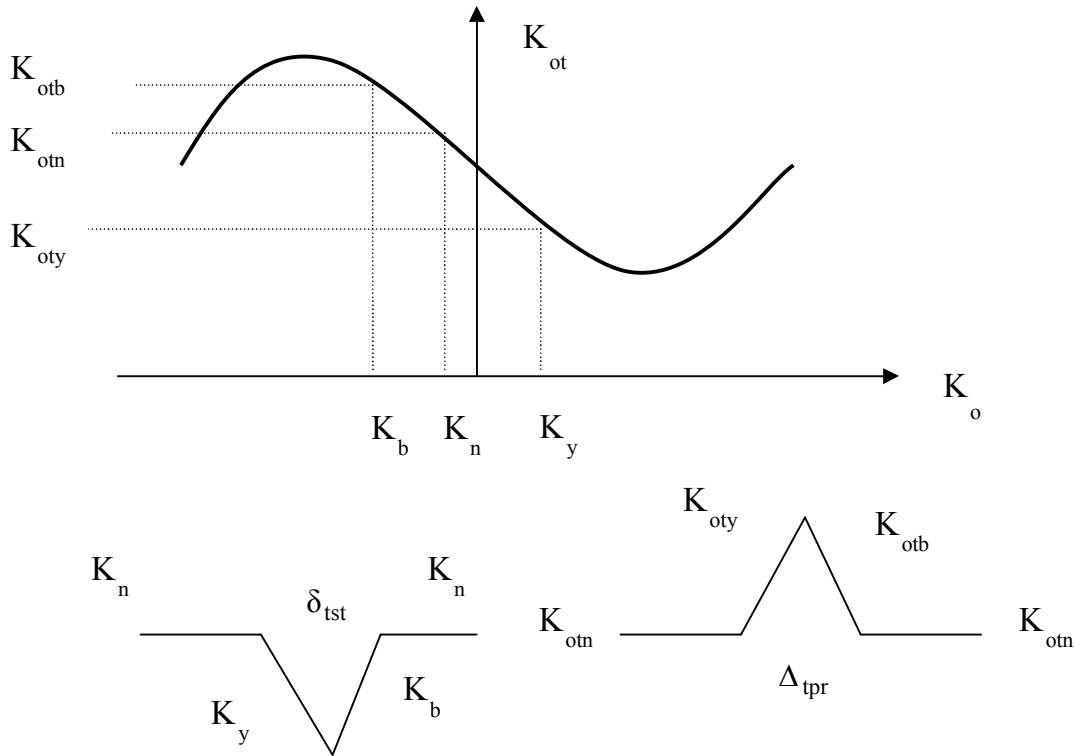


Рис. 4. Соответствие $\delta_{\text{tst}} \rightarrow \Delta_{\text{tpr}}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

На рис. 6 курсы K_n и K_b формы δ_{tst} истинной траектории принадлежат убывающему участку зависимости относительного курса, а курс уклонения K_y - растущему участку. Относительная траектория, соответствующая этому случаю, характеризуется следующей особенностью: ее участки уклонения и выхода на заданную траекторию изменяются вправо по отношению к предыдущему участку. Такую форму относительной траектории с двумя участками изменения курса вправо обозначим через Δ_{tst1} , причем можно утверждать, что существуют соотношения курсов K_n , K_y и K_b формы δ_{tst} истинной траектории расхождения, при которых имеет место соответствие $\delta_{\text{tst}} \rightarrow \Delta_{\text{tst1}}$ (рис. 6).

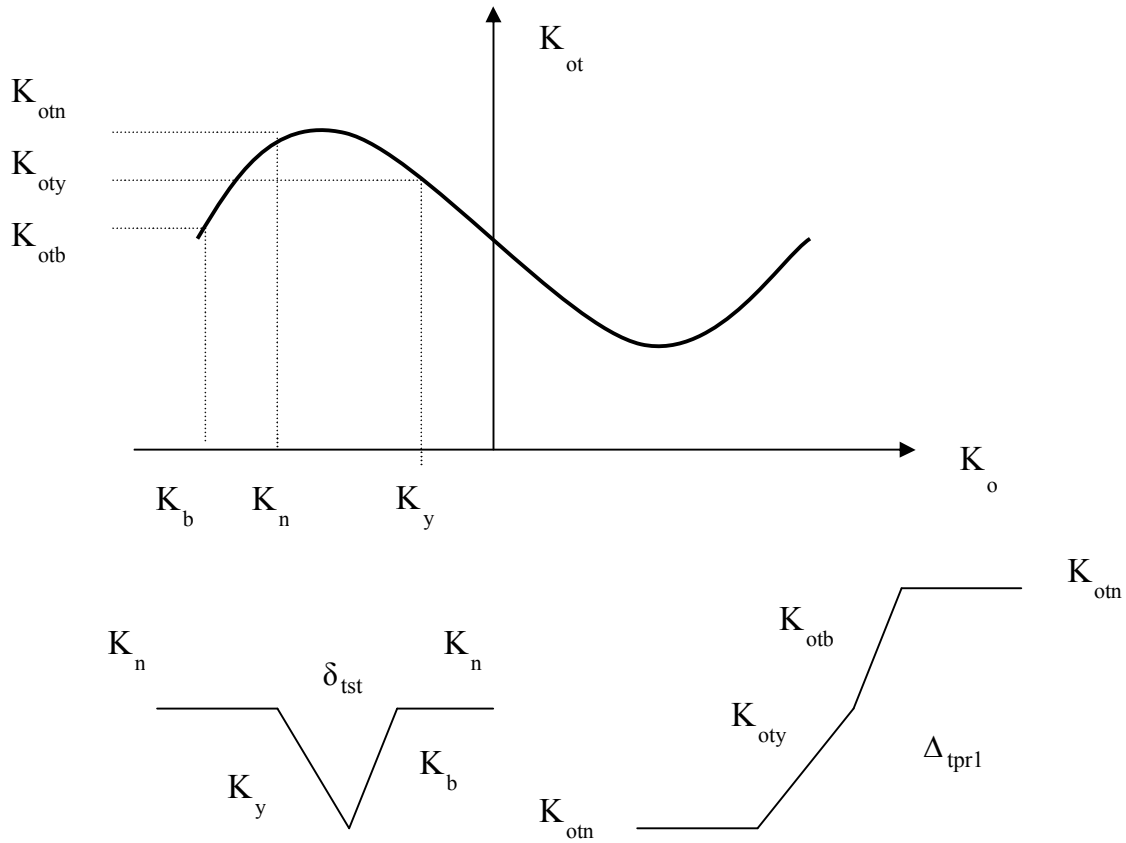


Рис. 5. Соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

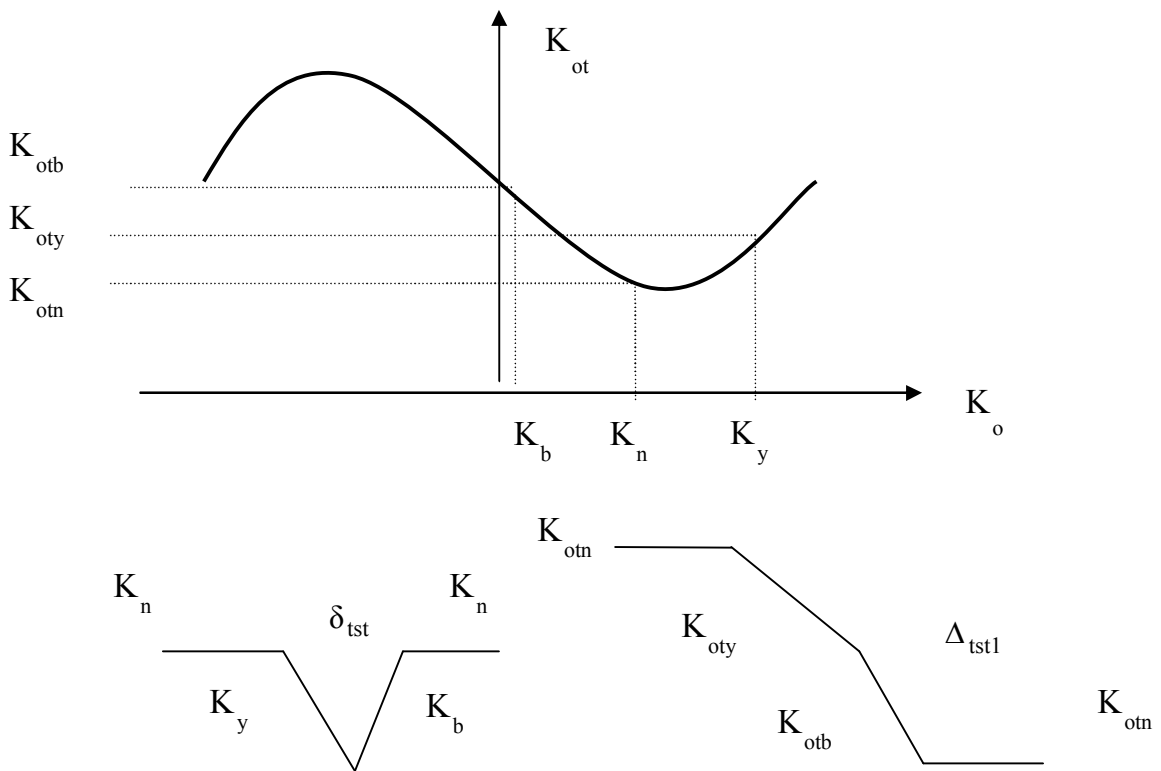


Рис. 6. Соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst1}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

Аналогично для формы δ_{tpr} истинной траектории расхождения при нахождении курсов K_n , K_y и K_b на различных участках зависимости относительного курса (растущему или убывающему) существуют все четыре формы относительной траектории расхождения. Так на рис. 7 приведено соответствие $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr}$, когда формы одинаковые, а соответствие $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tst}$ форм траекторий иллюстрируется на рис. 8. Соответствие двойного изменения относительного курса влево $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ показано на рис. 9, а на рис. 10 приведено соответствие форм $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tst1}$ двойного изменения относительного курса вправо.

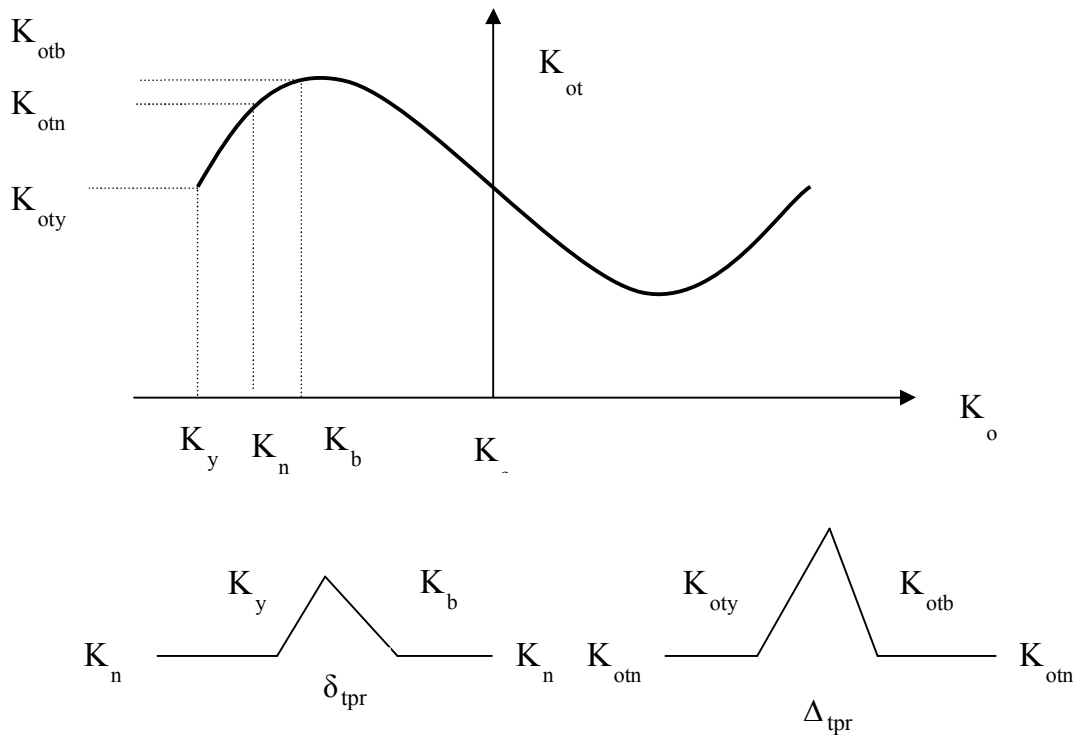


Рис. 7. Соответствие $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

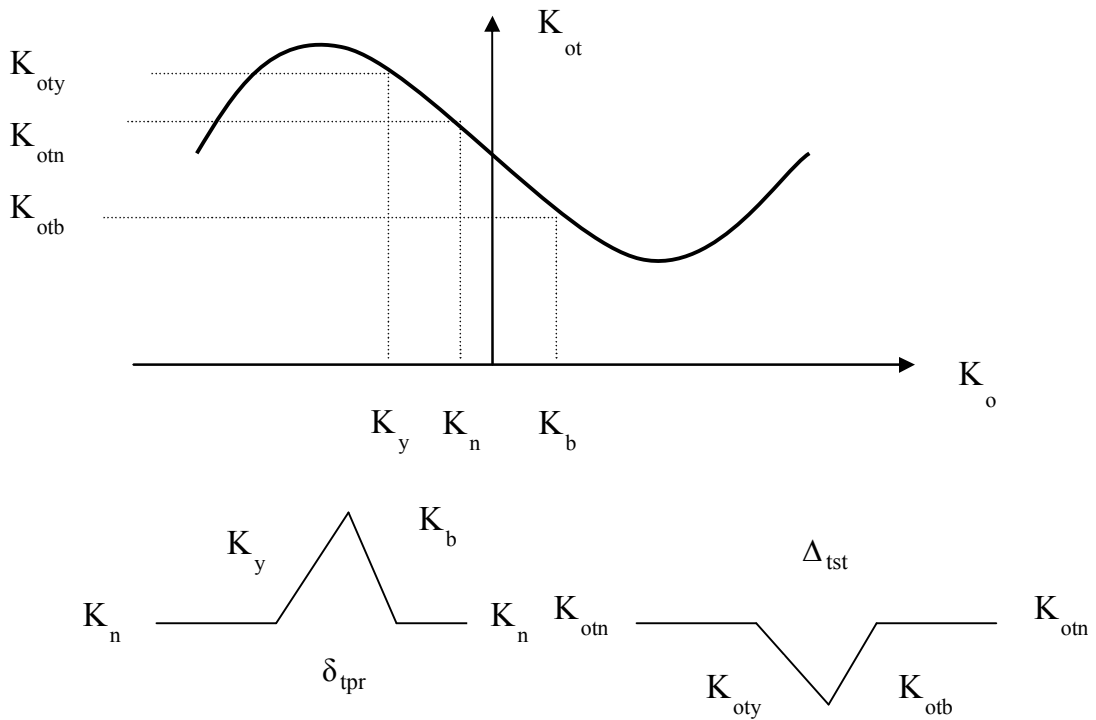


Рис. 8. Соответствие $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tst}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

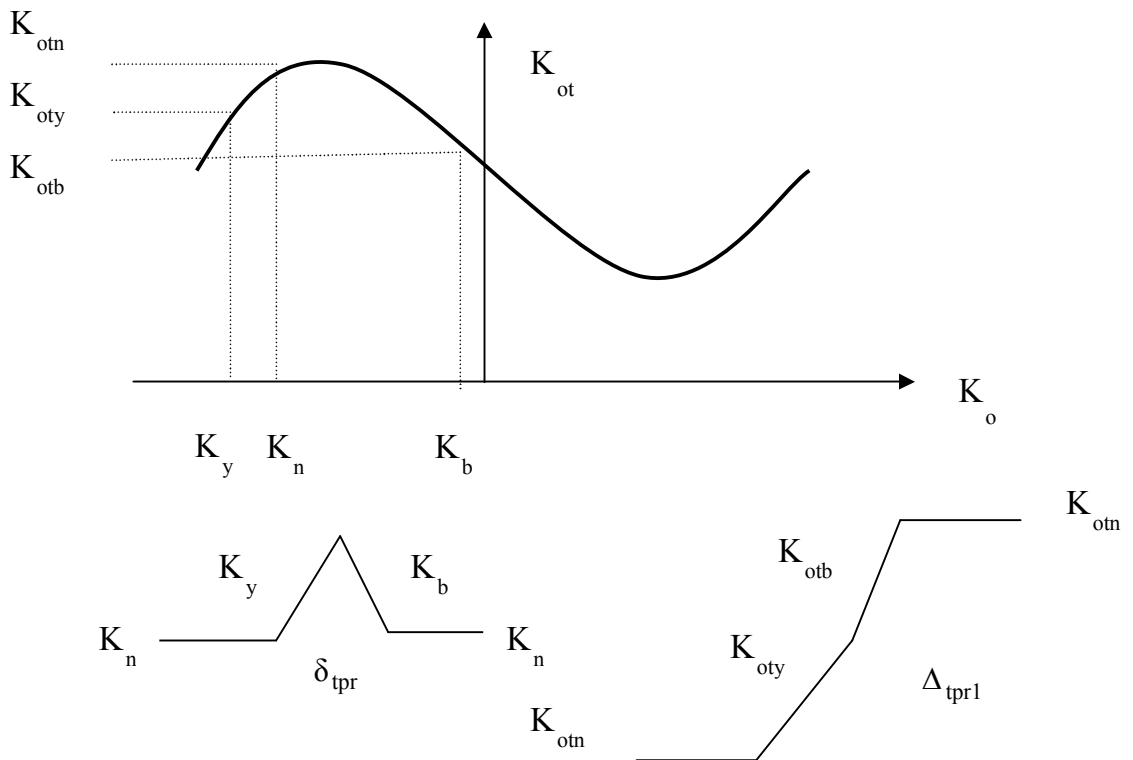


Рис. 9. Соответствие $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

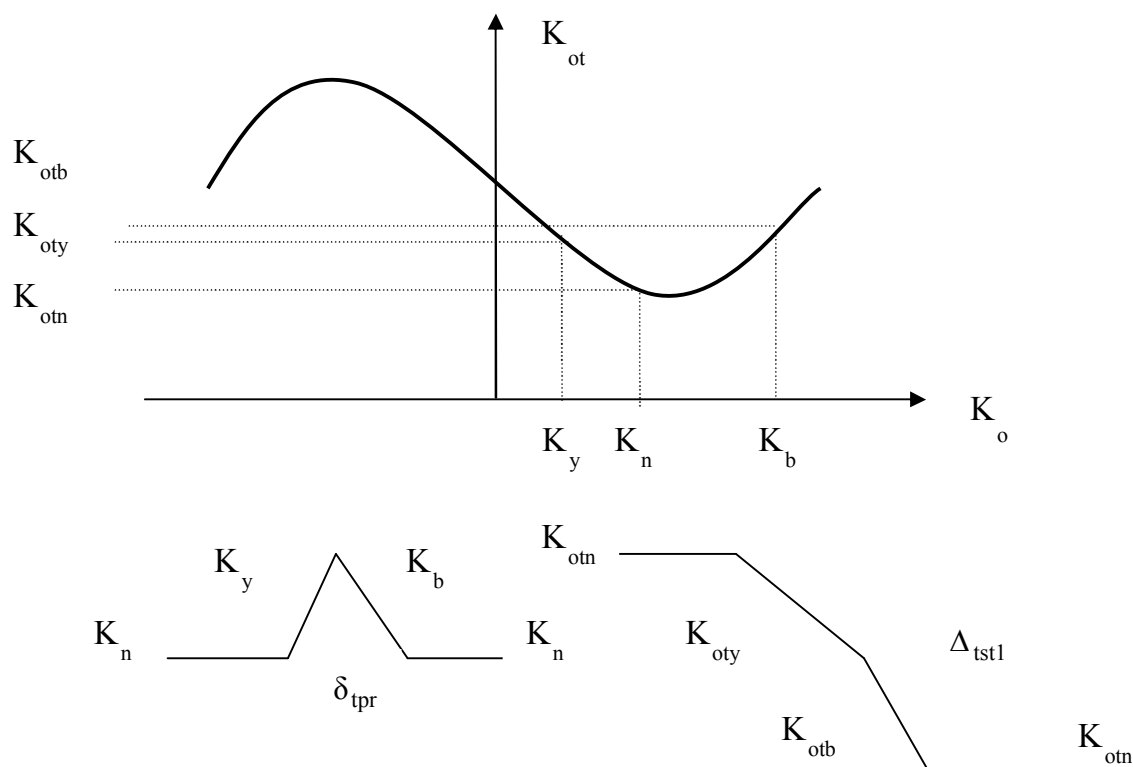


Рис. 10. Соответствие $\delta_{tpr} \rightarrow \Delta_{tst1}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в общем случае формы δ_{tst} и δ_{tpr} истинной траектории расхождения могут отображаться в пространстве относительного движения четырьмя формами относительной траектории расхождения Δ_{tst} , Δ_{tpr} , Δ_{tst1} и Δ_{tpr1} . В дальнейшем целесообразно рассмотреть зависимость форм относительной траектории расхождения от отношения скорости судна к скорости цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.
3. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.

4. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
5. Бурмака, И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.

,УДК 656.61.052.484

**DEVELOPMENT OF SHIP INFORMATIVE COLLISION
AVOIDANCE SYSTEM****РАЗРАБОТКА СУДОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ**

Y.A. Petrychenko, *PhD, associate professor*, **O.A. Petrychenko**, *assistant*
Е.А. Петриченко, *к.т.н., доцент*, **О.А. Петриченко**, *ассистент*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The collision avoidance system ships, which allow to identify the initial situation of dangerous rapprochement in accordance with the COLREG requirements and expect the parameters of strategy of divergence of ships, is considered.

At dangerous rapprochement of ships at first it is needed to define their mutual duties which respond to request COLREG, and then in the case of necessity to choose the parameters of safe maneuver of divergence. Therefore, for the collision avoidance system ships the algorithms of cooperation of ships in the process of divergence in accordance with the COLREG requirements were developed. After determination of region of mutual duties ships choose the maneuver of divergence, for determination of parameters of which the before got expressions were used.

In work the imitation program is considered for testing of the collision avoidance system ships, which contains the module of forming of initial situation of dangerous rapprochement and module of playing of the got maneuver of divergence for verification of correctness of work of the collision avoidance system ships.

For forming of initial situation of dangerous rapprochement of ships a course and speed of base ship and parameters of motion of purpose is entered in the imitation program. Introduction of initial data of situation of dangerous rapprochement is completed by the choice of parameters of relative position, that to bearing and distance.

The module of determination of mutual duties of ships according to the COLREG requirements uses the algorithms of binary coordination, which represent the conduct of pair of ships in the case of their dangerous rapprochement, both at beautiful and at the reduced visibility.

With the help of the imitation program was generated situations of dangerous rapprochement, which the collision avoidance system ships identified within the framework of COLREG and defined the conduct of ships for the safe maneuver of divergence. As a result of playing of these maneuvers made sure of their correctness, because ships cleanly divided in the inflicted distance.

The results of design of the imitation program confirmed correctness of the work system and showed expedience of its use.

Keywords: safety of navigator, process of divergence of vessels, collision avoidance system, imitation design.

РЕФЕРАТ

Розглянуто систему попередження зіткнень суден, яка дозволяє ідентифікувати початкову ситуацію небезпечного зближення у відповідності з вимогами МППЗС-72 і розраховувати параметри стратегії розходження суден.

При небезпечному зближенні суден спочатку потрібно визначити їх взаємні обов'язки, які відповідають вимогам МППЗС-72, а потім в разі необхідності вибрати параметри безпечного маневру розходження. Тому для системи попередження зіткнень суден були розроблені алгоритми взаємодії суден в процесі розходження у відповідності з вимогами МППЗС-72. Після визначення області взаємних обов'язків судна вибирають маневр розходження, для визначення параметрів якого були використані раніш одержані вирази.

В роботі розглянуто імітаційну програму для тестування системи попередження зіткнень суден, яка містить модуль формування початкової ситуації небезпечного зближення і модуль програмування одержаного маневру розходження для перевірки коректності роботи системи попередження зіткнень суден.

Для формування початкової ситуації небезпечного зближення суден в імітаційну програму вводяться курс і швидкість базового судна та параметри руху цілі. Введення початкових даних ситуації небезпечного зближення завершується вибором параметрів відносної позиції, тобто пеленгу і дистанції.

Модуль визначення взаємних обов'язків суден відповідно вимогам МППЗС-72 використовує алгоритми бінарної координації, які відображають поведінку пари суден в разі їх небезпечного зближення, як при гарній, так і при зниженій видимості.

З допомогою імітаційної програми були сгенеровані ситуації небезпечного зближення, які система попередження зіткнень суден ідентифікувала в рамках МППЗС-72 і визначила поведінку суден для безпечного маневру розходження. В результаті програмування цих маневрів упевнились в їх коректності, тому що судна чисто розійшлись в завданій дистанції.

Результати моделювання імітаційної програми підтвердили коректність роботи системи та показали доцільність її використання.

Ключові слова: безпечність судноводіння, процес розходження суден, система попередження зіткнень суден, імітаційне моделювання.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

При плавании судов в стесненных водах особенно актуальной проблемой является снижение аварийности по причине их столкновений. При опасном сближении судов требуется оценить ситуацию сближения и оперативно выбрать безопасный маневр расхождения, который удовлетворял бы требованиям МППСС-72 и соответствовал бы хорошей морской практике.

Успех безопасного расхождения возрастает при использовании информационной системы предупреждения столкновений судов. Поэтому вопросы, посвященные разработке такой системы, являются актуальными, что обуславливает выбор темы статьи.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] рассмотрены различные ситуации сближения судов и предложены маневры их расхождения. Процесс расхождения судов в случае отсутствия навигационных опасностей достаточно подробно и корректно формализован в существующих работах [2-4], а в работах [5, 6] рассмотрен учет навигационных опасностей в районе маневрирования судов. Однако полученные теоретические результаты не получили своего применения в разработке перспективной информационной системы предупреждения столкновений судов.

Формулировка целей статьи

Целью статьи является рассмотрение возможностей разработки информационной системы предупреждения столкновений судов.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

При опасном сближении судов прежде всего необходимо определить их взаимные обязанности, предписанные МППСС-72, а затем в случае необходимости определить параметры безопасного маневра расхождения. Поэтому для простейшей системы предупреждения столкновений судов были разработаны алгоритмы взаимодействия судов в процессе расхождения в соответствие с требованиями МППСС-72, формализация которого приведена в [7]. После определения области взаимных обязанностей суда выбирают маневр расхождения, для определения параметров которого использованы выражения, полученные в работе [8]. Для тестирования полученной системы предупреждения столкновений судов была разработана имитационная программа, которая помимо собственно системы предупреждения столкновений судов содержит модуль формирования исходной ситуации опасного сближения и модуль проигрывания полученного маневра расхождения для проверки корректности работы системы предупреждения столкновений судов.

В первом примере при формировании ситуации опасного сближения оперирующим судном было выбрано, как показано на рис. 1, судно стесненное осадкой, а целью является судно, ограниченное в возможности маневрировать (рис. 2). Тип судна в ситуации опасного сближения выбирается с помощью шести клавиш в левой части экрана после использования клавиш "ОПЕРАТИВНОЕ СУДНО" и "ЦЕЛЬ".

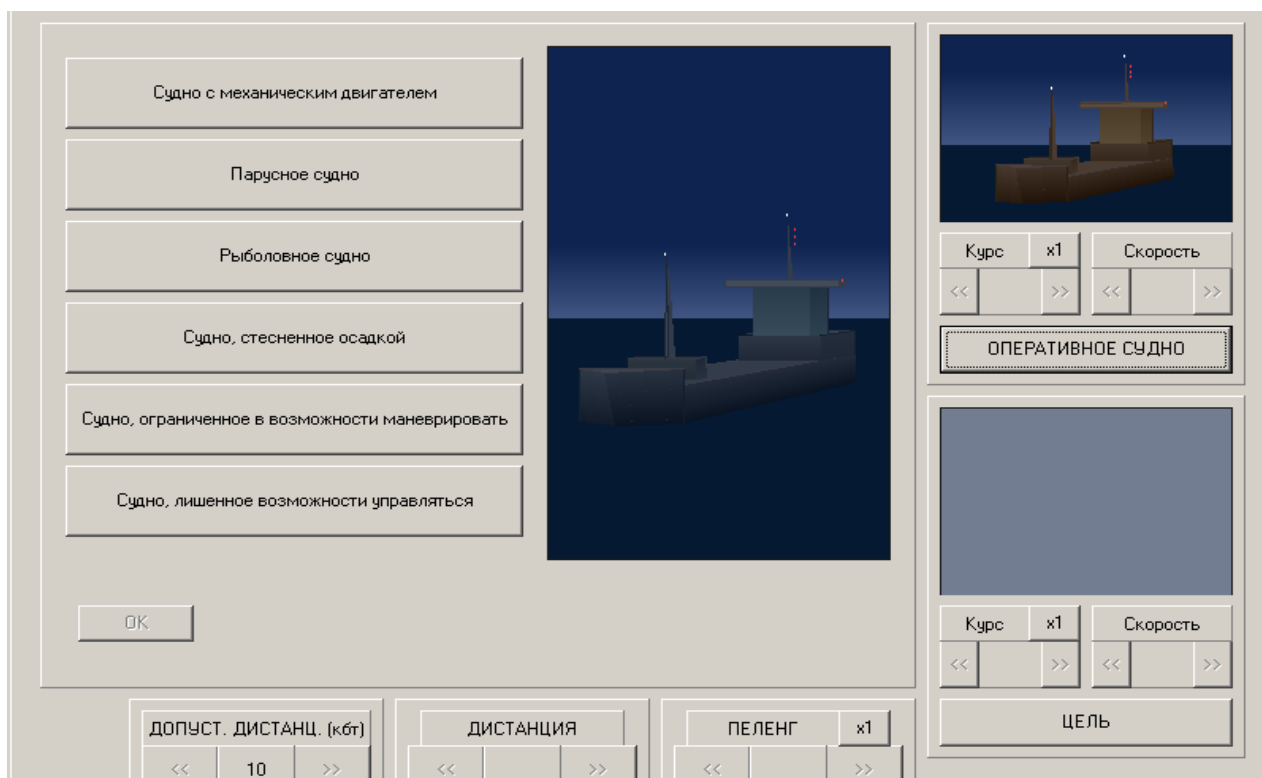


Рис. 1. Выбор оперирующего судна

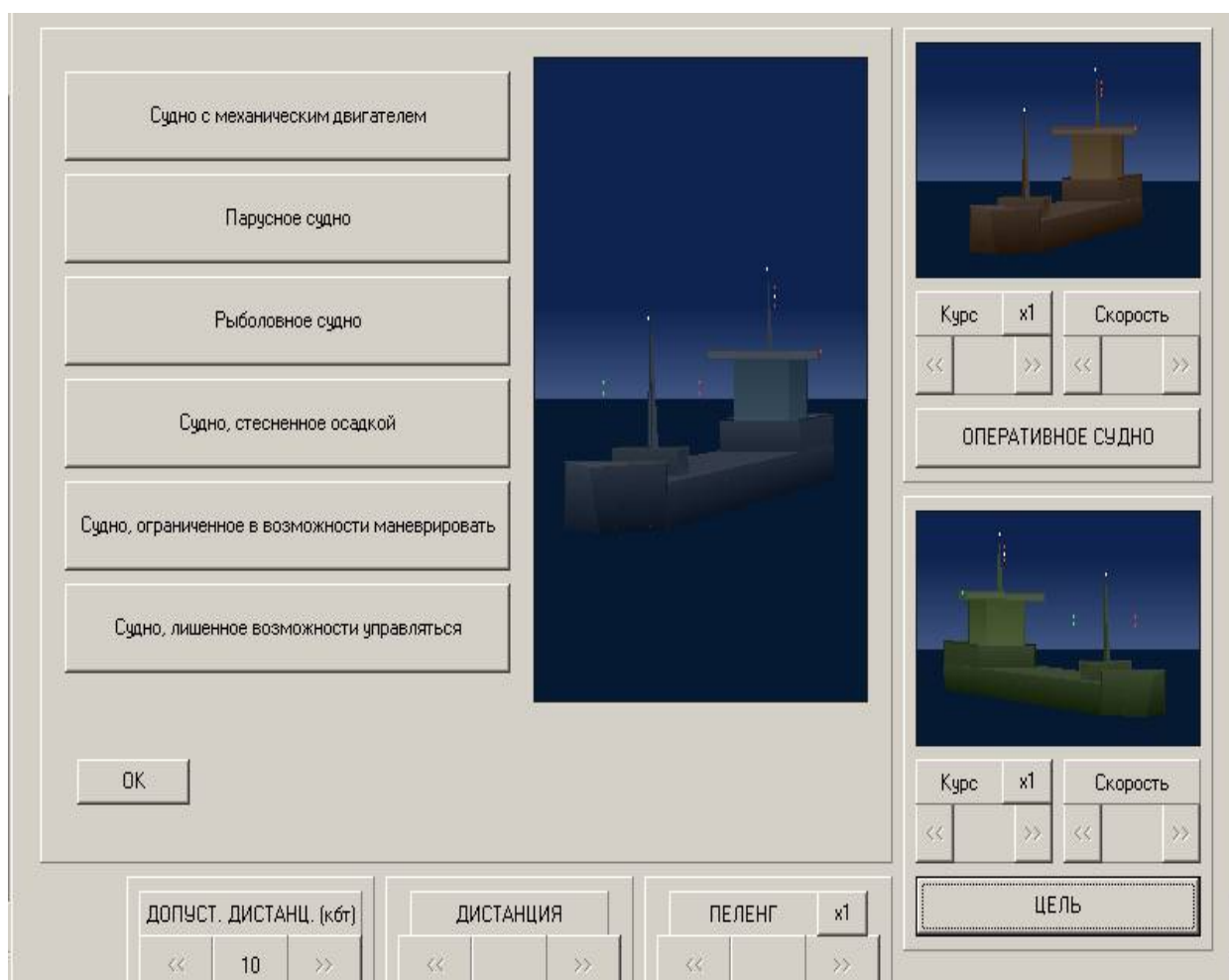


Рис. 2. Выбор цели

Затем вводятся курс и скорость оперирующего судна и параметры движения цели. Ввод исходных данных ситуации опасного сближения завершается выбором параметров относительной позиции, т. е. пеленга и дистанции. Для рассматриваемого примера значения указанных параметров ситуации опасного сближения показаны на рис. 3. При этом в случае опасного сближения на экран выводится соответствующее сообщение, а также графическое отображение введенной ситуации опасного сближения. После использования клавиши "ОК" параметры выбранной ситуации опасного сближения имитационной программой передаются на модуль системы предупреждения столкновений судов, которая определяет какому правилу МППСС-72 соответствует ситуация сближения и выводятся параметры маневров обоих судов, как показано на рис. 4.

Из рисунка видно, что начальная ситуация соответствует правилу 18 и дорогу уступает оперирующее судно, причем указываются параметры его маневра расхождения. Цель сохраняет свои параметры движения, продолжая следовать прежним курсом 180 градусов со скоростью равной 11 узлам.

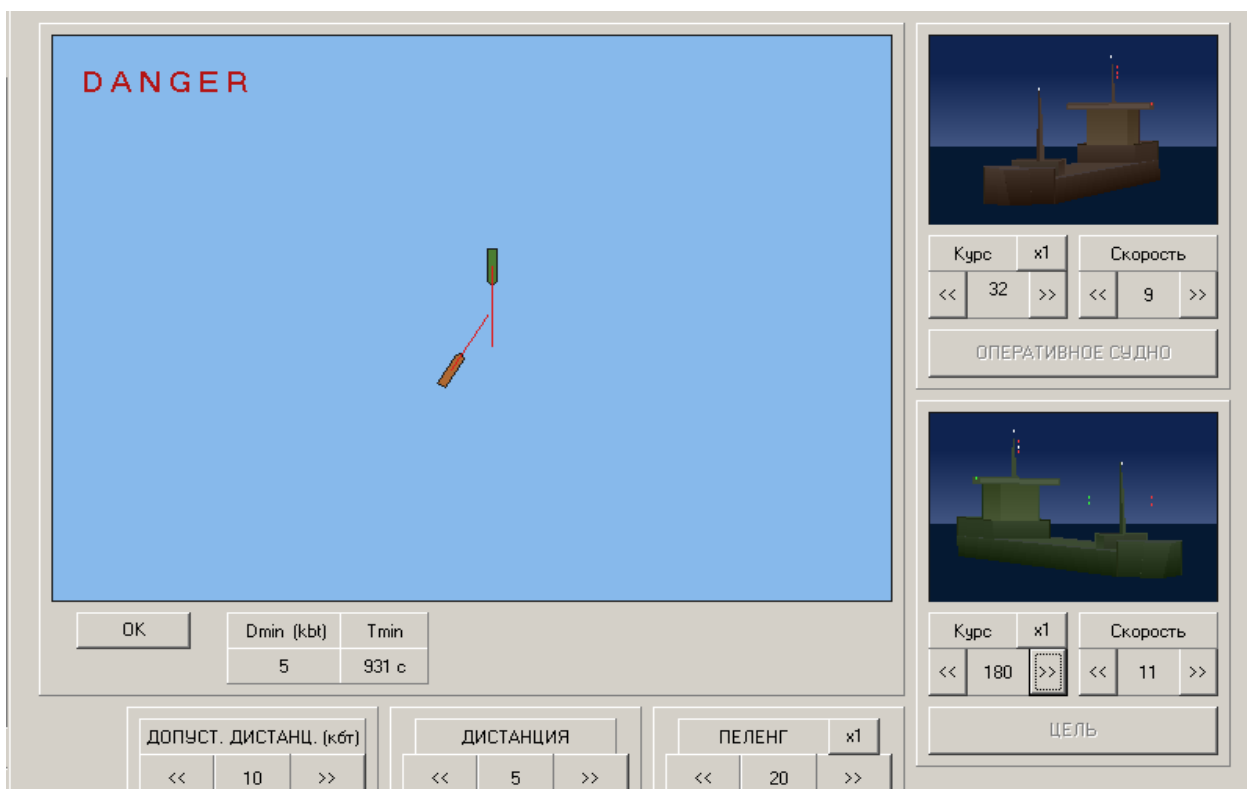


Рис. 3. Ввод параметров ситуации опасного сближения

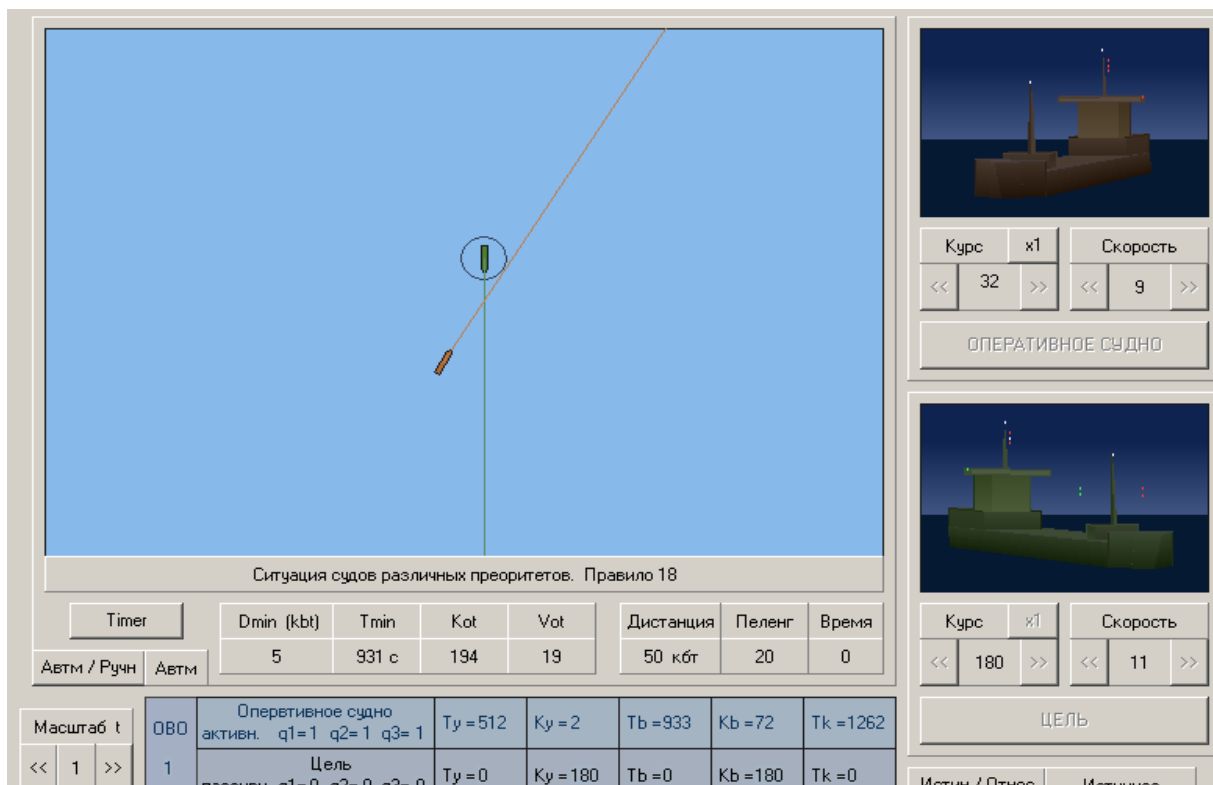


Рис. 4. Вывод решения системы предупреждения столкновений судов

Проигрывание маневра расхождения производится после использования клавиши "Timer". На рис. 5 показано, что на 539 с процесса расхождения оперирующее судно следует курсом уклонения 2° , на который легло на 512 с сближения, в то время как цель продолжает следовать программной траекторией с начальными параметрами движения.

Разойдясь с целью в предельно-допустимой дистанции сближения, равной 10 кабельтовым, оперирующее судно на 933 с процесса расхождения повернуло на курс выхода на заданную траекторию 72° , что следует из рис. 6, который отображает текущую ситуацию на 961 с процесса расхождения. Продолжая следовать курсом выхода 72° , оперирующее судно приближается к заданной траектории движения и на 1262 с процесса расхождения ложится на программный курс движения 32° , как показано на рис. 7. Обращаем внимание на то обстоятельство, что в течение всего процесса расхождения цель сохраняла неизменные параметры движения.

Отмечаем, что с помощью имитационной программы была сгенерирована ситуация опасного сближения, которую система предупреждения столкновений судов идентифицировала в рамках МППСС-72 и определила поведение судов для безопасного маневра расхождения. В результате проигрывания этого маневра убедились в его корректности, так как суда разошлись чисто в заданной дистанции кратчайшего сближения.

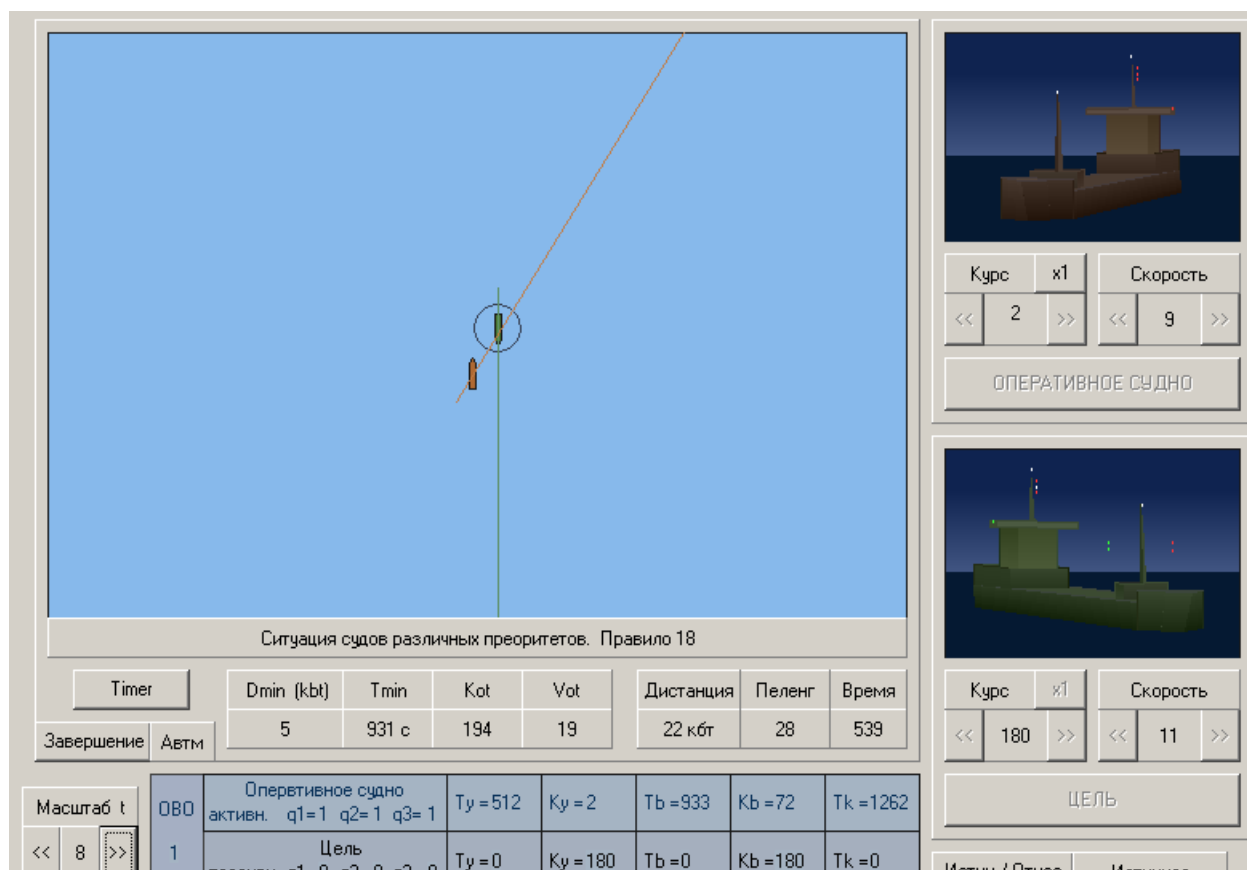


Рис. 5. Участок уклонения оперирующего судна

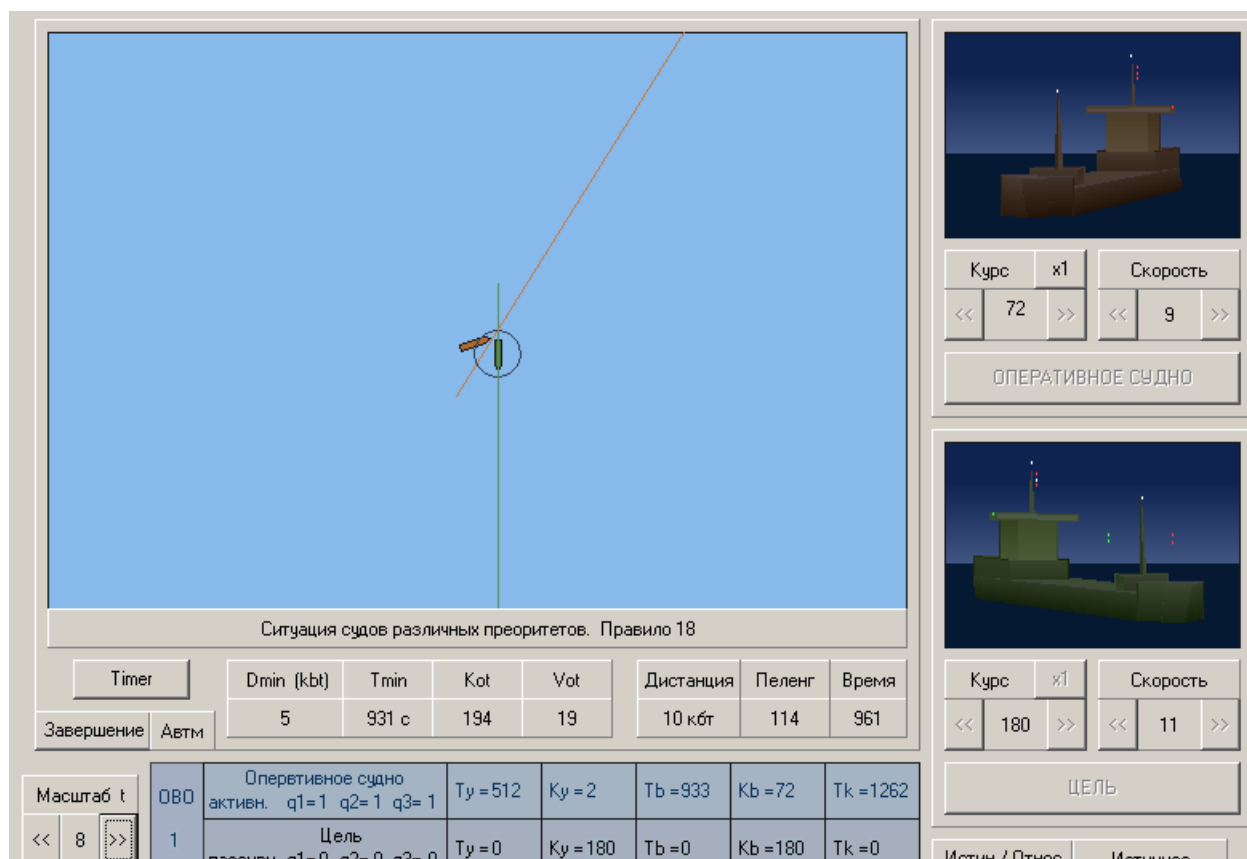


Рис. 6. Участок выхода оперирующего судна на программную траекторию

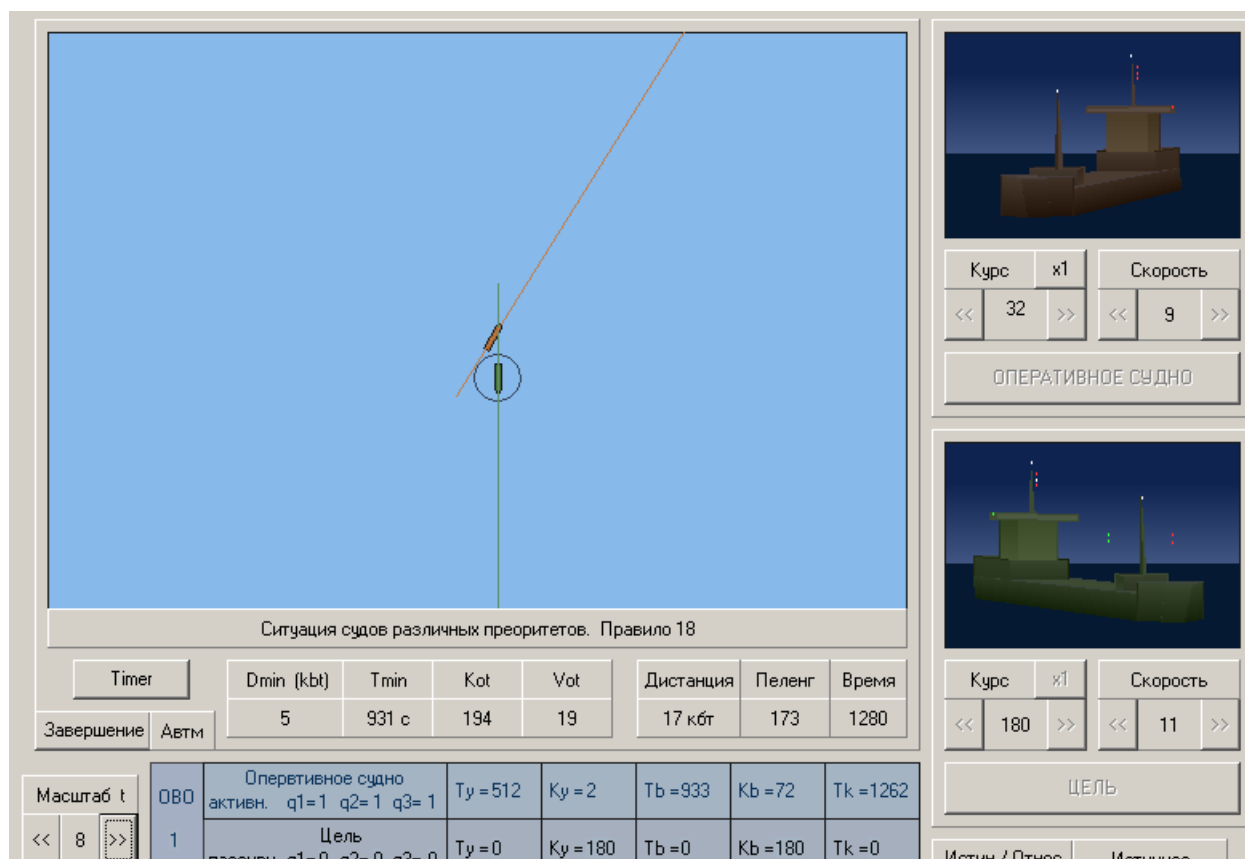


Рис. 7. Завершение процесса расхождения

Для второго примера оба судна являются судами с механическим двигателем, начальная ситуация опасного сближения которых показана на рис. 8. Система предупреждения столкновений судов отнесла рассмотренную ситуацию опасного сближения с учетом статусов судов и их относительной позиции к правилу 15, обязав оперирующее судно выполнять маневр расхождения, так как оно видит цель справа от направления движения. Системой предупреждения столкновений судов рассчитаны параметры маневра расхождения оперирующего судна, которые приведены на рис. 8.

Проигрывание процесса расхождения судов в рассматриваемом примере показано на рис. 9 и рис. 10. Так, на рис. 9 показано, что в момент времени 237 с оперирующее судно поворотом вправо ложится на курс отклонения 24° , на котором сближается с целью на заданную дистанцию кратчайшего сближения 10 кабельтовых, после чего на 744 с оно поворачивает на курс выхода 314° , следуя к программной траектории движения, как показано на рис. 10. Проигрывание процесса расхождения оперирующего судна с целью с параметрами маневра, рассчитанными системой предупреждения столкновений судов, показало корректность маневра расхождения и подтвердило целесообразность разработки и применения рассмотренной системы предупреждения столкновений судов.

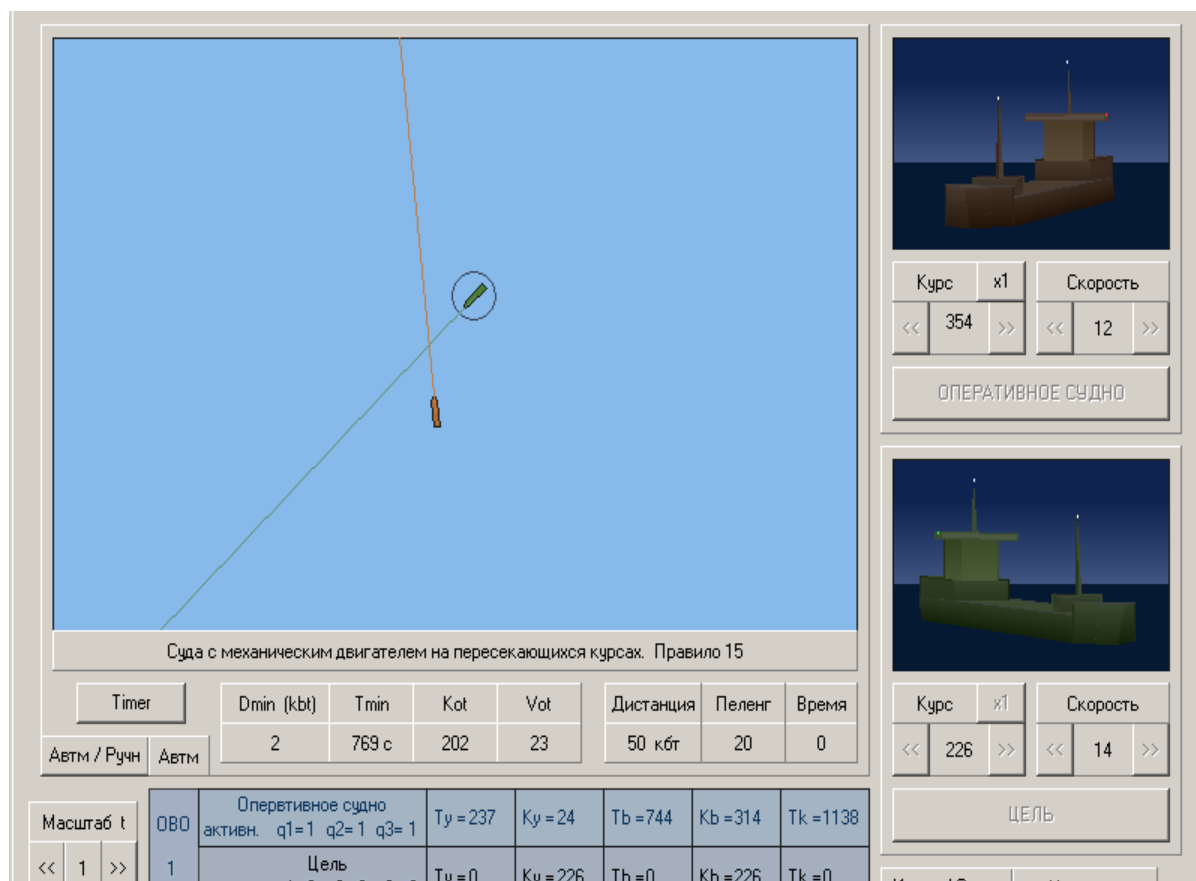


Рис. 8. Ситуация опасного сближения второго примера

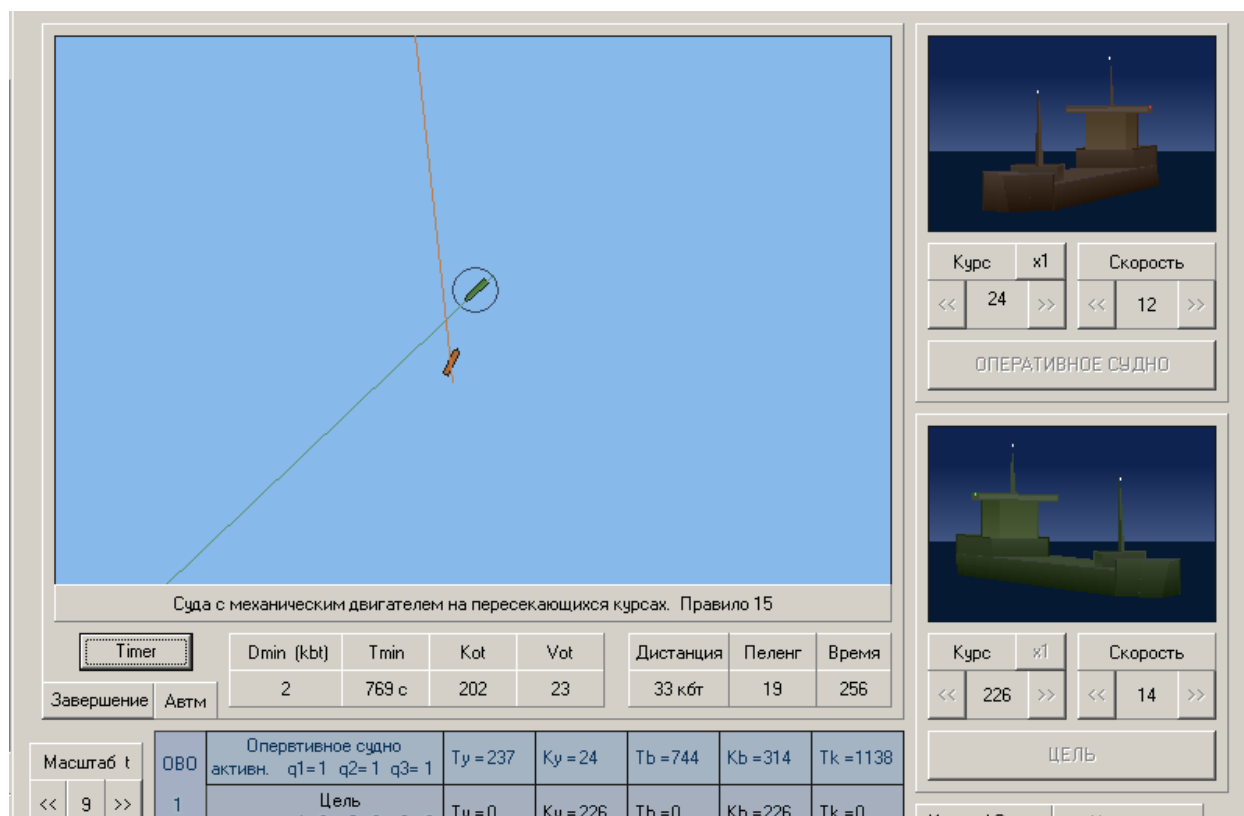


Рис. 9. Уклонение оперирующего судна

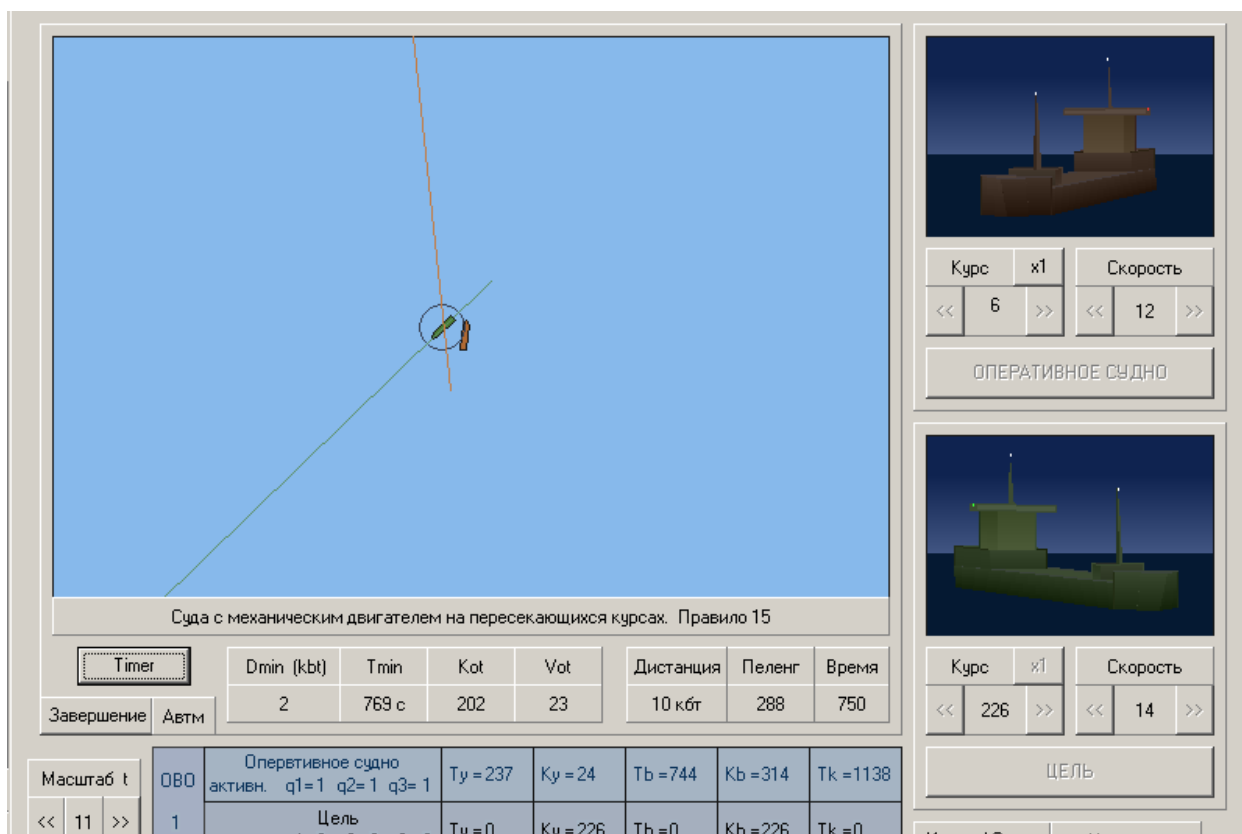


Рис. 10. Выход оперирующего судна на программную траекторию

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, рассмотрена простейшая система предупреждения столкновений судов, с помощью имитационной компьютерной программы доказана корректность ее работы, и показана целесообразность применения системы. В дальнейшем целесообразно рассмотреть возможность разработки системы предупреждения столкновений судов адаптированную к реальным условиям плавания судов в стесненных водах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Цымбал Н.Н. Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении/ Цымбал Н.Н. Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 124 – 129.
3. Сафин В.И. Использование маневра изменения скорости для предотвращения столкновения судов/ Сафин В.И., Тюпиков Е.Е. // Судовождение. – 2005. - № 10. – С. 143-147.
4. Бурмака И.А. Применение численных методов для расчета времени начала уклонения судна при расхождении/ Бурмака И.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов, ОНМА. – Вып. 6. – Одесса: ФЕНІКС, 2003 – С. 27-31.

5. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов/ Цымбал Н.Н., Бурмака ИА., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
6. Петриченко Е.А. Учет линейной навигационной опасности при расхождении судов/ Петриченко Е.А.// Автоматизация судовых технических средств. – 2003. – № 8. – С. 72-76.
7. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э. Н., Бужбецкий Р. Ю., Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. – Херсон: Гринь Д. С. - 2015. - 312 с.
8. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия). – 2016. - 585 с.

УДК 656.614

IMPROVEMENT OF INFORMATION PROCESSES IN THE SERVICE ERGATIC SYSTEMS ON THE BASIS OF DATABASES**СОВЕРЩЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕРВИСНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ****I.M. Petrov**, *PhD, associate professor***И.М. Петров**, *к.т.н., профессор**National University "Odessa Maritime Academy"**Национальный университет «Одесская морская академия»***ABSTRACT**

In article problems of improvement of the information processes (IP) promoting increase of efficiency of service of the vessel in port reveal. The organization of service is considered as the Service Ergatic System (SES) "person-technician-environment". At the same time the operator SES, i.e. the sea agent, the forwarding agent acts as the subject of work. Quality and availability of information, convenience of its representation and use in daily activity is regarded as of paramount importance. Relevance gives to article the output that development of the Data Bases (DB) for SES and management systems them remained unaddressed so far.

Achievement of the goal of optimization of IP SES is reached by the solution of problems of determination of structure of indicators of the DB, search of opportunities of their description, the choice of methods of their organization, ensuring access to the DB semantic communications of data, the thesaurus, logical and physical structures.

Information support of SES is classified on external - data preparation and operating by them out of the computer, and internal - data processing in the computer, and is implemented in the form of file system or in the form of the DB which is one of the IC component - the data bank.

Frame of work is limited to creation of the DB for SES. As adequate tools structural analysis is selected and means of DFD (Data Flow Diagrams) are used. As the main DFD components external entities are considered; subsystems; processes; drives, data streams. It is established that information process "Agency Service" has external limits: SHIPOWNER; VESSEL; AGENT; PORT. As a result of decomposition of problems of information processing drives of data are selected: DOCUMENTS; VESSEL CALL; VESSEL. Contents "VESSEL" are presented in the form of two DB – "VESSELS" and "SHIPOWNER. DB "DOCUMENTS" are standard forms of documents in electronic form. The offered structure and interrelation of the DB is the problem definition for programmers.

Use of the offered information support of IP in SES allows to provide efficiency when forming the document package on vessel call.

Keywords: Service Ergatic System, sea agent, forwarding agent, the ergatic function, information flows, database, structural analysis.

РЕФЕРАТ

У статті розкриваються проблеми вдосконалення інформаційних процесів (ІП), що сприяють підвищенню ефективності обслуговування судна в порту. Організація обслуговування розглядається як сервісна ергатична система (СЭС) "людина-техніка-середовище". При цьому суб'єктом праці виступає оператор СЭС, тобто морський агент, експедитор. На перше місце ставиться якість і доступність інформації, зручність її представлення і використання в повсякденній діяльності. Актуальність статті надає висновок про те, що розробка баз даних (БД) для СЭС і систем управління ними залишилися доки без уваги.

Досягнення мети оптимізації ІП СЭС досягається рішенням завдань визначення складу показників БД, пошуком можливостей їх опису, вибору способів їх організації, забезпечення доступу до БД смисловими зв'язками даних, тезаурусом, логічною і фізичною структурами.

Інформаційне забезпечення СЭС класифіковане на зовнішнє – підготовка даних і оперування ними поза ЕОМ, і внутрішнє – обробка даних в ЕОМ, і реалізується у вигляді файлової системи або у вигляді БД, яка є однією з компонентів ІС, – банку даних.

Рамки роботи обмежені створенням БД для СЭС. В якості адекватного інструментарія вибрано структурний аналіз і використані засоби DFD (Data Flow Diagrams). В якості основних компонентів DFD розглянуті зовнішні сутності; підсистеми; процеси; накопичувачі, потоки даних. Встановлено, що інформаційний процес "Агентування" має зовнішні обмежувачі: СУДНОВЛАСНИК; СУДНО; АГЕНТ; ПОРТ. В результаті декомпозиції завдань обробки інформації виділені накопичувачі даних: ДОКУМЕНТИ; СУДОЗАХІД; СУДНО. Вміст "СУДНО" представлено у вигляді двох БД – "СУДНО" і "СУДНОВЛАСНИК". БД "ДОКУМЕНТИ" є стандартні форми документів в електронному вигляді. Запропонована структура і взаємозв'язок БД є постановкою завдання для програмістів.

Використання запропонованої інформаційної підтримки ІП в СЭС дозволяє забезпечити оперативність при формуванні пакету документів по судозахіді.

Ключові слова: сервісна ергатична система, морський агент, експедитор, ергатична функція, інформаційний потік, бази даних, системний аналіз.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Организация обслуживания судна во время стоянки в порту согласно системному подходу образует сервисную эргатическую систему (СЭС)

«человек – техника – среда», основой функционирования которой является взаимодействие субъекта и объекта труда [1].

Следуя [2], рассмотрим группу эргатических функций, относящуюся к материальному производству (оперативно – гностическое и – практическое), и объединяющую такие функции, как обработка информации, принятие решений, организация рабочего места, транспортирование, управление средствами труда и т.д. Субъектом труда выступает оператор СЭС, т.е. морской агент, экспедитор, брокер и т.п.

В последнее время значительное внимание отводится вопросам, связанным с информационным обеспечением СЭС на морском транспорте. Главным становится качество и доступность информации, удобство ее представления и использования в повседневной деятельности. Информация является мощным ресурсом, позволяющим компаниям добиться конкурентных преимуществ. Многие сервисные компании переходят на новые стандарты и технологии, связанные с использованием электронных форм обеспечения деловых операций. Примером тому является внедрение в морских портах Украины с августа 2013 г. Информационной системы портового сообщества (ИСПС), участниками которой стали собственно порты, перевозчики, карантинные службы, предпринимательские структуры, осуществляющие сервисное обслуживание флота. С помощью ИСПС между контрагентами порта могут быть осуществлены обмен, проверка, оформление, расчеты и передача информации любого вида, необходимых документов, для контроля и оформления перевозимых грузов и транспортных средств, в электронном виде. Внедрение ИСПС позволило свести к минимуму документооборот в бумажной форме и время оформления грузов, логистически совершенствовать процесс их доставки до конечного получателя, упростить и сбалансировать схемы и процедуры пропуска грузов через порты Украины, и таким образом привести их в соответствие с практикой передовых зарубежных портов. Это потребовало от всех участников ИСПС, в том числе её сервисного сегмента, серьезных усилий по совершенствованию информационного обеспечения производственных процессов, в том числе по разработке, модернизации и внедрению баз данных.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Вопросам разработки баз данных посвящено значительное количество научных работ как отечественных, так и зарубежных ученых. Подобные проблемы рассматривали М. Р. Когаловский, С. Д. Кузнецов, В. Б. Уткин, В. В. Корнеев, А. Ф. Гарев, С. В. Васютин. Вопросы информационного обеспечения процессов обслуживания судов в портах получили развитие в трудах Е. Н. Воевудского. Среди иностранных ученых следует отметить таких, как Дейт К. Дж., Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж., Коннолли Т., Бегг К., Бейнон-Дэвис П. и др. Однако работы упомянутых авторов в основном отличаются теоретической направленностью. Без внимания пока остались

сервисные эргатические системы на морском транспорте, разработка баз данных для них и систем управления ими. Эти обстоятельства предопределили актуальность данного исследования.

Формулирование целей статьи (постановка задач)

Целью исследования является анализ используемого информационного обеспечения СЭС на морском транспорте и его оптимизация путем разработки баз данных, отвечающих требованиям международных стандартов и условиям работы транспортного сервисного сегмента в современных рыночных условиях.

Достижение цели исследования диктует необходимость решения задач определения состава показателей, заносимых в проектируемые базы, предусмотреть возможность их описания на информационном языке, выбора способов их организации, обеспечения доступа к данным базы выявленными смысловыми связями данных, построенными тезаурусом, логической и физической структурами базы [3].

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Используя выводы проф. Е.Н. Воевудского, отметим, что информационное обеспечение СЭС на морском транспорте включает в себя наборы показателей, классификаторы информации, языки записи данных, правила структурной организации информации [3]. Оно классифицируется на внешнее – подготовка данных и оперирование с ними вне ЭВМ, и внутреннее – обработка данных в ЭВМ. При этом, информационное обеспечение реализуется в виде файловой системы или в виде базы данных (БД), которая, в свою очередь, является одной из компонент информационной системы (ИС) – банка данных.

В состав Банка данных входят: БД – совокупность специальным образом организованных (структурированных) данных и связей между ними, т.н. датологическое (от англ. *data* — данные) представление информации о предметной области; систему управления БД (СУБД) – специальный комплекс программ и языков, посредством которого организуется централизованное управление БД и обеспечивается доступ к ним; администратора БД — лицо (группу лиц), деятельность которого реализует управление БД. Банк данных может быть представлен как АСУ БД [4]. Некоторые исследователи включают в банк данных 4-й компонент – технический [5,6].

Основные функции администратора БД приведены в [7]. На этом основании можно сделать вывод, что морские агенты и экспедиторы – операторы рассматриваемых СЭС, также являются и администраторами БД.

Переходя к созданию БД в СЭС, отметим, что оно предполагает разработку двух его компонент – БД (проблемно-ориентированный компонент) и СУБД. Первый является главным в разработке БД и предопределяет выбор системы управления БД (СУБД) – выбор пакета программ для ведения БД [3].

В настоящем исследовании ограничимся созданием БД для сервисной деятельности в рамках СЭС. Первым этапом создания БД является обследование и подробный анализ наглядной области. Далее результаты

первичного анализа должны быть детализированы и соответствующим образом структурированы.

Для анализа наглядной области адекватным инструментарием является структурный анализ. Его цель – превращение общих, нечетких знаний о начальной наглядной области в точные формулировки и спецификации, а также генерация функционального описания системы. Заметим, что все методологии структурного анализа имеют в своей основе общие принципы концептуальной общности, полноты, непротиворечивости, абстрагирования, сокрытия, независимости данных. Базовыми являются принципы декомпозиции и иерархического упорядочения.

Из известных и применяемых на практике методологий структурного анализа в исследовании нами использованы средства DFD (Data Flow Diagrams – диаграммы потоков данных (ДПД)). При этом, в методологии ДПД верхние уровни иерархии (контекстные диаграммы) определяют основные процессы или подсистемы ИС с внешними входами и выходами. Их детализация может быть проведена с помощью диаграмм нижнего уровня. Подобная декомпозиция, образуя многоуровневую иерархию диаграмм, будет длиться до тех пор, пока процессы не станут элементарными и дальнейшей детализации не смогут подлежать.

Основными компонентами ДПД являются: внешние сущности; системы /подсистемы; процессы; накопители данных; потоки данных.

На первом этапе при построении иерархии ДПД строятся контекстные диаграммы. Нужно иметь в виду, что контекстная диаграмма верхнего уровня содержит набор подсистем, соединенных потоками данных, а не единственный главный процесс. Контекстные диаграммы следующего уровня детализируют контекст и структуру подсистем. Таким образом, с помощью ДПД выполняется детализация для каждой подсистемы, присутствующей на контекстных диаграммах. При построении иерархии ДПД, только определив содержание всех потоков и накопителей данных, которое описывается с помощью структур данных, можно переходить к детализации процессов.

В результате рассмотрения технологий обработки информации в процессе агентского, и, частично, экспедиторского обслуживания, нами были выделены две основные задачи: 1) оформление пакета документов **по судозаходу**; 2) учет имеющейся к нему информации.

Например, информационный процесс «Агентирование» имеет следующие внешние ограничители (субъекты, являющиеся поставщиками или пользователями информации для будущей ИС): СУДОВЛАДЕЛЕЦ; СУДНО; АГЕНТ; ПОРТ. Диаграмма первого уровня представлена на рис. 1

Цифрами обозначены информационные потоки первого уровня:

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Информация капитана судна | 5. Информация для агентов |
| 2. Информация порта | 6. Информация для судовладельца |
| 3. Информация для порта | 7. Информация судовладельца |
| 4. Информация агентов | 8. Информация для капитана судна |

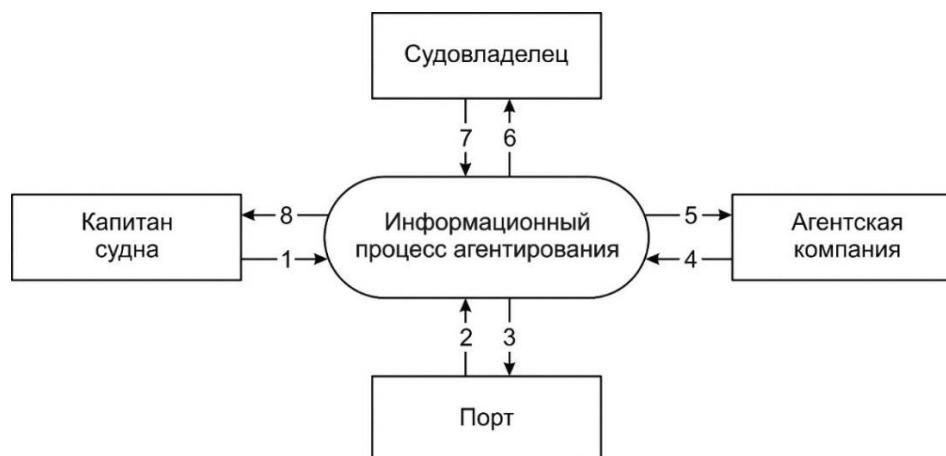


Рис 1. Информационные потоки первого уровня в процессе агентирования

Детализация информационных потоков первого уровня приведена в табл. 1.

Таблица 1. Детализируемые в процессе обработки информации информационные потоки

Информационные потоки первого уровня	Информационные потоки второго уровня
1. Информация от капитана	1.1. Информация по судозаходу 1.2. Запрос по предыдущему дисбурсментскому счету
2. Информация порта	2.1. Запрос документов по судозаходу
3. Информация для порта	3.1. Генеральная декларация 3.2. Грузовая декларация 3.3. Экологическая декларация 3.4. Информация о наличии балласта на судне 3.5. Извещение капитана о не загрязнении портовой акватории 3.6. Морская санитарная декларация 3.7. Генеральная декларация на отход 3.8. Грузовая декларация на отход 3.9. Экологическая декларация на отход
4. Информация от агентов	4.1. Стоимостные характеристики судозахода 4.2. Запрос по судозаходу
5. Информация для агентов	5.1. Отчет по судозаходу
6. Информация для судовладельцев	6.1. Дисбурсментский счет
7. Информация от судовладельцев	7.1. Запрос по дисбурсментскому счету 7.2. Информация по судозаходу 7.3. Данные о судовладельце 7.4. Данные о судне
8. Информация для капитана	8.1. Предыдущий дисбурсментский счет

Далее выделим накопители данных, то есть будущие БД. При этом будем руководствоваться декомпозицией основных задач обработки информации в процессе агентирования.

Считаем, что целесообразно выделять следующие накопители данных: ДОКУМЕНТЫ; СУДОЗАХОД; СУДНО.

Так получена диаграмма информационных потоков второго уровня (рис.2).

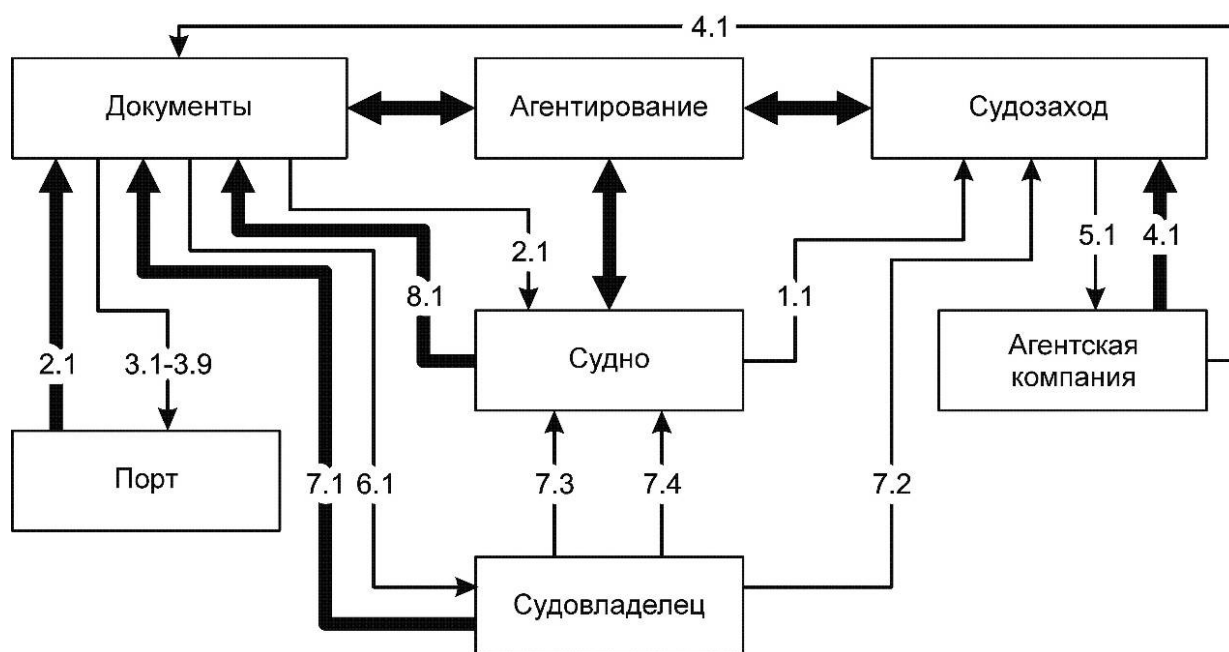


Рис. 2. Детализированные информационные потоки в процессе агентского обслуживания

Получив картину информационных потоков в процессе сервисного обслуживания, приступаем к анализу содержимого накопителей, который позволяет сделать выводы по структуре БД данных проектируемой ИС. Анализируем содержание накопителей «ДОКУМЕНТЫ», «СУДНО», «СУДОЗАХОД» (рис. 3).

Как видим, содержимое накопителя «СУДНО» можно представить в виде двух БД – «СУДНО» и «СУДОВОЛАДЕЛЕЦ» для рациональной организации хранения в БД (поскольку одному судовладельцу может принадлежать несколько обслуживаемых судов, поэтому не имеет смысла дублировать информацию по судовладельцам в базе данных «СУДНО»).

БД «ДОКУМЕНТЫ» являются стандартные формы документов в электронном виде. Однако, многие позиции в них должны заполняться автоматически по мере введения информации по судозаходу и судну.



Рис. 3. Структуры БД для ИС поддержки сервисной деятельности

Предложенные БД являются взаимосвязанными [8]. Реляционная связь выглядит, как показано на рис.4.

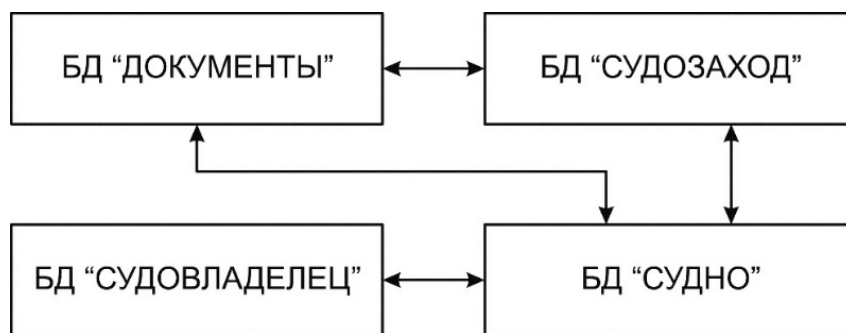


Рис. 4. Взаимосвязь баз данных

Предложенная структура и взаимосвязь БД является постановкой задачи для программистов. На базе проектных предложений ИС для агентской и экспедиторской деятельности может быть реализована на практике.

Выводы и перспективы работы по данному направлению

В результате проведенной работы были получены следующие результаты:

1. Построение БД позволяет увидеть систему документооборота сервисной компании не на уровне фрагментов информации, многочисленных инструкций, отраслевых документов, а в виде формализованного потока данных.

2. Спроектированная БД для сервисной деятельности в СЭС отличается способностью устранить дублирование информации и основных функций по ведению БД, обеспечить постановку и решение новых задач; возможность обмена данными в рамках ИСПС, унификации представления и обработки данных; при необходимости ограничения доступа конкурентов к отдельным данным; непрерывного слежения за ходом обслуживания судна; усовершенствования, пополнения и модернизации БД и СУБД.

3. Использование предложенной информационной поддержки процессов агентирования и экспедирования позволит обеспечить оперативность при формировании пакета документов по судозаходу, а также обеспечить учет информации по судозаходу для сервисных компаний.

4. Если рассматривать конкретную сервисную деятельность, например, экспедирование, агентирование, их информационное обеспечение, то приходим к выводу, что в каждом случае оно в принципе уникально, но имеет много общих черт.

5. Постоянный анализ и оптимизация информационного обеспечения СЭС является необходимым условием соответствия предложенной БД требованиям практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климов Е.А. Психология профессионального самоопределения / Е.А. Климов. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 304 с.
2. Пряжникова Е.Ю. Психология труда. – 5-е изд., стер. / Е.Ю. Пряжникова, Н.С. Пряжников. – М.: Изд. центр «Академия», 2009. – 480 с.
1. Воевудский Е.Н. Управление системой обслуживания судов в портах/ Е.Н. Воевудский. – М.: «Транспорт», 1983. – 298 с.
2. Уткин В. Б. Информационные системы в экономике: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.Б. Уткин, К.В. Балдин. — М.: Изд. центр «Академия», 2004. — 288 с.
3. Корнеев В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гарев, С.В. Васютин. — М.: Нолидж, 2000. – 372 с.
4. Системы управления базами данных и знаниями / Под ред. А. Н. Наумова. — М.: Финансы и статистика, 1998 – 197 с.

5. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 8-е изд. / К.Дж. Дейт. – М.: Вильямс, 2005 — 1328 с.
6. Райордан Р. Основы реляционных баз данных / Р.Райордан. – М.: Русская редакция, 2001. – 394 с.

УДК656.61.052

**MATHEMATICAL MODELING OF AN ULTRA LARGE
CONTAINER VESSEL USING SEA TRIALS RESULTS****МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
КОНТЕЙНЕРОВОЗА КЛАССА ULCS ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИСПЫТАНИЙ**

О. Pipchenko¹, *PhD, associate professor*, **С. Коранский²**, *SDPO, V. Shevchenko³*,
PhD, associate professor

А.Д. Пипченко¹, *к.т.н., доцент*, **С. В. Копанский²**, *SDPO, В. А. Шевченко³*,
к.т.н., доцент

¹*National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine*

²*MUTAVI, UAE*

³*National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine*

¹*Национальный университет «Одесская Морская Академия», Украина*

²*MUTAVI, ОАЭ*

³*Национальный университет «Одесская Морская Академия», Украина*

ABSTRACT

As for today, modern container fleet keeps growing in size and capacity. For example, the container ship MSC Oscar with a length of 395 meters, a width of 59 meters and a draft of 16 meters, with a capacity of 19,224 TEU was launched in 2015. Despite the fact that the total number of navigational accidents (collisions, piles, groundings) has decreased in the last decade, emergency cases involving large-tonnage vessels are quite frequent. At the same time, according to the results of AGCS (Allianz Global Corporate & Specialty), the loss of a container ship with a cargo capacity of 19,000 TEU could cost as much as 1 billion US dollars. Obviously, with the increase in the size of ships, the problem of ensuring their navigation safety in narrow waters becomes even more critical. Mathematical modelling and simulation is a necessary process involved into design and operation of ships and port facilities. At the same time, physical modelling using scaled models is time consuming and expensive, which, if necessary, is performed at the final design stage. Proper mathematical modelling helps to find out limitations and possible problems or look for optimal solutions at early design stage as well as in the subsequent design process.

A manoeuvring model of an ultra large container vessel equipped with single screw fixed pitch propeller and semi-balanced spade rudder is represented in the paper. In order to check model's validity simulated data had to be compared with trial report data, which was obtained in ballast condition with significant trim. In such circumstances model coefficients cannot be calculated by known methods and have to be corrected as per trial data. The correction algorithm with a specifically developed objective function obtained as a result of this study are given in the paper.

Keywords: vessel maneuvering, mathematical model, ultra large container vessel, sea trials.

РЕФЕРАТ

На сьогоднішній день продовжує розвиватися тенденція укрупнення флоту. Так, наприклад, в 2015 році на воду був спущений контейнеровоз MSC Oscar, довжиною 395 метрів, шириною 59 м і осадкою 16 м, місткістю 19224 TEU. Незважаючи на те, що загальна кількість навігаційних аварій (зіткнень, навалів, посадок на мілину) продовжує зменшуватися в останні десятиліття, досить частими є аварійні випадки, в котрих задіяні великотоннажні судна. При цьому, за оцінками AGCS [1], втрата контейнеровоза вантажомісткістю 19000 TEU може обійтися в 1 мільярд доларів США. Природно, що зі збільшенням розмірів судів проблема забезпечення їх навігаційної безпеки в обмежених водах стає все більш гострою. На стадії проектування, як самих судів, так і судноплавних шляхів, акваторій портів і причальних споруд, до котрим вони підходять, необхідним етапом є моделювання виконуваних завдань. При цьому фізичне моделювання з використанням масштабованих моделей є трудомістким і дорогим процесом, котрий, при необхідності, виконується на завершальній стадії проектування. У той час як математичне моделювання є ефективним методом на попередній стадії.

Правильне математичне моделювання допомагає з'ясувати обмеження та можливі проблеми або шукати оптимальні рішення на ранньому етапі розробки, а також у наступному процесі проектування.

У статті представлена модель маневрування надвеликого контейнеровоза, обладнаного гвинтовим гвинтом фіксованого кроку і напів-балансирним кермом. Для перевірки достовірності розрахункові дані були зіставлені з результатами випробувань, які були отримані в баластному стані зі значним диферентом. В цьому випадку коефіцієнти моделі не можуть бути обчислені відомими методами і повинні бути від-коригувати відповідно до даних випробувань. Алгоритм корекції і спеціально розроблена цільова функція, отримані в результаті це-го дослідження, наведені в статті.

Ключові слова: аварійність суден, склад світового флоту, інциденти, втрати судів.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

На сегодняшний день продолжает развиваться тенденция укрупнения флота. Так, например, в 2015 году на воду был спущен контейнеровоз MSC Oscar, длиной 395 метров, шириной 59 м и осадкой 16 м, вместимостью 19224 TEU. Несмотря на то, что общее количество навигационных аварий (столкновений, навалов, посадок на мель) продолжает уменьшаться в последнее десятилетие, достаточно частыми являются аварийные случаи, в которых задействованы крупнотоннажные суда. При этом, по оценкам AGCS [1], потеря контейнеровоза грузоместимостью 19000 TEU может обойтись в 1 миллиард

долларов США Естественно, что с увеличением размеров судов проблема обеспечения их навигационной безопасности в стесненных водах становится все более острой. На стадии проектирования, как самих судов, так и судоходных путей, акваторий портов и причальных сооружений, к которым они подходят, необходимым этапом является моделирование выполняемых задач. При этом физическое моделирование с использованием масштабированных моделей является трудоемким и дорогостоящим процессом, который, при необходимости, выполняется на завершающей стадии проектирования. В то время как математическое моделирование является эффективным методом на предварительной стадии.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Моделированию маневрирования судна посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов. Существуют как линейные модели, предусматривающие управление курсом при постоянной средней скорости, так и нелинейные модели, позволяющие просчитать динамику судна в широком диапазоне параметров движения.

В подавляющем большинстве случаев в литературе встречаются модели маневрирования в трех степенях свободы. В первом случае это система уравнений для продольной и поперечной составляющей скорости поступательного движения и скорости вращения относительно вертикальной оси [19,21,22,24,26,28, 29,30], во втором случае это система уравнений для скорости поступательного движения, угла дрейфа и скорости вращения относительно вертикальной оси [31, 32, 34].

С точки зрения моделирования маневрирования с учетом сил различной природы, таких как ветро-волновые нагрузки, течения, буксиры, подруливающие устройства, особенно в случае расчетов маневрирования на скоростях близких к нулю, целесообразно строить модель с разделением скоростей по привязанным к фиксированной точке судна осям.

Силы и моменты, действующие на судно, можно рассчитать на основе источников [19,21,22,24, 26-32, 34].

Однако в большинстве случаев использование обобщенных для ряда судов формул приводит к погрешностям в расчётах, все еще достаточно большим для оценки безопасности мореплавания по рассчитанной таким образом модели судна.

Поэтому рассчитав на предварительной стадии коэффициенты модели, далее следует их откорректировать по имеющимся экспериментальным данным.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Данное исследование направлено на разработку алгоритма уточнения модели динамики контейнеровоза класса ULSC на основе существующих методов по данным испытаний.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

1. Модель маневрирования судна

Систему уравнений описывающих движение судна на плоскости представим, как:

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x)\dot{u}_G - (m + m_y)v_G r_G &= X \\ (m + m_y)\dot{v}_G + (m + m_x)u_G r_G &= Y \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r}_G &= N - x_G Y \end{aligned} \right\},$$

где m – водоизмещение судна; m_x, m_y – присоединенные массы, I_{kk}, I_{zz} – моменты инерции, J_{kk}, J_{zz} – присоединенные моменты инерции, u_G, v_G, p_G, r_G – продольная и поперечная составляющие поступательной скорости и угловые скорости относительно поперечной и вертикальной осей относительно центра тяжести судна соответственно; X, Y, K, N – гидродинамические силы и моменты, действующие на судно.

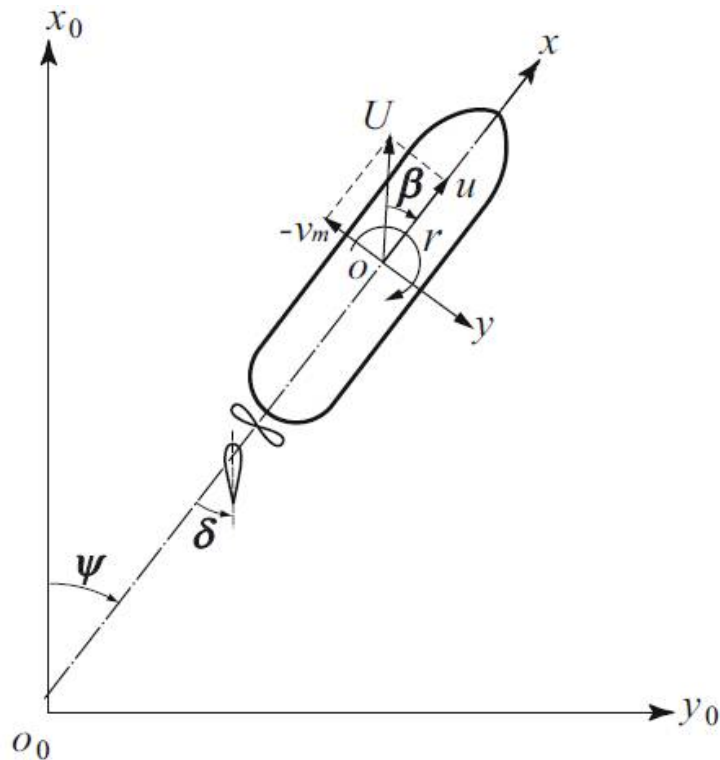


Рис. 1. Системы координат для моделирования движения судна

В развернутом виде гидродинамические силы и моменты представим, как:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_H + X_R + X_P \\ Y &= Y_H + Y_R + Y_P \\ N &= N_H + N_R + N_P \end{aligned} \right\},$$

где H – корпус; R – руль; P – винт; W – ветер; BT – носовое подруливающее устройство.

2. Силы и моменты, действующие на корпус

Силы и моменты, выражающие движение на плоскости, примем в форме, предложенной Йошимуро [28].

Силы и момент сопротивления воды (X_H , Y_H , N_H) совместно с силами инерции выражаются в виде системы:

$$\left. \begin{aligned} X_H + m_y v_g r_g &= \left(\frac{\rho}{2} L d U^2 \right) \times \left\{ X'_0 + X'_{\beta\beta} \beta^2 + (X'_{\beta r} - m'_y) \beta r' + (X'_{rr} - x'_G m'_y) r'^2 + X'_{\beta\beta\beta\beta} \beta^4 \right\} \\ Y_H - m_x u_g r_g &= \left(\frac{\rho}{2} L d U^2 \right) \times \left\{ Y'_\beta \beta + (Y'_r - m'_x) r' + Y'_{\beta\beta\beta} \beta^3 + Y'_{\beta\beta r} \beta^2 r' + Y'_{\beta r r} \beta r'^2 + Y'_{r r r} r'^3 \right\} \\ N_H &= \left(\frac{\rho}{2} L^2 d U^2 \right) \times \left\{ N'_\beta \beta + N'_r r' + N'_{\beta\beta\beta} \beta^3 + N'_{\beta\beta r} \beta^2 r' + N'_{\beta r r} \beta r'^2 + N'_{r r r} r'^3 \right\} \end{aligned} \right\},$$

где ρ – плотность воды, β – угол дрейфа, положительный по направлению в левый борт; X_0 , $X_{\beta\beta}$, $X_{\beta\beta\beta\beta}$, X_{rr} , $X_{\beta r}$, Y_β , $Y_{\beta\beta\beta}$, Y_r , Y_{rrr} , $Y_{\beta\beta r}$, $Y_{\beta r r}$, N_β , $N_{\beta\beta\beta}$, N_r , N_{rrr} , $N_{\beta\beta r}$, $N_{\beta r r}$ – коэффициенты сил сопротивления.

Силу упора, создаваемую винтом, можно рассчитать по формуле:

$$X_P = (1 - t_P) \cdot T;$$

$$T = \rho \cdot n_P^2 \cdot D_P^4 \cdot K_T (J_P);$$

$$K_T (J_P) = k_0 + k_1 \cdot J_P + k_2 \cdot J_P^2;$$

$$J_P = \frac{u(1 - w_P)}{n_P D_P},$$

где T – упор винта, t_P – коэффициент уменьшения упора, n_P – обороты винта, D_P – диаметр винта, K_T – коэффициент упора, J_P – скольжение винта, w_P – коэффициент влияния корпуса.

Силы и момент, создаваемые рулем, определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_R &= -(1 - t_R) F_N \sin \delta \\ Y_R &= -(1 + a_H) F_N \cos \delta \\ N_R &= -(x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta \end{aligned} \right\},$$

где F_N – нормальная сила, создаваемая на руле; t_R , a_H , x_H – коэффициенты отображающие гидродинамическое взаимодействие корпуса, винта и руля; x_R – расстояние от плоскости мидель-шпангоута до баллера:

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 f_a \sin a_R,$$

где A_R – площадь пера руля, U_R – скорость потока воды на пере руля, f_a – подъемный коэффициент, a_R – угол скоса потока воды на руле.

Коэффициенты уравнений, и могут быть определены согласно методикам приведенным в [19, 21, 24, 26-32, 34] либо могут взяты из базы данных для судна с пропорциональным размещением.

И в том и в другом случае необходима последующая адаптация модели под данные испытаний.

3. Моделирование маневрирования с исходными значениями коэффициентов

Типовыми маневрами при испытаниях судов являются циркуляция, зигзаг 10/10°, активное и пассивное торможение. Эти данные возьмём из отчета по испытаниям Maersk Sirac [25], 2015 года постройки, вместимостью 10 000 TEU. В таблице 1 приведены размерения данного судна.

Таблица 1. *Maersk Sirac – сведения о судне*

Параметр	Значение
Длина наибольшая, м	300
Длина между перпендикулярами, L , м	287
Ширина, B , м	48.2
Осадка (средняя / максимальная) в грузу, d , м	12.5/15.0
Осадка носом на испытаниях, м	4.02
Осадка кормой на испытаниях, м	10.16
Диаметр винта, D_P , м	9.7
Коэффициент полноты (в балласте), C_b	0.6044
Площадь смоченной поверхности, Ω , м ²	11656
Коэффициент плоскости мидель-шпангоута, C_M	0.9735
Площадь пера руля, A_R , м ²	78.95

Согласно данным отчета [25] обороты винта в процессе циркуляции изменяются с 83 об/мин до 54 об/мин. Таким образом, для корректного расчета параметров циркуляции целесообразно на первом этапе моделирования определить характеристики разгона и торможения судна, что отображено в работе [33].

Как видно из таблицы 1, испытания судна проводились для состояния в балласте с дифферентом равным 6.14 м и средней осадкой 7.09 м. Эксплуатационная осадка судна в среднем в два раза больше, а дифферент близок к нулю. В связи с этим расчет коэффициентов модели по эмпирическим формулам приводит к большим погрешностям.

На первом этапе уточнения модели важно определить по каким параметрам будет оцениваться точность полученных результатов и каким образом будет определяться целевая функция.

В данном случае, целевую функцию Z целесообразно разбить на динамическую Z_D и кинематическую Z_K составляющие. Для маневра «циркуляция», в данных испытаний, как правило, указывается скорость, курс и координаты судна, а также выдвиг и тактический диаметр циркуляции. Соответственно:

$$Z_D = w_1 \frac{\sum_{n=1}^N |U_{Tn} - U_{Sn}|}{N} + w_2 \frac{\sum_{n=1}^N |r_{Tn} - r_{Sn}|}{N};$$

$$Z_K = w_3 \left(\frac{\max(X_T) - \max(X_S)}{\max(X_T)} + \frac{\max(Y_T) - \max(Y_S)}{\max(Y_T)} \right) + w_4 \frac{\sum_{n=1}^N \Delta D}{N \cdot \max(X_T)};$$

$$\Delta D = \sqrt{(X_T - X_S)^2 + (Y_T - Y_S)^2},$$

где ΔD – погрешность позиции; w_i – весовой коэффициент; индекс T – данные испытаний; индекс S – данные расчетов; $\max(X_T)$ – позиция, характеризующая тактический диаметр циркуляции; $\max(Y_T)$ – позиция, характеризующая выдвиг.

В качестве отдельной составляющей целевой функции для маневра зигзаг, выделим погрешность определения 1-го и 2-го углов зарыскивания:

$$Z_Z = w_5 \left(\left| \frac{\Delta \psi_1^T - \Delta \psi_1^S}{\Delta \psi_1^T} \right| + \left| \frac{\Delta \psi_2^T - \Delta \psi_2^S}{\Delta \psi_2^T} \right| \right).$$

Так как погрешности дистанции, линейной и угловой скоростей имеют разные порядки, их необходимо приводить к одному порядку при помощи весовых коэффициентов. В данном случае $w = [1; 180 \cdot 60 / \pi; 2; 1; 0.2]$.

Отсюда, целевая функция будет определяться как

$$Z = Z_D + Z_K + Z_Z$$

Далее следует определить коэффициенты, подлежащие корректировке. В данном случае алгоритм будет варьировать 19 коэффициентов, входящих в уравнения сил сопротивления корпуса и сил, создаваемых пером руля:

$$X'_{\beta\beta}, X'_{\beta r}, X'_{rr}, X'_{\beta\beta\beta}, Y'_{\beta}, Y'_{r}, Y'_{\beta\beta\beta}, Y'_{\beta\beta r}, Y'_{\beta r r}, Y'_{r r r}, N'_{\beta}, N'_{r}, N'_{\beta\beta\beta}, N'_{\beta\beta r}, N'_{\beta r r}, N'_{r r r}, \varepsilon, \gamma_R, a_h$$

На рис.1 отображена блок-схема алгоритма корректировки коэффициентов модели движения судна. Как описано выше, первым этапом является корректировка модели ходкости. Начальные коэффициенты модели выбираются из советующей базы данных. Затем производится расчет по модели и сравнение с данными испытаний. Если точность модели не удовлетворяет заданным критериям, производится корректировка методом Нелдера-Мида. В результате, уточненные коэффициенты вносятся в базу данных.

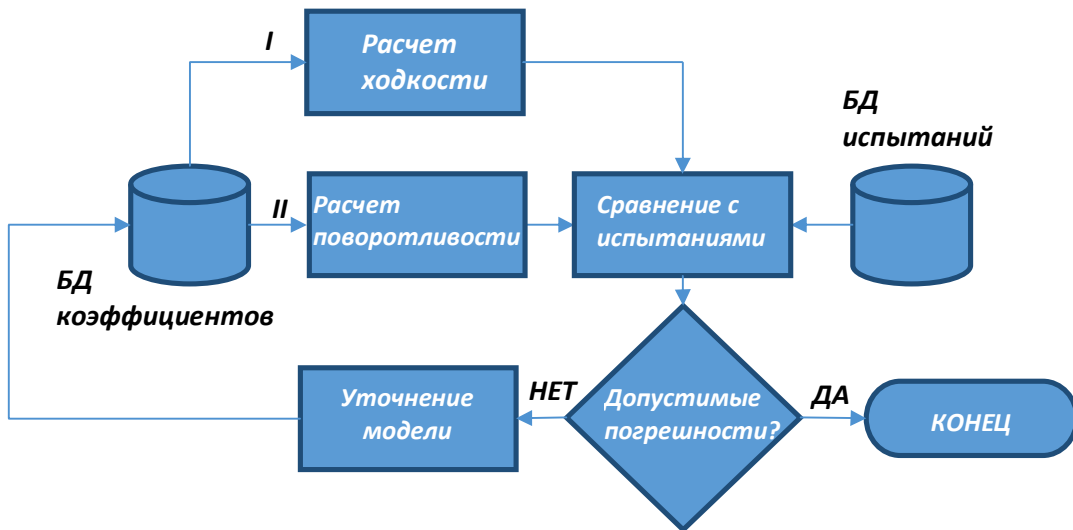


Рис. 2. Блок-схема алгоритма уточнения математической модели

На рис. 3-5 и в табл. 2 приведены результаты моделирования в первом приближении и после корректировки коэффициентов. Как видно, процедура корректировки позволяет существенно уменьшить погрешности моделирования.

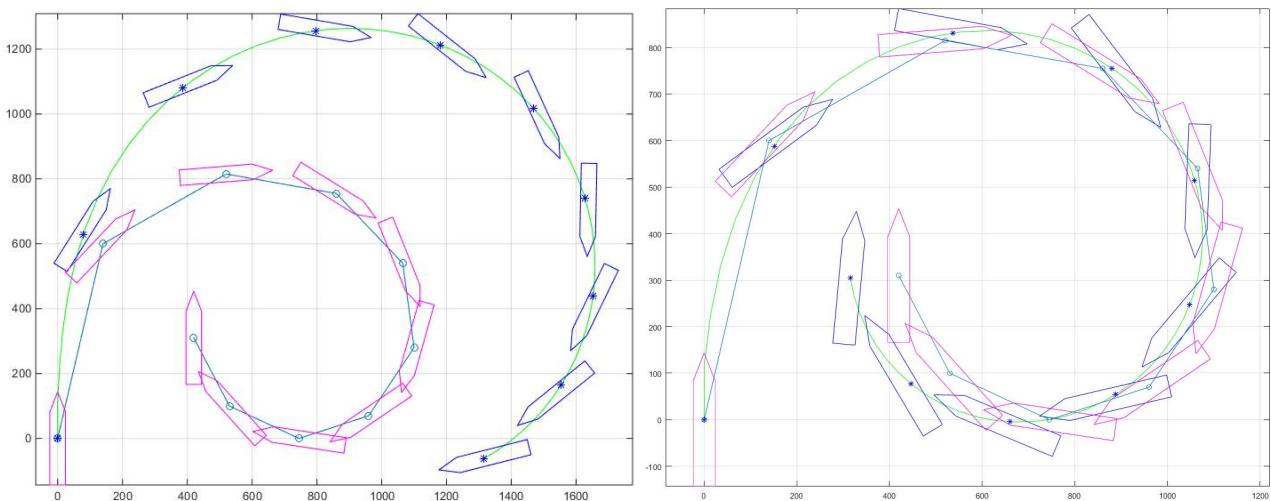


Рис. 3. Траектория циркуляции на правый борт.
 Слева – до уточнения; справа – после уточнения; о – данные испытаний, *

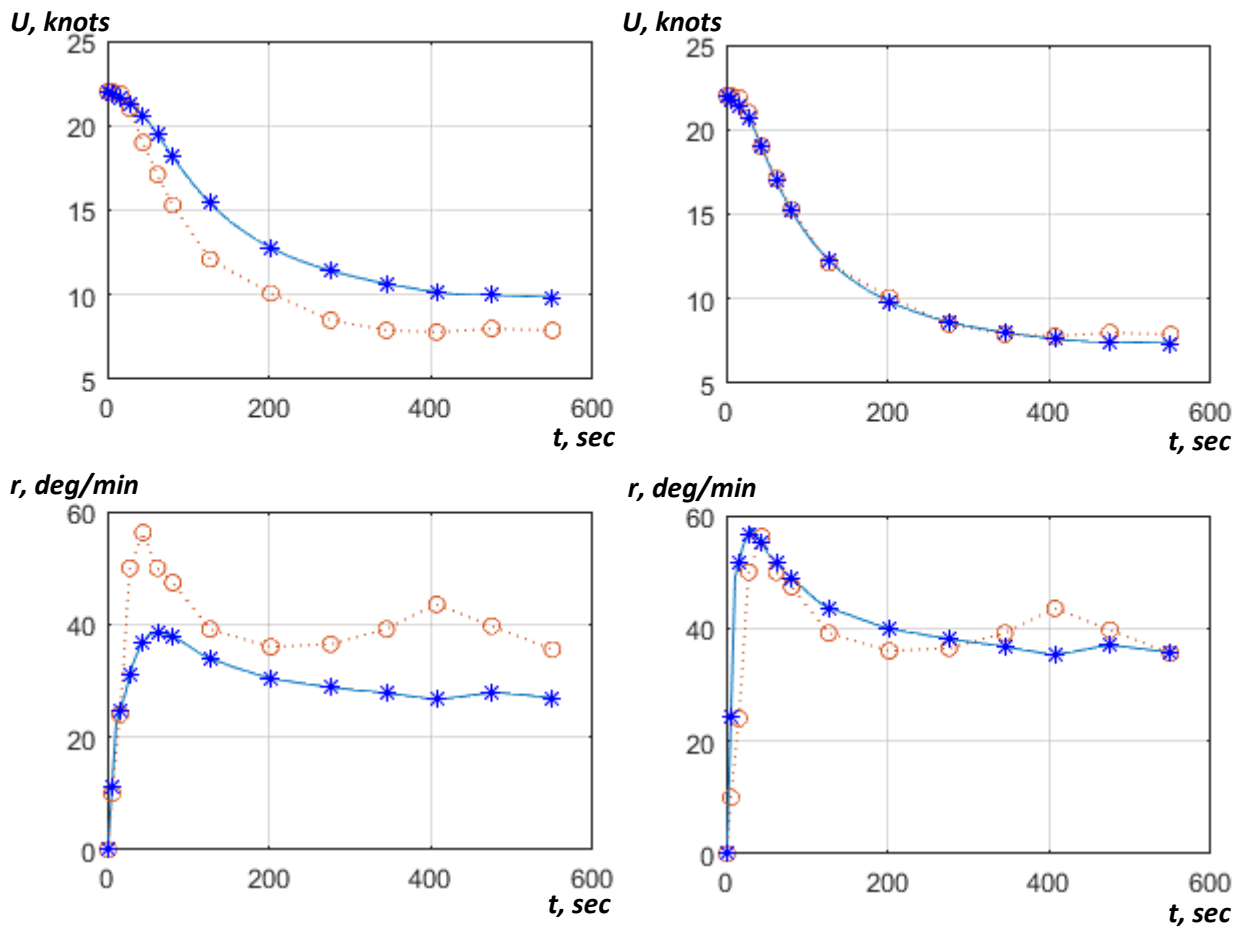


Рис. 4. Параметры движения при циркуляции на правый борт.

Слева – до уточнения; справа – после уточнения; о – данные испытаний, *

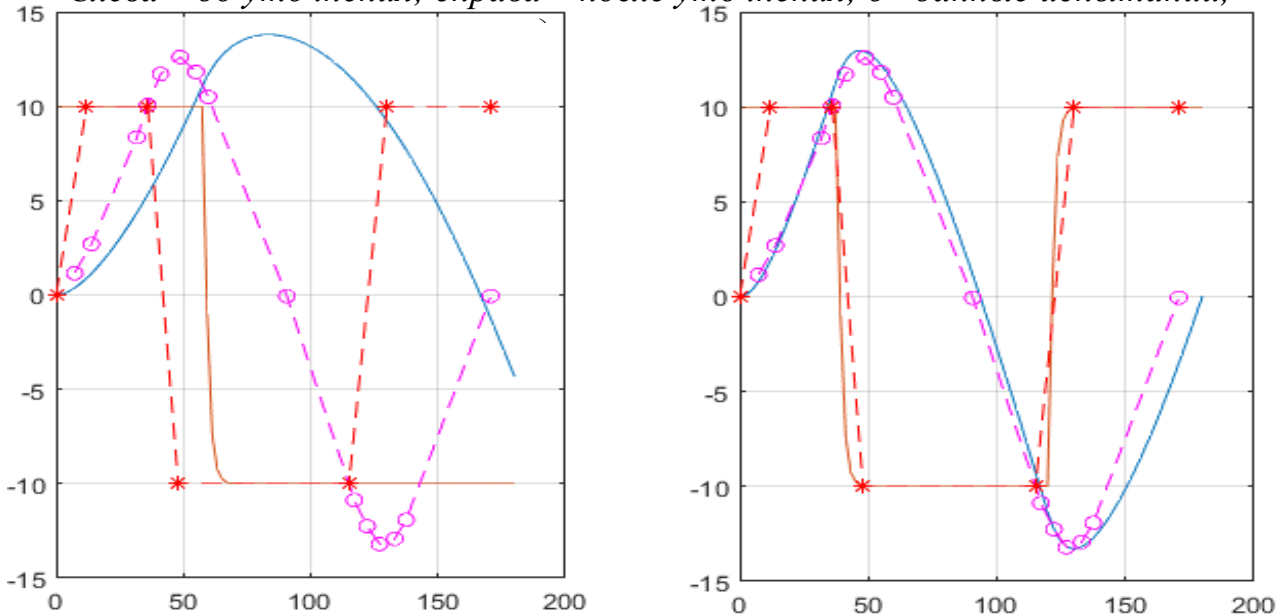


Рис. 5. Параметры одерживания: зигзаг 10/10.

Слева – до уточнения; справа – после уточнения;

пунктир – данные испытаний; сплошная – данные расчетов

Таблица 2. Результаты корректировки математической модели

Параметр	Испытания	До уточнения	После уточнения															
Выдвиг, м	830.9	1255	836															
Тактический диаметр циркуляции, м	1164.3	1630	1148.3															
1-й угол зарыскивания, °	2.5	3.8	3.0															
2-й угол зарыскивания, °	3.2	-	3.3															
СКО позиции	-	589.2	49.9															
СКО курса	-	28.5	10															
Коэффициенты до и после корректировки / разница %																		
$X'_{\beta\beta}$	$X'_{\beta r}$	X'_{rr}	$X'_{\beta\beta\beta\beta}$	Y'_{β}	Y'_r	$Y'_{\beta\beta\beta}$	$Y'_{\beta\beta r}$	$Y'_{\beta rr}$	Y'_{rrr}	N'_{β}	N'_r	$N'_{\beta\beta\beta}$	$N'_{\beta\beta r}$	$N'_{\beta rr}$	N'_{rrr}	ε	γ_R	a_h
-0.0626	-0.1149	-0.00068	0.4182	0.3099	0.1207	1.5816	0.6323	0.7173	0.0088	0.0179	-0.03025	0.2407	-0.6018	0.077	-0.03	0.902	0.350	0.3674
-0.2617	-0.1531	-0.00069	0.47811	0.1044	0.1795	2.7160	0.9423	1.3620	0.001	0.0087	-0.03	0.2259	-0.6445	0.109	-0.055	1.344	0.312	0.3422
318	33	2	14	66	49	72	49	90	89	52	4	6	7	41	79	49	11	7

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В результате проведенного исследования были разработаны модель маневрирования контейнеровоза и алгоритм ее корректировки. Последний позволяет существенно уменьшить погрешности моделирования.

Полученная модель в свою очередь может быть использована в учебном процессе, технических расчетах, а также на навигационных симуляторах.

ЛИТЕРАТУРА

19. ABS Guide for Vessel Maneuverability, 2006
20. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2016. <http://www.agcs.allianz.com/>
21. Fossen T. I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles / T. I. Fossen— Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002 – 570 p.
22. Ho-Young Lee. The Prediction of ship's manoeuvring performance In initial design stage / Ho-Young Lee, Sang-Sung Shin // Practical Design of Ships and Mobile Units. Elsevier Science, 1998. – 7 p.
23. IMO MSC 76/23, “Resolution MSC.137 (76), Standards for Ship Manoeuvrability,” Report of the Maritime Safety Committee on Its Seventy-Sixth Session-Annex 6, 2002.

24. Kijima, K. On a Prediction Method of Ship Manoeuvring Characteristics/Kijima, K., Tanaka, S. Furukawa, Y. and Hori, T. // Proc. of MARSIM-93, Vol.1, 1993. – pp.285-294.
25. MAERSK SIRAC – Sea Trial results. Hyundai Heavy Industries. 2015. – 15 p.
26. Perez T. Mathematical Ship Modeling for Control Applications. (Technical Report) / T. Perez, M. Blanke –DTU Technical University of Denmark, 2003. – 22 p.
27. The Manouvering Committee. Final Report and Recommendations to the 24th ITTC, 2005. – 62 p.
28. Yasukawa H. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions / Yasukawa H., Yoshimura Y. // Journal of Marine Science&Technology (2015)20, 2015 – pp. 37–52.
29. Yoshimura Y. Hydrodynamic database and manoeuvring prediction method with medium high-speed merchant ships and fishing vessels. / Yoshimura Y., Masumoto Y. // International MARSIM Conference. 2012 – pp.494–503.
30. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна. 2-е изд., перераб. и доп. / Л.Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал– Одесса: Латстар, 2002. – 310 с.
31. Гофман А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник / А. Д. Гофман– Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.
32. Першиц Р. Я. Управляемость и управление судном. – Л.: Судостроение, 1983, 272 с.
33. Пипченко А. Д. Уточнение математической модели ходкости контейнеровоза класса ULCS по результатам испытаний / Пипченко А. Д., Копанский С. В., Шевченко В. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 169-176.
34. Справочник по теории корабля. В трех томах / [под ред. Я.И. Войткунского] – Л.: Судостроение, 1985.

УДК 656.61.052

CONCORDANCE OF MANOEUVRES OF DIVERGENCE OF A FEW VESSELS**СОГЛАСОВАНИЕ МАНЕВРОВ РАСХОЖДЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ СУДОВ**

E.N. Pjatakov, *PhD, associate professor*, **V.E. Pjatakov**, *PhD student*,
К.Ya. Stankevich, *senior lecturer*,

Э. Н. Пятаков, *к.т.н., доцент*, **В.Э. Пятаков**, *аспирант*, **К.Я. Станкевич**,
старший преподаватель

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

The modern system of binary coordination which is realized in COLREG does not respond to request law of the necessary variety Eshbi, through what possible existence of situations of dangerous rapprochement, situation indignation of which cannot be compensated by the binary coordination COLREG. The law of the necessary variety Eshbi is executed, if the system of binary coordination foresees indemnification of possible situation indignation in the case of standard divergence by the following methods: by the general maneuver of both ships or maneuver of ship with greater speed.

These methods of indemnification of situation indignation are used in the first region of mutual duties of ships of standard divergence. By the first method situation indignation is compensated by two active ships. In this case it is necessary concordance of maneuvers of divergence of both ships, which provides the increase of distance of the shortest rapprochement in the case of implementation of maneuvers of divergence of ships. It takes place for ships which are drawn together on meeting courses, at the change of their courses in one side (for example, increase of courses of both ships). In the case of rapprochement of ships on passing courses for coordination of maneuvers of divergence necessary change of courses of ships in different sides, for example, one ship multiplies a course, and other ship - diminishes a course. The change of distance of the shortest rapprochement is determined by the constituent of total speed of ships, what orthogonal to the line to bearing. In the first method this constituent always more large zero, that is multiplied distance of the shortest rapprochement.

The second method foresees indemnification of situation indignation by one ship, that the maneuver of divergence is executed by one of ships, while other ship keeps unchanging it course and speed, therefore in this case there is no necessity in coordination of their cooperation. If the second region of mutual duties of ships was realized, situation indignation is compensated by urgent divergence.

In work the also offered system of coordination at dangerous rapprochement three ships, which takes into account the requirements of law of the necessary variety Eshbi, which foreseen four regions of mutual duties of ships.

The system of coordination of cooperation of three ships is the universal system of coordination at dangerous rapprochement two and three ships, which responds to request law of the necessary variety Eshbi. At divergence of two ships the system of coordination of cooperation of three ships is transformed in the system of binary coordination.

Keywords: safety of navigation, warning of collisions, concordance of cooperation of a few vessels.

РЕФЕРАТ

Сучасна система бінарної координації, яка реалізована в МППЗС-72, не відповідає вимогам закону необхідної різноманітності Ешбі, через що можливе існування ситуацій небезпечного зближення, ситуаційне збурення яких не може бути компенсовано бінарною координацією МППЗС-72. Закон необхідної різноманітності Ешбі виконується, якщо система бінарної координації передбачає компенсацію можливого ситуаційного збурення в разі стандартного розходження наступними способами: спільним маневром обох суден або маневром судна з більшою швидкістю.

Ці способи компенсації ситуаційного збурення використовуються в першій області взаємних обов'язків суден стандартного розходження. Першим способом ситуаційне збурення компенсується двома активними суднами. В цьому випадку необхідно узгодження маневрів розходження обох суден, яке забезпечує збільшення дистанції найкоротшого зближення в разі виконання маневрів розходження суден. Це має місце для суден, які зближаються на зустрічних курсах, при зміні їх курсів в одну сторону (наприклад, збільшення курсів обох суден). У випадку зближення суден на попутних курсах для координації маневрів розходження потрібна зміна курсів суден в різні сторони, наприклад, одне судно збільшує курс, а інше судно - зменшує курс. Зміна дистанції найкоротшого зближення визначається складовою сумарної швидкості суден, яка ортогональна до лінії пеленгу. В першому способі ця складова завжди більша нуля, тобто дистанція найкоротшого зближення збільшується.

Другий спосіб передбачає компенсацію ситуаційного збурення одним судном, тобто маневр розходження виконується одним із суден, в той час, як інше судно зберігає незмінними свої курс та швидкість, тому в цьому випадку не виникає необхідність в координації їх взаємодії. Якщо реалізувалася друга область взаємних обов'язків суден, то ситуаційне збурення компенсується екстремним розходженням.

В роботі також запропонована система координації при небезпечному зближенні трьох суден, яка враховує вимоги закону необхідної різноманітності Ешбі, якою передбачені чотири області взаємних обов'язків суден.

Система координації взаємодії трьох суден являється універсальною системою координації при небезпечному зближенні двох і трьох суден, яка відповідає вимогам закону необхідної різноманітності Ешбі. При розходженні двох суден система координації взаємодії трьох суден трансформується в систему бінарної координації.

Ключові слова: безпечність судноводіння, попередження зіткнень суден, узгодження взаємодії декількох суден.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Аварийность судов по причине столкновений в стесненных водах продолжает оставаться на недопустимо высоком уровне. В интенсивных районах плавания нередко возникают ситуации одновременного опасного сближения более двух судов, когда выполнение маневра расхождения согласно требованиям МППСС-72 зачастую становится невозможным. Одновременное опасное сближение более трех судов в стесненных водах является достаточно редким, поэтому разработка универсальной системы координации двух и трех судов в ситуации опасного сближения является актуальным и перспективным направлением научных исследований.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Работы [1-4] посвящены вопросам разработки системы бинарной координации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. Определению интенсивности ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [1], а в работах [2,3] предложен возможный вариант системы, содержащей два иерархических уровня, причем первый уровень системы рассмотрен в публикации [3], а описание ее второго уровня приведено в статье [4]. В работе [5] предложена альтернативная существующей, более эффективная система бинарной координации, а система координации взаимодействия трех судов описана в публикации [6]. Предложение разных систем координации для ситуации опасного сближения двух и трех судов ведет к усложнению их возможного использования. Поэтому следует произвести разработку единой универсальной системы координации $Sc_{(\Sigma)}$, пригодной к использованию при опасном сближении как двух, так и трех судов.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является разработка структуры универсальной системы координации взаимодействия двух и трех судов в процессе расхождения при компенсации ситуационного возмущения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Как показано в работе [5], современная система бинарной координации, которую содержат МППСС-72, не соответствует требованиям закона необходимого разнообразия Эшби, что допускает существование ситуаций опасного сближения, ситуационное возмущение ω_{12} которых не может быть компенсировано бинарной координацией МППСС-72. Поэтому в работе [5] доказывается, что закон необходимого разнообразия Эшби выполняется, если система бинарной координации $Sc_{(2)}$ предусматривает компенсацию возможного ситуационного возмущения при стандартном расхождении ($\omega_{12} = 1$) следующими способами:

1. Совместным маневром обоих судов c_1 и c_2 .
2. Маневром судна с большей скоростью c_2 .

Эти способы компенсации ситуационного возмущения применяются в первой области взаимных обязанностей судов стандартного расхождения. Активным является судно, которому системой бинарной координации $Sc_{(2)}$ предписывается выполнение маневра расхождения, а пассивным - судно, сохраняющее неизменными параметры движения по требованию $Sc_{(2)}$.

Первым способом ситуационное возмущение компенсируется двумя активными судами. В этом случае необходимо согласование маневров расхождения обоих судов, т. е. их координация, которая обеспечивает увеличение дистанции кратчайшего сближения при выполнении маневров расхождения судов. Это происходит для судов, сближающихся на встречных курсах, при изменении их начальных курсов в одну сторону (например, увеличение курсов обоих судов). В случае сближения судов на попутных курсах для координации маневров расхождения требуется изменение курсов судов в разные стороны, например, судно c_1 увеличивает курс, а судно c_2 - уменьшает курс. Изменение дистанции кратчайшего сближения D_{\min} определяется составляющей суммарной скорости судов $V_2 \sin(K_{2y} - \alpha) - V_1 \sin(K_{1y} - \alpha)$, перпендикулярной к линии пеленга. Указанная скорость увеличивается, если составляющие скорости имеют разные знаки, чем и обоснованы выводы по координации маневров расхождения двух активных судов. Второй способ предусматривает компенсацию ситуационного возмущения одним судном, т. е. маневр расхождения производится одним из судов, в то время как второе судно сохраняет неизменными свои курс и скорость, поэтому в этом случае не возникает необходимость в координации их взаимодействия. Следовательно, при компенсации ситуационного возмущения судном с большей скоростью или обоими судами выполняются требования закона необходимого разнообразия Эшби. Если же ситуационное возмущение $\omega_{12} = 2$, то имеет место вторая область взаимных обязанностей судов, в которой ситуационное возмущение компенсируется экстренным расхождением.

В работе [6] предложена система координации $Sc_{(3)}$ при опасном сближении трех судов, которая учитывает требования закона необходимого разнообразия Эшби. В зависимости от значений ситуационных возмущений ω_{12} , ω_{13} и ω_{23} судов в системе координации $Sc_{(3)}$ предусмотрены четыре области взаимных обязанностей, как показано в табл. 1.

Таблица 1. Области взаимных обязанностей трех взаимодействующих судов

№ сочетан.	ω_{12}	ω_{13}	ω_{23}	Области
1	1	1	0	A
2	1	0	1	B
3	0	1	1	B
4	1	1	1	B
5	1	2	0	C
6	2	1	0	C
7	1	0	2	C
8	2	0	1	C
9	0	1	2	C
10	0	2	1	C
11	1	1	2	C
12	1	2	1	C
13	2	1	1	C
14	2	2	0	D
15	2	0	2	D
16	0	2	2	D
17	2	2	1	D
18	2	1	2	D
19	1	2	2	D
20	2	2	2	D

Как показал анализ табл. 1, всего возможно 20 сочетаний ситуационных возмущений. В сочетаниях 1...4, когда значения их ситуационных возмущений не превосходят 1, безопасное расхождение возможно стандартным маневром одного или двух судов. Для сочетания 1 необходимое разнообразие маневров достигается маневром судна s_1 с наибольшей скоростью, в то время, как суда с меньшими скоростями s_2 и s_3 остаются пассивными. Такая ситуация присуща первой области взаимных обязанностей А. В сочетаниях 2...4 соблюдение требования закона необходимого разнообразия Эшби требует маневрирования двух судов s_1 и s_2 , а судно с минимальной скоростью s_3 является пассивным. Данные ситуации характеризуют вторую область взаимных обязанностей В.

Сочетания 5...20 содержат ситуационные возмущения со значением 2, предполагающих экстренное маневрирование при расхождении. Сочетания ситуационных возмущений с 5-го по 13-й номер содержат одно ситуационное возмущение со значением равным 2. В данных ситуациях суда, для которых

$\omega_{ij} = 2$, активные и поэтому выполняют маневр экстренного расхождения с учетом мешающего судна, а третье судно является пассивным. Это характеристика области взаимных обязанностей С. В сочетаниях с номерами 14...20 не менее двух ситуационных возмущений характеризуются значениями, равными 2. Указанные сочетания формируют область взаимных обязанностей D. В этой области все три судна выполняют маневры экстренного расхождения, т. е. являются активными.

Произведем анализ возможности применения системы координации $Sc_{(3)}$ при возникновении ситуации опасного сближения двух судов. В этом случае табл. 1 вырождается в таблицу столбец, содержащую первый столбец с ситуационным возмущением ω_{12} , значения которого отличаются от 0, т. е. $\omega_{12} = 1$ или $\omega_{12} = 2$ и соответствующие области становятся первой областью стандартного расхождения или второй областью экстренного расхождения. Следовательно, при отсутствии третьего судна система координации $Sc_{(3)}$ взаимодействия трех судов трансформируется в систему бинарной координации $Sc_{(2)}$ взаимодействия двух судов.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, система координации $Sc_{(3)}$ взаимодействия трех судов является универсальной системой координации $Sc_{(\Sigma)}$ взаимодействия двух и трех судов в процессе расхождения. В дальнейшем целесообразно произвести анализ универсальной системы координации $Sc_{(\Sigma)}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 166 –171.
2. Пятаков Э.Н. Совершенствование методов координации судов при расхождении. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.13/ ОНМА. – Одесса, 2008. – 23 с.
3. Заичко С.И. Возможности синтеза системы формирования стратегий расхождения группы судов/ Заичко С.И., Пятаков Э.Н. // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 63 – 66.
4. Пятаков Э.Н. Требование к процедуре формирования второго уровня иерархической системы управления взаимодействием судов / Пятаков Э.Н. // Судовождение. – 2007. - № 13. – С. 145 – 148.
5. Пятаков Э.Н. Формирование системы бинарной координации судов с учетом закона необходимого разнообразия Эшби // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 75 – 78.

6. Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. Координация безопасного расхождения трех судов // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С.

УДК 005.961:656.6

**UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN SHIP'S ERGATIVE
FUNCTIONS****НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ В СУДОВЫХ
ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ**

О. О. Райнов, *senior lecturer*, **В. О. Бобыр**, *PhD, associate professor*
А. О. Райнов, *старший преподаватель*, **В. А. Бобыр**, *к.т.н., доцент*

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

Based on the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", published by the International Organization for Standardization, "measurement uncertainty" is a measure of confidence in the measurement results. The harmonization of national and international requirements has led to the need to ensure uniform assessment of measurements in the navy. According to this manual, to assess the accuracy of the measurement result, the concept of expanded uncertainty is introduced, which is expressed using the coefficient of coverage and standard deviation depending on the method of its assessment: A is by analyzing statistical series of observations and B is by a method different from analyzing statistical series of observations.

Currently, in the navy the characteristics of measurement errors (systematic and random) are still used to describe the accuracy of the measurement result. A common disadvantage of this approach is that systematic and random errors are not related to each other through the laws of distribution of random variables. While estimating the systematic and random components of the errors measured on a vessel of parameters, in general, both estimates are used separately - type A and type B, which is fairly incorrect. The article shows that a random variable cannot be characterized unambiguously - by expectation or standard deviation. It is characterized by a confidence interval for a given probability.

Also in the navy there is a situation where the requirements for the accuracy of instruments for measuring parameters in the ship's ergatic function are in no way connected with the requirements for the accuracy of solving practical problems based on the results of these measurements.

In the article, the sensitivity of the ship's ergatic function is expressed through the expanded uncertainty of measurements. A technique has been developed for assessing the accuracy of parameter measurements, which takes into account the combined effect of systematic and random measurement errors, as well as the level of confidence in them. Using the obtained expressions, one can solve various problems of estimating the accuracy of measurements of various parameters on a ship, as well as determining the requirements for the accuracy of their measurements. Also, if data

on the divisions of the scales of measuring instruments are available, it is possible to determine their acceptability for solving specific practical problems on the ship.

Key words: sensibility, ship's ergative function, expanded uncertainty, measurements, entropy, systematic and random errors, level of confidence, coverage factor.

РЕФЕРАТ

Виходячи з "Керівництва по вираженню невизначеності вимірів", виданого Міжнародною організацією по стандартизації, "невизначеність виміру" є мірою довіри до результатів вимірів. Гармонізація національних і міжнародних вимог привела до необхідності забезпечення єдності оцінки вимірів і на морському флоті. Згідно з цим керівництвом для оцінки точності результату вимірів вводиться поняття розширена невизначеність, що виражається за допомогою коефіцієнта охоплення і стандартного відхилення залежно від методу його оцінки: А - шляхом аналізу статистичних рядів спостережень і В - способом відмінним від аналізу статистичних рядів спостережень.

Нині на морському флоті для опису точності результату вимірів досі використовуються характеристики погрешностей вимірів - систематичних і випадкових. Загальним недоліком такого підходу є те, що систематичні і випадкові погрешності не зв'язуються між собою через закони розподілу випадкових величин. При оцінці систематичної і випадкової складових погрешностей вимірюваних на судні параметрів загалом використовуються окремо обидва оцінювання - типи А і типу В, що дещо некоректно. У статті показано, що випадкову величину не можна характеризувати однозначно - математичним очікуванням або стандартним відхиленням. Вона характеризується довірчим інтервалом для заданої вірогідності.

Також на морському флоті склалася ситуація, коли вимоги до точності приладів для виміру параметрів в судновій ергатичній функції ніяк не пов'язані з вимогами до точності рішення практичних завдань на основі результатів цих вимірів.

У статті чутливість суднової ергатичної функції виражена через розширену невизначеність вимірів. Розроблена методика оцінки точності вимірів параметрів, яка враховує спільний вплив систематичних і випадкових погрешностей вимірів, а також рівень довіри до них. За допомогою отриманих виразів можна вирішувати різні завдання за оцінкою точності вимірів різних параметрів на судні, а також за визначенням вимог до точності їх вимірів. Також за наявності даних про ціни ділень шкал вимірювальних приладів можна визначити їх прийнятність для вирішення конкретних практичних завдань на судні.

Ключові слова: чутливість, суднова ергатична функція, розширена невизначеність, виміри, ентропія, систематичні і випадкові погрешності, рівень довіри, коефіцієнт охоплення.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

После опубликования в 1997 г. «Руководства по выражению неопределенности измерений» (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - в дальнейшем GUM) [1] «неопределенность измерения» стала мерой доверия к результатам измерений, признанной на международном уровне.

От имени семи авторитетных международных организаций, включая Международную организацию по стандартизации (ISO), в GUM была определена новая концепция оценки точности измерений - неопределенность измерений. Цель этого – обеспечить унификацию представления различных измерений, проводимых в разных странах и организациях.

Во многих странах, как в ЕС, так и в СНГ на основе GUM были разработаны национальные стандарты, в которых неопределенность измерений принята в качестве меры по обеспечению доверия к результатам измерений.

В GUM для оценки точности результата измерений вводится понятие расширенная неопределенность, выражаемая с помощью коэффициента охвата и стандартного отклонения в зависимости от метода его оценки: А - путем анализа статистических рядов наблюдений и В - способом отличным от анализа статистических рядов наблюдений.

На морском флоте для описания точности результата измерений до сих пор используются характеристики погрешностей измерений – систематических и случайных. К ним относятся дисперсия и математическое ожидание случайной погрешности, предел погрешности, доверительные границы погрешности, стандартное отклонение систематической погрешности, границы исключенной систематической погрешности и др. При этом случайные и систематические погрешности разделены, что является одним из основных препятствий для оценки точности измерений через расширенную неопределенность.

Поскольку морские суда посещают порты различных государств, появилась необходимость гармонизации национальных и международных требований с целью обеспечения единства оценки измерений и на морском флоте,

В первую очередь это касается судовых эргатических функций (СЭФ), с помощью которых решаются практические задачи – определение координат места судна, швартовка – отшвартовка, погрузка – выгрузка, определение количества принятого груза и т.п. В судовой эргатической системе оператор – судно, включая груз - окружающая среда, состоящая из природной среды и социума, судовая эргатическая функция характеризует изменение энтропии (неопределенности) связи любых двух ее элементов, например, оператор – груз, судно – груз, природная среда – оператор т.д. При этом энтропия рассматривается с точки зрения обеспечения целей и задач судовых систем менеджмента.

Решение практических задач по реализации СЭФ основывается на измерениях различных физических, химических и других параметров, как показателей действия законов природы.

Результатом этих измерений является достижение целей судовых систем менеджмента - выполнение законодательных и регламентирующих требований каждой из систем менеджмента. Эти требования представляются в виде эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов.

Однако на морском флоте сложилась ситуация, когда требования к точности приборов для измерения параметров в СЭФ никак не связаны с требованиями к точности решения практических задач на основе результатов этих измерений. И наоборот – отсутствует связь между фактической точностью используемых измерительных приборов и тем, какую результирующую точность они могут обеспечить при решении конкретной практической задачи. В работе [2] показано, что эта связь обеспечивается с помощью чувствительности СЭФ функций

С точки зрения теории вероятностей чувствительность функции – это предел точности измерений, в границах которого величины ее энтропии, как вероятностные ее состояния, неразличимы [3].

Применительно к эргатической функции ее чувствительность означает такую минимально допустимую величину изменения показателя действия закона природы, которая практически не влияет на заданное допустимое изменение эксплуатационного или финансового показателя. Другими словами, изменения энтропии при реализации эргатической функции в пределах ее чувствительности практически неразличимы.

В настоящее время для доказательств достоверности различных измерений при реализации судовой эргатической функции, признаваемых во всех странах, необходимо представление их в виде, требуемом GUM, т.е. в терминах неопределенности измерений.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] принято два принципиально новых подхода, касающихся оценки точности измерений.

Первый подход основывается на том, что случайные и систематические погрешности измерений нельзя разделять, поскольку природа их при одном и том же измерении одинакова. И в настоящее время зачастую способ их объединения выбирается таким образом, чтобы удовлетворить представление о «безопасности».

Второй подход относится к тому, что нужно обеспечивать реалистичные границы неопределенности, а не «безопасные», т.е. взятые с некоторым запасом или заниженные.

Общие вопросы, касающиеся толкований неопределенности измерений, в литературе освещены достаточно полно [4].

Имеются также и публикации по вопросу недостаточной правомерности замены теории «погрешностей» теорией «неопределенности измерений» [5].

В работе [6] на основе философских категорий необходимости и случайности установлена связь между систематическими и случайными погрешностями.

Однако, работы, которые были бы посвящены проблемам применения подхода «неопределенности измерений» в судовых эргатических функциях, отсутствуют.

Формулирование целей статьи и постановка задач

Цель статьи – выразить чувствительность судовой эргатической функции через расширенную неопределенность измерений.

Задачи, которые ставятся в статье – с помощью выраженной через расширенную неопределенность измерений чувствительности судовой эргатической функции разработать методики по оценке точности:

- 1) измерений параметров судовой эргатической функции;
- 2) создаваемых приборов для измерения параметров в СЭФ, требуемой для решения практических задач на основе результатов этих измерений;
- 3) имеющихся измерительных приборов и тем, какую результирующую точность они могут обеспечить при решении с помощью СЭФ конкретной практической задачи.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов

Традиционно принято считать, что к предмету теории ошибок, как раздела теории вероятностей, относятся только случайные погрешности. При этом полагается, что систематические погрешности должны предварительно выявляться и исключаться из наблюдений [7].

Общим недостатком такого подхода является то, что систематические и случайные погрешности не связываются между собой через законы распределения случайных величин.

В настоящее время в целом при толковании категорий необходимости и случайности используется диалектический подход [8]. Однако при раскрытии природы этих категорий они рассматриваются отдельно и из-за этого превращаются друг в друга. По этой причине изложение этих категорий теряет свою последовательность и логику, что приводит к неверной их интерпретации. Это не позволяет использовать теорию вероятностей как на практике, так и как метод научного познания для решения вопроса о совместном действии систематических и случайных погрешностей в рамках закона распределения случайных величин.

Рассмотрим диалектику категорий необходимости и случайности в развитии некоторой вещи. Под вещью понимается всякая относительно самостоятельная система свойств, характеризующаяся и определяемая набором мер. В процессе своего развития в силу действия энтропии эта вещь будет стремиться изменить каждую свою меру в силу действий законов природы,

оставаясь сама собой пока количественные изменения мер не превратят ее в качественно новую меру. Действие законов природы и является необходимостью. Стремлению вещи изменить, например, меру q , как следствие соответствующего ей существенного свойства, определяемого действием одного из законов природы, будут противодействовать не только такие же стремления бесконечного множества других вещей, но и собственные стремления по отношению к остальным мерам самой вещи. Это проявляется в их взаимодействии, в результате которого в следующий момент развития в силу энтропии, неизотропности, бесконечности и взаимопроникновения материи у вещи появится бесконечное множество возможностей изменить меру q . Одна из этих возможностей необходимо реализуется и превращается в действительность. Такой процесс развития продолжается до тех пор, пока вещь не потеряет свою меру q . Каждое значение измененной меры q в дискретные моменты времени определяется из системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= q + \Delta q_{n1} + \Delta q_{c1}; \\ q_2 &= q + \Delta q_{n2} + \Delta q_{c2}; \\ &\dots \\ &\dots \\ q_n &= q + \Delta q_{nn} + \Delta q_{cn}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\Delta q_{n1}, \Delta q_{n2}, \dots, \Delta q_{nn}$ - необходимые изменения меры q , вызванные взаимодействием вещи с внешним миром и внутри самой себя вследствие проявления существенного свойства, вызванного действием одного из законов природы, определяющим это свойство; $\Delta q_{c1}, \Delta q_{c2}, \dots, \Delta q_{cn}$ - несущественные, случайные изменения меры q , которые предстают перед нами в виде явления; n - индекс измененного количества меры, при котором происходит образование нового качества и вещь перестает быть сама собой.

Необходимые и случайные изменения меры не проявляются отдельно. Мы наблюдаем их только как единое целое. Случайность является дополнением и формой проявления необходимости. В этом единство необходимого и случайного. Каждая отдельная необходимость является единым целым в совокупности всех необходимостей изменения общей меры вещи, но в то же время, рассматриваемые каждая в отдельности, они противодействуют друг другу. В этом противоречие необходимого и случайного. Для каждой отдельной необходимости все остальные необходимости являются составляющими проявления результирующего случайного взаимодействия. Поэтому необходимость, с другой стороны, является случайностью, в случайность – необходимостью.

Итак, нами получена диалектическая взаимозависимость мера – остальные меры внутри самой вещи и в окружающем мире, одним полюсом которой является необходимость, другим – случайность. Характер этой взаимозависимости определяется сущностью вещи. Случайное же проявляется в силу энтропии, многообразия и бесконечности материи. Это позволяет

сделать вывод о том, что все взаимодействия в мире суть явления, протекающие необходимо, а форма их проявления случайная.

После переноса в выражении (1) меры q в левую часть, получаем, что изменение, вызванное любым взаимодействием, будет состоять из суммы необходимой и случайной слагаемых:

$$\left. \begin{aligned} \Delta q_1 &= \Delta q_{n1} + \Delta q_{c1}; \\ \Delta q_2 &= \Delta q_{n2} + \Delta q_{c2}; \\ \dots & \\ \dots & \\ \Delta q_n &= \Delta q_{nn} + \Delta q_{cn}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $\Delta q_1 = q_1 - q$, $\Delta q_2 = q_2 - q$, ..., $\Delta q_n = q_n - q$. Фактически это погрешности наблюдаемых изменений меры вещи q .

Наблюдаемое изменение представляется случайной величиной, принимающей то или иное возможное значение, заранее неизвестное и изменяющиеся от наблюдения к наблюдению. Величины каждого из слагаемых в правой части уравнений (2) в процессе наблюдений также остаются неизвестными.

Принято считать, что законы распределения с точки зрения теории вероятностей представляют собой соотношения, устанавливающие связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями [3]. Однако анализ законов распределения показывает, что в более широком смысле эти законы отражают диалектику необходимого и случайного и описывают любое реальное явление. Они являются выражением количественных соотношений между: 1) необходимостью, 2) случайностью, 3) возможностью и 4) действительностью через вероятность.

Рассмотрим наиболее часто встречающийся в природе нормальный закон распределения (рис. 1). Его основные числовые характеристики случайных величин: m – математическое ожидание и σ – стандартное отклонение. Величина m характеризуется абсциссой максимального значения $f(\Delta q)$, а величина σ – абсциссой точек перегиба кривой. Примем, что на рисунке 1 показаны результаты проявления взаимодействия, определяемого действиями какого-либо закона природы, вызывающего изменения меры вещи q . По оси абсцисс отложены все возможные значения изменений меры вещи q от Δq_1 до Δq_n , состоящие из сумм необходимых и случайных слагаемых. По оси ординат отложены плотности распределения вероятностей $f(\Delta q)$, как характеристики вероятности появления тех или иных значений изменений меры вещи q . Площадь, ограниченная кривой плотности распределения и осью абсцисс, всегда равна единице [3], как вероятность того, что одно из возможных значений изменения меры вещи обязательно реализуется и превратится в действительность.

Математическое ожидание m является количественным выражением необходимости изменения меры вещи, случайная форма проявления которой описывается кривой плотности распределения. Величина математического

ожидания не влияет на форму кривой плотности распределения, а приводит лишь к сдвигу кривой вдоль оси абсцисс при своем изменении.

Числовой характеристикой случайности является стандартное отклонение случайной величины изменения меры вещи σ , от которой зависит форма кривой распределения. С возрастанием дисперсии, как показателя проявления случайности, кривая плотности распределения становится более пологой, а с уменьшением дисперсии – растягивается по ординате.

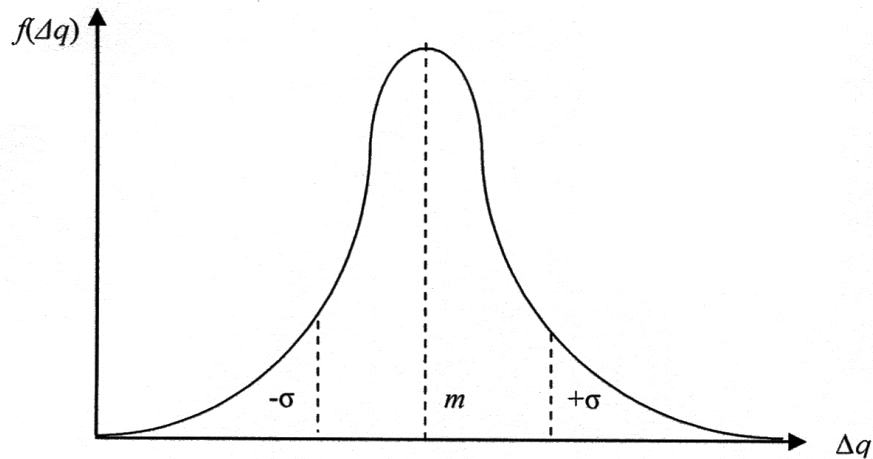


Рис. 1. Нормальный закон распределения изменений меры вещи q

Связь между числовыми характеристиками необходимости – математическим ожиданием m изменения меры вещи, случайности – стандартным отклонением σ , возможности – интервалом изменения меры вещи от Δq_1 до Δq_n и задаваемым уровнем доверия (доверительной вероятностью) P попадания величины изменения меры в этот интервал для нормального закона распределения находится из выражения:

$$\Phi_1\left(\frac{\Delta q_n - m}{\sigma}\right) - \Phi_2\left(\frac{\Delta q_1 - m}{\sigma}\right) = P(\Delta q_1 < \Delta q < \Delta q_n), \quad (3)$$

где $\Phi = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\Delta q} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – табулированные функции; σ – среднеквадратическое отклонение случайной величины изменения меры вещи; π и e – натуральные числа; t – действительное число, определяемое по табулированной функции, исходя из заданного уровня доверия P [3].

Тогда на этой основе получаем, что погрешность наблюдаемых случайных изменений меры вещи q для нормального закона распределения определяется неравенством:

$$m - t\sigma < \Delta q < m + t\sigma, \quad (4)$$

где $m - t\sigma$ и $m + t\sigma$ – минимальное и максимальное предельные или граничные значения величины изменения меры вещи.

При произвольном несимметричном законе распределения случайной величины выражение (4) принимает вид:

$$m - t_1\sigma_1 < \Delta q < m + t_2\sigma_2, \quad (5)$$

где σ_1 и σ_2 - среднеквадратические отклонение случайной величины изменения меры вещи для левой и правой частей кривой плотности распределения; t_1 и t_2 – действительные числа, определяемые, исходя из заданного уровня доверия для левой и правой частей кривой плотности распределения.

Если кривая плотности распределения симметрична, то числа $t_1 = t_2$.

Для каждого закона распределения существуют свои значения действительных чисел t .

Например, ниже в Таблице 1 приведены величины t для равномерного, показательного и нормального законов распределения в зависимости от различных значений уровня доверия P попадания случайной величины в заданный интервал.

Таблица 1. Значения величины t

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	УРОВЕНЬ ДОВЕРИЯ P		
	0,6827	0,9545	0,9973
1. Равномерный	2,3629	3,3030	3,4512
2. Показательный	1,1479	3,0900	5,9145
3. Нормальный	1,0000	2,0000	3,0000

Из данных таблицы видно, что при одном и том же уровне доверия значения величины t для разных законов распределения различны. И, наоборот, при одинаковых значениях величины t у разных законов распределения значения уровни доверия различны. Поэтому при сложении случайных величин с разными законами распределения для заданного уровня доверия необходимо знать эти законы распределения, чтобы выбрать такое значение приведенного t_{np} , при котором для всех законов распределения уровень доверия был не менее заданного. С увеличением t увеличивается и доверительный интервал.

Итак, случайную величину нельзя характеризовать однозначно – математическим ожиданием или стандартным отклонением. Она характеризуется доверительным интервалом для заданной вероятности.

На границе любой из частей доверительного интервала изменения меры вещи происходит образование нового качества, вещь теряет свою меру и перестает быть сама собой. На практике при оценке точности измерений наибольший интерес представляет именно максимальное предельное граничное значение погрешности. В связи с этим, а также для упрощения дальнейших выкладок ограничимся в (4) только правой частью доверительного интервала. На этой основе абсолютная предельная величина суммарной погрешности измерений, состоящая из систематической и случайной слагаемых, выражается равенством:

$$\Delta q = m + t\sigma. \quad (6)$$

Из (6) можно заключить, что абсолютная предельная величина суммарной погрешности измерений равна сумме двух слагаемых. Первое слагаемое – это математическое ожидание m погрешности измерений параметра, как характеристика систематической составляющей. А второе слагаемое – это стандартное отклонение σ , как характеристика случайной составляющей

измерений параметра, где t – число, зависящее от закона распределения случайной величины и заданного уровня доверия (доверительной вероятности) P . Математическое ожидание и стандартное отклонение в (6) связаны законом распределения случайной погрешности измерений.

Величинами уровня доверия P при установлении предельной погрешности измерений на практике задаются, исходя из требований к точности. Так, при уровне доверия $P = 0,9544$ для нормального закона распределения точность характеризуют, как «две сигмы» ($t = 2$), при $P = 0,9973$ – «три сигмы» ($t = 3$), при $P = 0,99997$ – «шесть сигм» ($t = 6$), и т.п.

Эргатические функции определяют связь между эксплуатационными и/или финансовыми показателями действия экономических законов и показателями действия законов природы. Эта связь в общем виде может быть представлена выражением:

$$P_{i,j} = \varphi(q_{i,j}), \quad (7)$$

где $P_{i,j}$ – эксплуатационный и/или финансовый показатель действия i -го экономического закона, определяемый показателем действия j -го закона природы; $\varphi(q_{i,j})$ – аналитическое описание эргатической функции; $q_{i,j}$ – i -й показатель действия j -го закона природы.

Выражение для стохастической модели погрешности реализации эргатической функции для случая, когда она характеризует зависимость одного эксплуатационного или финансового показателя от показателя действия одного закона природы получаем после дифференцирования (7) по P и q , перехода к конечным приращениям и подстановки вместо Δq выражения (6):

$$\Delta P = \varphi'(q)(m + t\sigma). \quad (8)$$

Если в левой части (8) задаться допустимым изменением эксплуатационного или финансового показателя, то второй множитель правой части будет представлять собой минимально допустимую величину изменения показателя действия закона природы, которая практически не влияет на изменение эксплуатационного или финансового показателя. Тогда (8) будет являться выражением чувствительности эргатической функции.

Особенностью эргатической функции является то, что ее чувствительность отражает влияние погрешности измерений параметра на конечный результат реализации этой функции.

Для практического использования выражения чувствительности эргатической функции необходимы оценки математического ожидания и стандартного отклонения погрешностей измеряемого параметра.

В настоящее время при измерениях параметров в эксплуатационных условиях на судне оценка систематических и случайных погрешностей измерений параметров производится отдельно. Поэтому случайная составляющая систематических погрешностей измерений остается неучтенной.

Систематические погрешности могут исключаться из результатов судовых измерений параметров различными способами [7].

Рассмотрим способы ведения поправок, как наиболее типичный при измерениях параметров на судне в эксплуатационных условиях. Поправка равна постоянной составляющей систематической погрешности по величине и обратна ей по знаку.

Поправки определяют по результатам специальных экспериментальных исследований при поверке приборов на основе анализа статистических рядов наблюдений. Если закономерность влияния какого-либо фактора на измеряемый параметр известна, то поправка рассчитывается по этой закономерности с некоторыми ограничениями. Эта закономерность принимается для определенных условий, которые обычно не отвечают условиям, при которых проводятся измерения параметра на судне. Например, поправка за наклонение видимого горизонта для измеряемой высоты светила рассчитана для среднего значения коэффициента земной рефракции. Это среднее значение коэффициента земной рефракции, в свою очередь, получено опытным путем на основе статистического анализа ряда измерений, на точность которых оказывают влияние изменения оптической плотности воздуха в нижних слоях атмосферы, разность температур воздуха и воды и т.п.

В случаях, когда закономерность влияния какого-либо фактора на измеряемый параметр неизвестна, поправку к измеряемому параметру определяют на основе статистического анализа ряда измерений проявления этого фактора на судне. Например, это поправка к показаниям гирокомпаса.

Поскольку в обоих случаях поправка определяется на основе анализа статистического ряда измерений, то математическое ожидание погрешности измерений параметра на судне с учетом (6) можно представить в виде суммы:

$$m = a \pm t_a \sigma_a, \quad (9)$$

где a – поправка, как постоянная составляющая систематической погрешности; t_a – число, зависящее от закона распределения погрешности измерений поправки и заданного уровня доверия P ; σ_a – стандартное отклонение погрешности измерений поправки, как случайная составляющая систематической погрешности.

Из анализа приведенного выше порядка оценивания характеристик систематической и случайной составляющих погрешности измерений параметров в эксплуатационных условиях на судне источником увеличения энтропии является то, что обе оценки составляющих погрешности измерений параметров:

- 1) получены, в конечном итоге, на основе анализа статистического ряда измерений;
- 2) разделены, как по времени, так и по месту;
- 3) имеют разные законы распределения.

Итак, можно заключить, что при оценке систематической и случайной составляющих погрешностей измеряемых на судне параметров в общем используются отдельно оба оценивания по GUM - типа А и типа В.

Поскольку постоянная составляющая математического ожидания погрешности измерений параметра компенсируется поправкой, то (8) с учетом (9) на основе и в терминах [1] преобразуется к виду:

$$\Delta P = \varphi'(q) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a + t_a \sigma_a)_i^2 + t^2 \sigma^2}, \quad (10)$$

где a_i – i -я поправка; t_{ai} – коэффициент охвата случайной величины i -ой поправки, зависящий от закона распределения поправки и заданного уровня доверия; σ_{ai} – стандартная неопределенность случайной величины i -ой поправки; $i = 1, 2, \dots, n$ – количество поправок; t – коэффициент охвата случайной величины погрешности измеряемого параметра для нормального закона распределения и заданного уровня доверия; σ – стандартная неопределенность случайной величины измеряемого параметра.

Итак, нами получено выражение чувствительности эргатической функции для случая зависимости эксплуатационного или финансового показателя от одного измеряемого параметра с несколькими поправками. Это выражение характеризует расширенную неопределенность измерений, при которой энтропия от влияния указанных выше источников погрешностей не влияет на величину заданного эксплуатационного и/или финансового показателя действия экономического закона.

На основе уравнения (10) можно решать различные задачи по оценке точности измерений разных параметров на судне, а также по определению требований к точности их измерений. В данной работе ограничимся рассмотрением двух задач, связанных с измерением навигационных параметров при определении координат места судна.

Первая задача – это определение достаточности точности измерений навигационных параметров для обеспечения решения на их основе задач по определению координат места судна при известных оценках стандартных неопределенностей и законах их распределения. Так, значения σ для нормального закона распределения можно получить из различных справочников и руководств. Это, например, оценки стандартных неопределенностей измерений высоты светила, пеленга, расстояния и т.п. Значения σ_a также можно получить из справочников и руководств. Это такие, как оценки стандартных неопределенностей измерений поправок пеленга, поправок индекса секстана и т.п. Поправки, как правило, вводятся на весь диапазон измерений, что соответствует равномерному закону распределения. Тогда, по известным значениям σ_a , σ и t из уравнения (10) можно определить величину заданного эксплуатационного и/или финансового показателя действия экономического закона, которая может быть обеспечена с помощью измерений судовых параметров имеющимися измерительными приборами.

Вторая задача – определение требований к точности измерения судовых параметров для обеспечения заданной величины эксплуатационного и/или финансового показателя действия экономического закона. В этом случае можно воспользоваться приведенной в работе [2] рекомендацией по определению

зависимости оценки стандартной неопределенности измерений от цены деления шкалы измерительного прибора:

$$\sigma = 1,208c \cdot t^l, \quad (11)$$

где c - цена деления шкалы измерительного прибора.

После подстановки (11) в (10) и преобразований получаем:

$$\sum c_i^2 + c^2 = \Delta P^2 / [1,208\varphi'(q)]^2, \quad (12)$$

где c_i^2 и c - цены делений шкал измерительных приборов, с помощью которых определялись поправки к погрешностям измерений и измерялся сам параметр; $i = 1, 2, \dots, n$ - количество поправок.

По формуле (12) при наличии данных о ценах делений шкал измерительных приборов можно определить их приемлемость для решения практических задач на судне. Например, это можно сделать с помощью метода итераций.

Таким образом, полученные нами выражения (10) и (12) позволяют определить чувствительность судовой эргатической функции через расширенную неопределенность измерений, которая учитывает совместное влияние систематических и случайных погрешностей измерений, а также уровень доверия к ним.

В качестве примера практического применения выражений (10) и (12) выразим в терминах расширенной неопределенности измерений чувствительность судовой эргатической функции определение координат места судна – широты и долготы по измеренному пеленгу, поскольку к точности определения места судна установлены международные требования [10].

В работе [9] приведены выражения для чувствительности судовой эргатической функции определение широты и долготы места судна по измеренному пеленгу.

Для карт с прямоугольной системой координат с одинаковыми масштабами по оси абсцисс и ординат, например, Universal Transverse Mercator System (UTM), которая широко используется в системах динамического позиционирования, чувствительности этих функций описываются выражениями:

$$\Delta\varphi_\alpha = 0,56 \cdot \sec^2 \alpha \cdot (\lambda - \lambda_0) \cdot \Delta\alpha, \quad (13)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = 0,56 \cdot \operatorname{cosec}^2 \alpha \cdot (\varphi_0 - \varphi) \cdot \Delta\alpha, \quad (14)$$

где $\Delta\varphi_\alpha$ и $\Delta\lambda_\alpha$ - погрешности в определяемой широте и долготе места судна, м; α – угол между пеленгом на объект и осью абсцисс, град.; $\Delta\alpha$ – погрешность в измеренном пеленге, град.; φ и λ – широта и долгота места судна, м; φ_0 и λ_0 – широта и долгота наблюдаемого объекта, на который измерен пеленг, м.

При использовании морских путевых карт меркаторской проекции выражения (13) и (14) преобразуются к виду:

$$\Delta\varphi_\alpha = 0,017 \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \sec\alpha \cdot \sec\varphi_{cp} \cdot d \cdot \Delta\alpha, \quad (15)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -0,017 \cdot \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{cosec}\alpha \cdot d \cdot \Delta\alpha, \quad (16)$$

где $\varphi_{cp} = (\varphi - \varphi_0)/2$ – средняя широта, как полусумма широт места судна и наблюдаемого объекта, град.; d – расстояние до пеленгуемого объекта, мили.

На основе (10) после замены в (15) и (16) погрешностей в измеренном пеленге на стандартные неопределенность определения поправок и стандартную неопределенность измерения параметра получим выражения для определения чувствительности судовой эргатической функции определение координат места судна – широты и долготы по измеренному пеленгу в зависимости от стандартных неопределенностей измерений и их законов распределения:

$$\Delta\varphi_\alpha = 0,017 \cdot \operatorname{tga} \cdot \sec a \cdot \sec\varphi_{cp} \cdot d \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 \sigma_i^2 + t^2 \sigma^2}; \quad (17)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -0,017 \cdot \operatorname{ctga} \cdot \operatorname{cosec} a \cdot d \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 \sigma_i^2 + t^2 \sigma^2}, \quad (18)$$

где $\Delta\varphi_\alpha$, $\Delta\lambda_\alpha$ и d в милях; α в град.; t_i и t – безразмерные величины; σ_i и σ в град.

В качестве примера решим обе задачи применительно к СЭФ определение места судна с помощью гирокомпасных пеленгов на судне на основе расширенной неопределенности измерений.

Пример 1. Рассчитаем приемлемость современных гирокомпасов для определения широты и долготы места судна при плавании в прибрежных водах и на подходах к берегу. Точность определения координат места судна в этих условиях согласно международным требованиям характеризуется погрешностью в пределах от 10 до 100 м [10].

Примем за исходные следующие данные: 1) судно осуществляет плавание в прибрежных водах; маяк находится на расстоянии $d = 5$ миль и $\varphi_{cp} \approx 3'$; 2) пеленг на маяк 35° ($\alpha = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$); 3) в эксплуатационных условиях на судне измеренный пеленг исправляется только одной поправкой; 4) стандартная неопределенность измерения пеленга $\sigma = 0,5^\circ$, а определения поправки $\sigma_n = 0,6^\circ$ [7]; 5) уровень доверия $P = 0,95$; 6) закон распределения погрешности измерений пеленга нормальный и $t = 2$, а поправки к пеленгу – равномерный и $t_n = 3,3$ (см. таблицу выше).

Тогда с учетом значений $\operatorname{tg}55^\circ = 1,43$; $\sec55^\circ = 1,74$; $\operatorname{ctg}55^\circ = 0,70$; $\operatorname{cosec}55^\circ = 1,22$ из (17) и (18) получаем, что в данных условиях наблюдений при определении координат места судна по гирокомпасному пеленгу широта места может быть определена с погрешностью не менее $\Delta\varphi_\alpha = 0,6'$ или 1057 м, а долгота - $\Delta\lambda_\alpha = 0,2'$ или 363 м.

Данные расчетов показывают, что современный гирокомпас при плавании в прибрежных водах и на подходах к берегу не во всех случаях может

обеспечить требуемую международными документами точность определения широты и долготы места судна.

Пример 2. Теперь решим другую задачу – определим, какова должна быть цена деления шкалы репитера гирокомпаса для обеспечения заданной точности определения широты и долготы места судна по пеленгу.

С помощью пеленгатора по шкале репитера гирокомпаса измеряется как пеленг, так и определяется поправка к пеленгу. В этом случае цена деления шкалы репитера одна и та же. После перевода миль в метры, а градусов в радианы, с учетом формулы (11), а также того, что в прибрежном плавании φ_{cp} не превышает $10'$ и $\sec\varphi_{cp}$ при этом будет равен единице, из (17) и (18) получим:

$$\Delta\varphi_\alpha = 76,92 \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{seca} \cdot d \cdot c, \quad (19)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -76,92 \cdot \operatorname{ctga} \cdot \operatorname{coseca} \cdot d \cdot c, \quad (20)$$

где $\Delta\varphi_\alpha$ и $\Delta\lambda_\alpha$ - в метрах; d - расстояние до маяка в милях; α - угол между пеленгом на маяк и осью абсцисс; c - цена деления шкалы репитера гирокомпаса в град.

Из формул (19) и (20) определяем:

$$c_\varphi = 0,013 \cdot (\operatorname{tga} \cdot \operatorname{seca} \cdot d)^{-1} \cdot \Delta\varphi_\alpha, \quad (21)$$

$$c_\lambda = -0,013 \cdot (\operatorname{ctga} \cdot \operatorname{coseca} \cdot d)^{-1} \cdot \Delta\lambda_\alpha, \quad (22)$$

где c_φ и c_λ – цены делений шкал репитера гирокомпаса, при которых обеспечивается заданная точность определения широты и долготы места судна по измеренным пеленгам, град.

Принимая в этой задаче за исходные данные первой задачи, а также $\Delta\varphi_\alpha = \Delta\lambda_\alpha = 100$ м, из (21) и (22) получаем требуемые величины цен шкал репитера гирокомпаса для заданных условий: $c_\varphi = 0,11^\circ$ и $c_\lambda = 0,31^\circ$.

Из этих расчетов можно сделать вывод о том, что с помощью современного гирокомпаса определить широту и долготу места судна с точностью, требуемой международными документами при плавании в прибрежных водах и на подходах к берегу, можно, если обеспечить измерение пеленга и определение поправки к нему по шкале репитера гирокомпаса, по крайней мере, с точностью до $0,1^\circ$.

Для формального представления результатов измерения, которые будут соответствовать требованиям GUM, необходимо предоставить следующее:

- 1) подробное определение измеряемой величины;
- 2) порядок определения уровня доверия;
- 3) значение коэффициента охвата;
- 4) информацию об источнике данных об оценке стандартных неопределенностей;
- 5) данные о поправках и методах учета их влияния;

б) результат определения расширенной неопределенности по формуле (10) с указанием единиц измерения.

Часть из приведенных выше данных можно внести в руководства, разрабатываемые компанией менеджером. Например, в навигационном руководстве для СЭФ определение места судна могут содержаться общие данные по расширенной неопределенности, как одно из положений навигационной политики компании. Это: 1) уровень доверия, принятый в компании, 2) порядок определения коэффициентов охвата; 3) данные о поправках и порядке их определения и учета; 4) данные об оценке стандартных неопределенностей измерений параметров.

Другая часть требуемых GUM данных по расширенной неопределенности измерений в настоящее время уже фиксируется на судне. Так, при определении по измерениям навигационных параметров места, которое принимается к счислению, в судовой журнал вносится запись о: 1) названии параметров, их измеренной величине и поправках к ним с указанием единиц измерения, 2) обсервованных широте и долготе. Для полного соответствия требованиям GUM недостает только данных о расширенной неопределенности, рассчитываемой по формуле (10).

При определении места судна в эксплуатационных условиях рассчитывать каждый раз величину расширенной неопределенности по формуле (10) можно, если на основе этой формулы разработать компьютерные программы для различных методов определения места в разных условиях.

Выводы и перспектива работы по данному направлению

Таким образом, чувствительность судовой эргатической функции выражена через расширенную неопределенность измерений. На этой основе разработана методика оценки точности измерений параметров на судне. Это, в свою очередь, дает возможность решить ряд теоретических и практических задач, связанных с совершенствованием эксплуатации морских судов, самолетов и космических кораблей и повышением точности приборов и инструментов для измерения различных параметров. К первоочередным задачам, связанным, например, с судовой эргатической функцией определение координат места судна, можно отнести:

1) анализ существующих методов определения широты и долготы места морских судов, самолетов и космических кораблей с точки зрения соответствия их заданным требованиям к точности определения координат места;

2) определение точности, которую могут обеспечить имеющиеся инструменты и приборы измерений навигационных параметров;

3) анализ систематических погрешностей измерений для выявления наиболее значимых из них;

4) определение требований к точности вновь создаваемых инструментов и приборов измерения навигационных параметров;

5) оценка условий, при которых обеспечивается требуемая точность определения широты и долготы места с помощью современных инструментов и приборов измерений навигационных параметров.

Решение аналогичных задач требуется и для других судовых эргатических функций таких, как определение количества груза, учет изгиба корпуса, определение судового фактора, сокращение потерь груза от испарения, учет температурного расширения груза, определение гидравлических характеристик трубопроводов и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO/IEC Guide 98-03:2008. Uncertainty of Measurement – Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement (GUM:1997). – International Standards Organisation. – Geneve, 2008. – 100 p.
2. Бобыр В.А. Судовые эргатические функции: монография / Бобыр В.А. – К.: Кафедра, 2014. – 362 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Наука – Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 564 с.
4. Борисов Ю.И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / Борисов Ю.И., Сигов А.С., Нефедов В.И. и др. – М.: ФОРУМ, 2009. – 336 с.
5. Сулаберидзе В.Ш. Проблема погрешности и неопределенности измерения / Сулаберидзе В.Ш. – http://n2.insu.ru/article/arts/article_3.pdf.
6. Бобыр В.А. Повышение точности измерений навигационных параметров. Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 20. – Одесса: ИздатИнформ, 2011. – С.16-22.
7. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. – М.: Изд-во «Транспорт», 1969. – 256 с.
8. Пилипенко Н.В. Диалектика необходимости и случайности / Пилипенко Н.В. – М.: Мысль, 1981. – 263 с.
9. Бобыр В.А., Райнов А.О. Чувствительность судовой эргатической функции определение места. Судовождение: сб. научн. трудов / НУ ОМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. - С. 15-25.
10. Руководство по навигационному оборудованию. МАМС. – Международная ассоциация морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС). - Сен-Жермен: 2006. – 190 с.

УДК 629.123.03

SHIPBOARD WEIGHING SYSTEM OF CONTAINERS**СУДНОВА СИСТЕМА ЗВАЖУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ****A.K. Sandler**, *assistant professor*, **O.V. Drozd**, *assistant professor***А.К. Сандлер**, *доцент*, **О.В. Дрозд**, *доцент**Національний університет «Одеська морська академія», Україна**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine***ABSTRACT**

According to IMO studies, numerous crash cases with container vessels were caused precisely by the fact that the weight of the containers was incorrectly indicated. As a result, cargo, containers and vessels were damaged. Statistics show that there are numerous cases when cargo containers arrive from the ship to the sea. To find ways to improve the situation with heavy control operations at container terminals, the structures of the most common types of vagometric devices were analyzed.

Under the prevailing conditions, it was expedient to develop a new circuit design solution of a gauge device. It was assumed that a constructive implementation based on fiber-optic and electromechanical elements should provide a measuring device:

- the possibility of taking into account when weighing the actual center of gravity of the container with the load;
- absence of additional information channels and reloading operations during weighing;
- lack of dependence on climatological factors;
- high sensitivity and precision preservation, as well as simplicity and reliability of circuit design solutions of known types.

For solving the problem, a scheme of a weight-control device is proposed. The proposed system for weighing containers is characterized in that the base is movable and driven along the guide along the height of the container row by a linear electric motor, the weight of the container is transmitted to the sensitive element by means of a beam with a reverse spring and an eccentric pressing on a stem which interacts with the sensitive an element of aluminum ox nitride, connected to fiber optic fibers, a weight gauge spring and a terminal switch that controls a linear electric motor.

The application of the proposed system of weighing containers, in addition, will increase the safety and efficiency of technological weight control processes in general.

Keywords: system, cargo, container.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

Зважування всіх контейнерів стане в ближньому майбутньому реальністю для термінальних операторів. Яке ж підґрунтя для впровадження правил щодо зважування контейнерів вимагає International Maritime Organization (ІМО)? ІМО, по-перше, вважає найбільш доцільним запобігти аварійним ситуаціям з морськими суднами, які є наслідком втрати контейнеровозами остійності. За результатами досліджень ІМО, чисельні аварії з контейнерними суднами були викликані саме тим, що неправильно була вказана вага контейнерів. Внаслідок чого вантаж, контейнери та судно отримали пошкодження (рис. 1).



Рис. 1. Аварія контейнеровоза

Статистика свідче про чисельні випадки, коли контейнери з вантажами потрапляють з судна до моря. Таким чином, у ІМО були всі підстави обговорити нові правила зважування та запровадити їх як обов'язкові.

Було здійснено два багатофакторних дослідження. Головне дослідження було проведено університетом Jadehochschule в 2012 та 2013 роках. Зважувались (випадкова вибірка) більш як 6500 контейнерів на Одеському контейнерному терміналі. Отримані такі результати:

1. Середнє відхилення за вагою склало 3,8 %;
2. 15 % контейнерів відрізнялись за вагою в ту чи іншу сторону на одну тонну;
3. 0,5 % контейнерів відрізнялись за вагою більш чим на 10 тонн.

Друге дослідження було проведено у 2010 році World Shipping Council та International Chamber of Shipping. Результати цього дослідження продемонстрували, що загальна вага вантажу на борту судна практично регулярно перевищує заявлену на 3 ... 7 %, а в деяких особливо небезпечних випадках навіть на 10 % [1, 2, 3].

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язування даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Для пошуку шляхів поліпшення ситуації з вагоконтрольними операціями на контейнерних терміналах були проаналізовані конструкції найпоширеніших типів вагометричних пристроїв.

Відома система зважування контейнерів складається з вагової платформи та динамометричного чутливого елемента між платформою та вантажним гаком (рис. 2) [4].



Рис. 2. Вагова платформа з динамометром

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням вагової платформи та динамометричного чутливого елемента:

- неможливість урахування при зважуванні дійсного центру ваги контейнера з вантажем;
- необхідність наявності додаткового каналу передачі інформації «ваги-судно»;
- залежність достовірності виміру від кліматологічних умов навколишнього середовища.

У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики системи зважування контейнерів, яка складається з основи, плити фундаментної, чутливого елемента з кріпленням та вагової платформи (рис. 3) [5].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням вагової платформи:

- необхідність додаткової перевантажувальної операції «берег-ваги-судно»;
- необхідність наявності додаткового каналу передачі інформації «ваги-судно»;
- залежність достовірності виміру від кліматологічних умов навколишнього середовища.

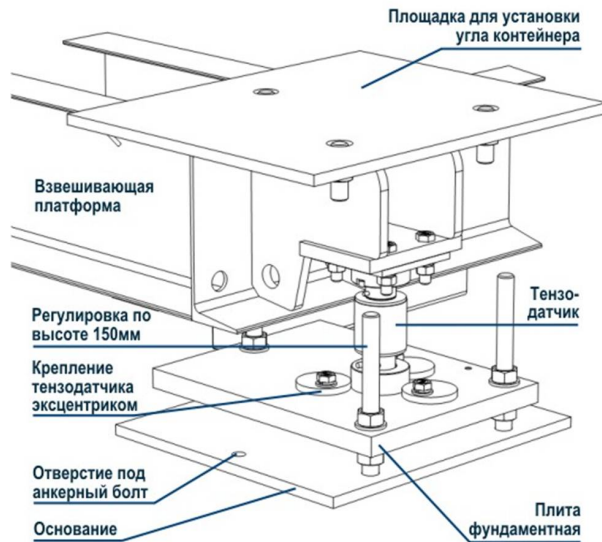


Рис. 3. Стационарная система взвешивания контейнеров

Формулювання мети статі (постановка задачі)

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схмотехнічного рішення вагометричного пристрою. Передбачалося, що конструктивне виконання на основі волоконно-оптичних та електромеханічних елементів повинне забезпечити вимірювальному пристрою:

- можливість урахування при зважуванні дійсного центру ваги контейнера з вантажем;
- відсутність додаткових інформаційних каналів та перевантажувальних операцій при зважуванні;
- відсутність залежності від кліматологічних чинників;
- збереженість високого рівня чутливості та точності, а також простоти та надійності схмотехнічних рішень систем відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована схема вагометричного пристрою.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Суть запропонованого схмотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 4), де зображено система зважування контейнерів, що складається з чотирьох комплектів, змонтованих по кутах кожного контейнерного ряду.

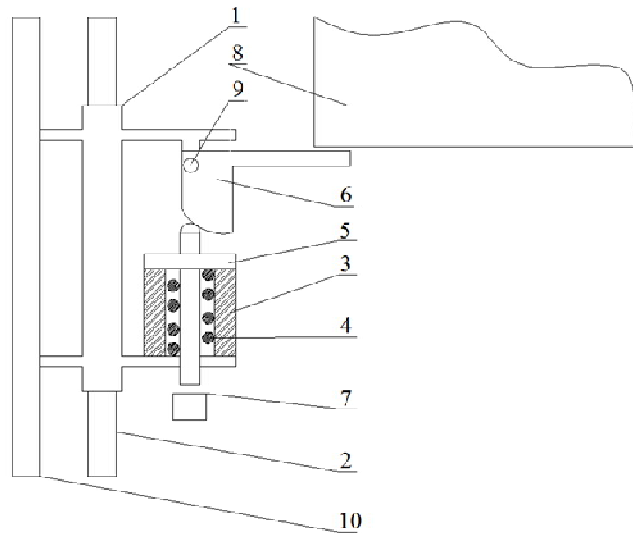


Рис. 4. Суднова система зважування контейнерів: 1 – основа; 2 – напрямна; 3 – чутливий елемент з оксинітриду алюмінію з волоконними світловодами; 4 – калібровочна пружина; 5 – шток; 6 – балка з ексцентриком; 7 – кінцевий вмикач; 8 – контейнер; 9 – зворотна пружина; 10 – лінійний електродвигун.

Кожен з комплектів являє собою основу 1, яка рухається уздовж напрямної 2. На основі закріплені чутливий елемент з оксинітриду алюмінію з волоконними світловодами 3, калібровочна пружина 4, балка з ексцентриком 6, кінцевий вмикач 7 та зворотна пружина 9. Шток 5 знаходиться у механічному зв'язку з чутливим елементом, калібровочною пружиною та балкою з ексцентриком та зворотною пружиною. Рух основи уздовж напрямної забезпечує лінійний електродвигун 10.

При опусканні по ряду контейнера 8, він приводить до руху балку з ексцентриком, який тисне на шток. Шток тисне на чутливий елемент та калібровочну пружину. Чутливий елемент з оксинітриду алюмінію деформується та в ньому відбувається порушення умов повного внутрішнього відбивання світла, що надходить з волоконних світловодів [6].

Величина зниження інтенсивності світлового випромінювання внаслідок деформації буде пропорційна вазі контейнера. Отриманий сигнал надходить безпосередньо до суднової інформаційно-виміральної системи.

Після проходження контейнера зони контакту з балкою, зворотна пружина повертає її в початкове положення, а шток у крайньому нижньому положенні вмикає кінцевий вмикач. З кінцевого вмикача надходить сигнал до лінійного електродвигуна. Останній переміщає основу до позиції, що відповідає наступному шару контейнерів у ряді.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію оптикомеханічних елементів.

У статичному режимі (перед початком вантажної операції) на опорі встановлюється відповідна калібруюча пружина, яка відповідає вазі та типу контейнерів які будуть завантажуватися у відповідний ряд. Також виконується калібрування оптичної складової системи у відсутності навантаження.

У динамічному режимі (режим вантажної операції) відбувається При опусканні по ряду контейнера δ , він приводить до руху балку з ексцентриком, який тисне на шток. Шток тисне на чутливий елемент та калібровочну пружину. Чутливий елемент з оксинітриду алюмінію деформується та в ньому відбувається порушення умов повного внутрішнього відбивання світла, що надходить з волоконних світловодів [6, 7, 8, 9]. Величина зниження інтенсивності світлового випромінювання внаслідок деформації буде пропорційна вазі контейнера. Отриманий сигнал надходить безпосередньо до суднової інформаційно-вимірювальної системи.

Після проходження контейнера зони контакту з балкою, зворотна пружина повертає її в початкове положення, а шток у крайньому нижньому положенні вмикає кінцевий вмикач. З кінцевого вмикача надходить сигнал до лінійного електродвигуна. Останній переміщає основу до позиції, що відповідає наступному шару контейнерів у ряді.

Для визначення точної ваги контейнера, з урахуванням дійсного центру ваги вантажу, суднова інформаційно-вимірювальна система опрацьовує сигнал з усіх чотирьох чутливих елементів комплексу.

Таким чином, відбувається повний цикл системи вимірювання ваги контейнера.

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Запропонована суднова система зважування контейнерів, відрізняється тим, що основа є рухомою та приводиться до руху по напрямним уздовж висоти контейнерного ряду лінійним електродвигуном, до чутливого елементу передається дія ваги контейнера за допомогою балки зі зворотною пружиною та ексцентриком, що тисне на шток, який взаємодіє з чутливим елементом з оксинітриду алюмінію, з'єднаним з волоконними світловодами, ваговою калібровочною пружиною та кінцевим вмикачем, який керує лінійним електродвигуном [10].

Таким чином, в розробленому пристрої комбінація електромеханічних та волоконно-оптичних елементів забезпечує:

- здійснення вагового контролю контейнерів безпосередньо під час вантажних операцій;
- врахування й компенсацію впливу гідрометеорологічних чинників, що впливають на точність вагоконтрольних операцій;
- постійну присутність вагоконтрольного комплексу на борту судна;
- зниження витрат та часу на вагоконтрольні операції.

Застосування запропонованої системи зважування контейнерів, крім того, дозволить підвищити безпеку і ефективність технологічних вагоконтрольних процесів в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Весы крановые. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.torgtehnika.com.ua/vesi-kranovie/blog.html>

2. Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза. // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. – 2016. – Вип. 271. – Т. 283. Комп'ютерні технології. – С. 60 – 63.
3. Шмекер К. Взвешивание контейнеров по требованиям ИМО и его возможные последствия / К. Шмекер // Порты Украины, № 07(139). - 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/3776>.
4. Крановые весы - характеристики, устройство и применение – Режим доступа: <http://promplace.ru/kranovie-vesi-harakteristiki-ustrojstvo-i-primenenie-466.htm>.
5. Контейнерные весы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metra.ru/catalogue/bolshegruznye-vesy/konteynerye-vesy.html>.
6. AION прозрачный алюминий — Transparent Aluminum Oxynitride. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sciencedebate2008.com/unusual-aluminum/>.
7. Сандлер А.К. Волоконно-оптический акселерометр для диагностирования судовых газовых турбин. //Автоматика-2012: XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26-28 вересня 2012 р.: матеріали конференції – К.: НУХТ. – 2012. – С. 336.
8. Сандлер А.К., Логишев, И.В. Разработка волоконного акселерометра для контроля высокочастотной вибрации судовых механизмов. // Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: НУ «ОМА». – Т.2. – 2017. – С. 14 - 17.
9. Сандлер А.К., Логишев, И.В., Сандлер, А.А. Инвариантный волоконный акселерометр. //Енергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277 -279.
10. Сандлер А.К., Дрозд О.В. Суднова система зважування контейнерів. Деклараційний патент України № 117146, МПК (2006) G01G 15/00, G01G 17/00. – заявл. 27.03.2017. // Опубл. 12.06.2017, бюл. № 11/2017.

УДК 656.614

HYDROSTATIC SYSTEM FOR OPERATIONS WITH HEAVY CARGO**ГІДРОСТАТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАЦІЙ З НАДВАЖКИМИ ВАНТАЖАМИ**

Sandler A.K., *assistant professor*, **Drozd E.V.** *assistant professor*
Сандлер А.К., *доцент*, **Дрозд О. В.**, *доцент*

Національний університет «Одеська морська академія», Україна
National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

ABSTRACT

Special role in the transportation of heavy cargo is played by hydrostatic rigging systems designed for horizontal cargo operations on ships. This is due to a number of advantages of rigging cargo guides over traditional ones - they are low cost, easy to operate and easy to mount systems for loads of different weights.

At the same time, the use of existing hydrostatic rigging systems revealed their incomplete compliance with modern tasks for the safe operation of cargo operations. In order to find ways to improve the operational characteristics of freight rails, the schematic solutions of their lubrication systems are analyzed.

In the prevailing conditions, it was expedient to develop a new circuit design solution for lubrication of guides. It was supposed that constructive implementation should ensure:

- the possibility of using high-viscosity lubricants with the necessary and sufficient flow of these materials;
- minimized influence of climatic factors on cargo operations;
- independence from power supply;
- high level of liquid friction in the whole range of speeds and loads when moving a load;
- simplicity and reliability of circuit design solutions of known types.

For the solution of the problem, a diagram of the lubrication system of the guides is proposed.

The proposed circuit design differs in that the system involves the capacity for the lubrication cartridge, a power secondary cylinder, whose piston rod, under the influence of pressure, creating six primary cylinders having an actuator from the device for converting the translational motion into the rotary and toothed rails, compresses lubricant cartridge and provides lubricant in the lubrication pockets.

The use of the offered device will allow to carry out an adequate and economical mode of lubrication while moving along the guides of heavy duty loads.

Keywords: guide, load, lubricant.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

В сучасний час у світі сформувалася тверда тенденція росту обсягів перевезення надважких вантажів, що обумовлено необхідністю транспортування суден та нафтових платформ, технологічних модулів та обладнання для виробництв з нафтопереробки та скраплення природного газу. Вага особливо важких вантажів складає сотні й десятки тисяч тон, а їх габарити – десятки й сотні метрів. Як показує світова практика, для перевозок таких вантажів застосовуються спеціальні судна и плавучі засоби: вантажні судна-ліфти, транспортні плавучі доки, баржи та понтони, ліхтеровози тощо (рис. 1) [1].



Рис. 1. Вивантаження надважкого вантажу по рейках на берег

Особливу роль при перевезенні надважких вантажів відіграють гідростатичні такелажні системи, призначені для горизонтальних вантажних операцій на судах. Це обумовлено низкою переваг такелажних вантажних напрямних над традиційними – вони мають низьку вартість, прості у експлуатації та з них легко монтуються системи під вантажі різної ваги (рис. 2).

У той же час, застосування існуючих гідростатичних такелажних систем виявило їх неповну відповідність сучасним задачам безпечного здійснення вантажних операцій [1, 2, 3]. Для пошуку шляхів поліпшення експлуатаційних характеристик вантажних такелажних напрямних проаналізовані схемотехнічні рішення їх систем змащування [3, 4, 5].

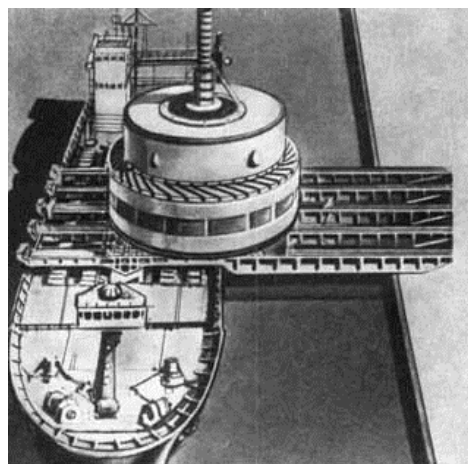


Рис. 2. Гідростатичні горизонтальні такелажні системи

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язування даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Відома система змащування напрямних складається з групи карманів трикутної форми на поверхні напрямної, мастилопроводів та насосу з електроприводом (рис. 3) [4].

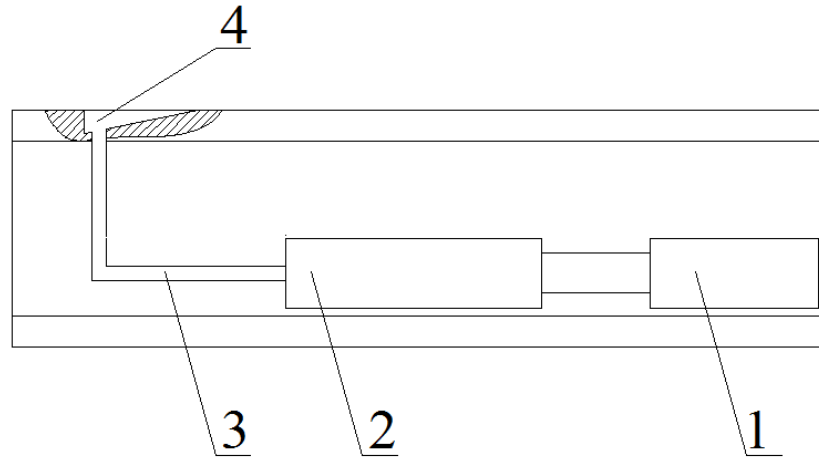


Рис. 3. Система змащування напрямних: 1 – електродвигун; 2 – насос; 3 – мастилопровід; 4 – змащувальний карман

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням насосу з електроприводом та подачею мастила безпосередньо до карманів змащування:

- надлишкова витрата змащувального матеріалу;
- можливість підйому опорної поверхні вантажу над напрямною та створення перекидаючих моментів для вантажу;
- залежність низьков'язких сортів мастила, що застосовуються, від кліматичних умов;
- залежність роботоспроможності системи від наявності електричного живлення.

У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики систему змащування напрямних, яка складається з групи карманів трикутної форми на поверхні напрямної, мастилопроводів, дроселів та насосу з електроприводом (рис. 4) [4, 5, 6].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням комплексу «насос з електроприводом – дросель»:

- залежність низьков'язких сортів мастила, що застосовуються, від кліматичних умов;
- залежність роботоспроможності системи від наявності електричного живлення.

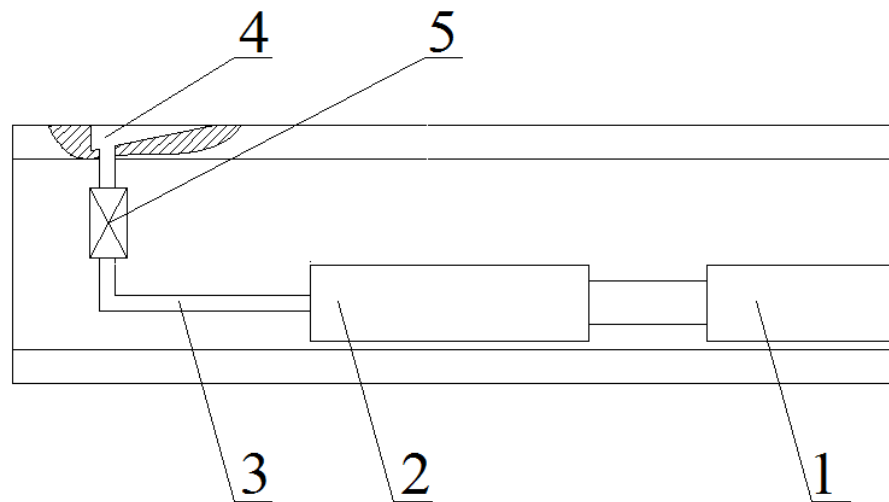


Рис.5. Система змащування напрямних: 1 – електродвигун; 2 – насос; 3 – мастилопровід; 4 – змащувальний карман; 5 – дросель

Формулювання мети статі (постановка задачі)

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення системи змащування напрямних. Передбачалося, що конструктивне виконання повинне забезпечити:

- можливість застосування консистентних мастильних матеріалів високої в'язкості з необхідною та достатньою витратою цих матеріалів;
- мінімізований вплив кліматичних чинників на вантажні операції;
- незалежність від електричного живлення;
- високий рівень забезпечення рідинного тертя у всьому діапазоні швидкостей та навантаження при пересуванні вантажу;
- простоту та надійність схемотехнічних рішень систем відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована схема системи змащування напрямних.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 5), де зображена система змащування напрямних для переміщення надважких вантажів, що складається з напрямної 1, карманів 2, дроселів 3, мастилопроводів 4, ємності для мастильного картриджу 5, вторинного гідроциліндру 6 зі штоком-поршнем 8, первинних гідроциліндрів 7, устрою перетворення поступального руху в обертальний 9 та зубчатої рейки 10 зі зворотною пружиною 11.

Початок руху вантажу, що транспортується по направляючим, приводить до контакту опори вантажу та сферичної закінцівки зубчатої рейки. Під дією ваги вантажу зубчата рейка рухається у отворі напрямної до низу. При русі рейки вона приводить у дію устрій перетворення поступального руху в обертальний.

У свою чергу взаємодія поверхні барабану цього устрою з профільованою криволінійною канавкою з шістьма первинними гідроциліндрами призводить

до підвищення тиску у гідравлічно зв'язаному з ними вторинному гідроциліндрі. При підвищенні тиску шток-поршень вторинного гідроциліндру витискує матеріал мастильного картриджу, у відповідній ємності, крізь дроселі до мастильних карманів. У такий спосіб мастило надходить у зону контакту вантажу та напрямної [6, 7].

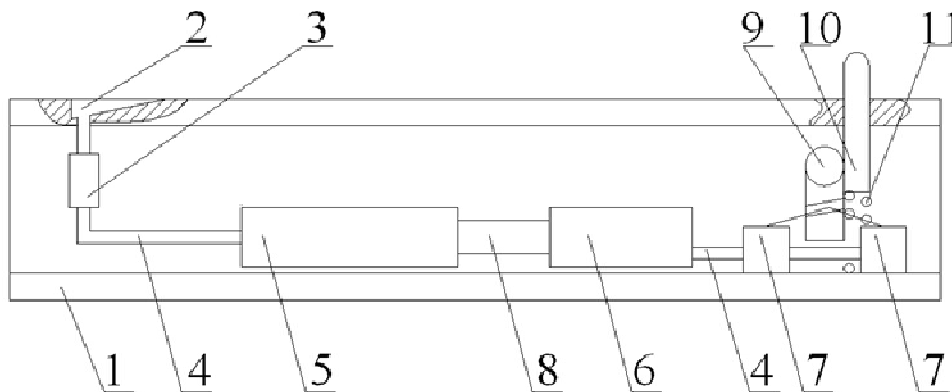


Рис.5. Система змащування напрямних для переміщення надважких вантажів: 1 – напрямна; 2 – карман; 3 – дросель; 4 – мастилопровід; 5 – ємність для мастильного картриджу; 6 – вторинний гідроциліндр; 7 – первинний гідроциліндр; 8 – шток-поршень вторинного гідроциліндру; 9 – устрій перетворення поступального руху в обертальний; 10 – зубчата рейка; 11 – зворотна пружина

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію гідромеханічних елементів.

У статичному режимі (перед початком вантажної операції) у ємність завантажується мастильний картридж та ємність замикається. Шток-поршень вторинного гідроциліндру знаходиться у вторинному гідроциліндру. Зубчата рейка піднята у верхнє положення зворотною пружиною.

У динамічному режимі (режим пересування вантажу) відбувається контакту опори вантажу та сферичної закінцівки зубчатої рейки. Під дією ваги вантажу зубчата рейка рухається у отворі напрямної до низу. При русі рейки вона приводить у дію устрій перетворення поступального руху в обертальний. У свою чергу взаємодія поверхні барабану цього устрою з профільованою криволінійною канавкою з приводами 6 первинних гідроциліндрів призводить до підвищення тиску у гідравлічно зв'язаному з ними вторинному гідроциліндрі. При підвищенні тиску шток-поршень вторинного гідроциліндру витискує матеріал мастильного картриджу, у відповідній ємності, крізь дроселі до мастильних карманів. Дроселі, на яких відбувається зниження тиску, застосовуються для того, щоб при різному навантаженні на кармани, тиск в них не міг зрівнятися, а був максимальним тільки в зоні контакту. У такий спосіб мастило надходить до зони контакту вантажу та напрямної. Після проходження вантажу зони контакту з закінцівкою зубчатої рейки, вона під дією зворотної пружини піднімається догори, розвантажувальні клапани підсистеми «первинні гідроциліндри –вторинний гідроциліндр» відкриваються, тиск у вторинному гідроциліндрі знижується та поршень- шток повертається до гідроциліндру.

Таким чином, відбувається повний цикл системи змащування.

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що до складу системи залучені ємність для мастильного картриджу, силовий вторинний гідроциліндр, шток-поршень якого, під впливом тиску, що створюють шість первинних гідроциліндрів, що мають привід від устрою перетворення поступального руху в обертальний та зубчатої рейки, стискає мастильний картридж і забезпечує надання мастильного матеріалу у кармани змащування.

Таким чином у розробленій системі змащування комбінація гідромеханічних елементів забезпечує:

- створення більш адекватних умов змащування напрямних;
- можливість здійснення процесу змащування без залучення додаткових джерел живлення силового обладнання;
- врахування й компенсацію впливу гідрометеорологічних чинників, що впливають на вантажні операції;
- зниження витрат змащувального матеріалу.

Використання пристрою [8], що пропонується, дозволить здійснювати адекватний й економічний режим змащування при пересуванні вдовж напрямних надважких вантажів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Подобед В.А., Подобед Р.В., Папуша А.Н., Вульфович Б.А. Транспортировка крупногабаритных особо тяжелых грузов морем // Вестник МГТУ. – 2014. – Том 17. – № 1. – С. 87 – 91.
2. Коробейников А. Ф. Исследование гидростатических направляющих // Вестник Хакасского технического института - филиала КГТУ. – Абакан, 2006. – № 22. – С. 42 – 47.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин). – М.: ГРНТИ, 2002. – 426 с.
4. Бушуев В.В. Гидростатическая смазка в станках. – М.: Машиностроение, 1989. – 176 с.
5. Hiwin. Линейные направляющие. <http://www.linear.com.ua/catalog/hiwin-linear-motion.pdf>.
6. Фещенко В.Н. Справочник конструктора. Книга 2. Проектирование машин и их деталей. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 400 с.
7. А.с. 982867 СССР, М.Кл³ В 23 Q 1/02. Гидростатические направляющие металлорежущего станка/С.Н. Аграновский, Г.В. Гаврилова, Б.С. Шейнин; заявитель и патентообладатель: Особое конструкторское бюро станкостроения. – № 3297247/25-08; заявл. 05.06.81; опубл. 23.12.82. Бюл. № 47. – 2 с.
8. Заявка на Декларацийний патент України на корисну модель № u201700572 від 20.01.2017.

УДК 656.614

DEVICE FOR PREVENTION OF SHEAR CARGO IN HOLD**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ЗСУВУ ВАНТАЖІВ У ТРІЮМІ****Sandler A.K., assistant professor, Tsupko Y.M., professor****A. K. Сандлер, доцент, Ю. М. Цюпко, професор***Національний університет «Одеська морська академія», Україна**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine***ABSTRACT**

When transporting bulk cargo by sea vessels, the latter are prone to significant and prolonged thrust and vibration, saturation of moisture from the air and temperature influences. As a result, the bulk cargo changes its rheological characteristics (the angle of internal friction and the initial resistance to the shift), and for materials with a moisture content of more than 4% at negative temperatures, the probability of freezing is high. In the case of dynamic influences and shaking in the mass of the cargo, periodic deformation waves will necessarily be formed, which will result in the migration of the liquid in the intergranular space and to some quasistationary state, which is determined by the periodic field of mass forces. This suggests that, in arbitrary places of the hold, where the "focus" waves from dynamic actions, in the consolidated material can form zones with cracks in which there will be a sparged cargo in the form of a suspension. These processes inevitably lead to an avalanche-shaped shift of cargo.

In the static mode (the load is loaded to the level of the corresponding layer of the device). When working on a winch on a "straight-forward" chain, due to its contact with the star-shaped drums, the chain moves in the direction of "nose-feed" and moves perforated panels rigidly fixed to it. Perforation of panels is carried out to reduce the overall weight of the device. Panels are taken out of a folded state and come into contact with the load. After full deployment of panels, they form a geodesic network of cells over the surface of the cargo, which counteract the shift of cargo.

In the first dynamic mode (loading of bulk cargo), when the cone of a bulk cargo, the height of which is 15% higher than the height of the location of the corresponding layer of the device, the latter is put into effect. Interaction on the forward and reverse movement of the device allows you to perform an even distribution of cargo in the area of the cargo hold. This operation is carried out until the full distribution of the cargo at the appropriate level. After that, the device enters the static mode. On two other levels there are identical operations.

In the second dynamic mode (unloading of bulk cargo), the winch operates in the direction of the "feed-nose" as soon as the surface is cleared over the panels.

Due to the fact that the levels at which the layers of the device are located much lower than the hold of the hold, there is no particular effect on the stability of the vessel and metacentric height.

The proposed circuit design differs in that the device is located along the sides horizontally in three tiers at the height of the hold, the drive of the perforated panels is carried out using a closed circuit, all the components of the panels are connected on the hinges, and for the movement of the panels used guides and shoes, fastened on the chain.

The technical effect is achieved due to the fact that the combination of mechanical elements provides:

- more complete blocking of landslide processes in bulk cargo due to overlap of three layers of perforated panels - geodetic network;
- improvement of trouble-free operation and motor power due to abrasion and mechanical wear of the chain drive;
- improvement of the device;
- simplification of the design of the drive and its unification on the element base with drives closing the hold covers;
- reducing the cost of the device.

The use of the proposed device will allow the maintenance of loose cargo in the specifications and enhance the safety of the transportation of such goods by sea.

Keywords: system, cargo, guide.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

При транспортуванні морськими суднами сипучих вантажів, останні схильні до значних і тривалих поштовхів і вібрацій, насиченню вологою з повітря і температурних впливів. В результаті насипний вантаж змінює свої реологічні характеристики (кут внутрішнього тертя і початковий опір зрушенню), а для матеріалів при вмісті вологи більше 4% при негативних температурах висока ймовірність замерзання. [1, 2, 3, 4].

При динамічних впливах і хитамиці в масиві вантажу будуть обов'язково формуватися періодичні деформаційні хвилі, що призводять до міграції рідини в міжзерновій просторі і до деякого квазістаціонарного стану, який визначається періодичним полем масових сил. Це говорить про те, що в довільних місцях трюму, де «фокусуються» хвилі від динамічних дій, в консолідованому матеріалі можуть формуватися зони з тріщинами, в яких буде перебувати розріджений вантаж у вигляді суспензії. Ці процеси необратимо призводять до лавинообразного зсуву вантажу.

Особливу роль при перевезенні сипучих вантажів відіграють системи протидії зсуву вантажу. Це обумовлено критичним впливом розташування вантажу у трюмі на зниження остійності судна та рівень безпеки мореплавства в загалі.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язування даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Відомий пристрій являє собою розміщений в трюмі судна настил з шарнірно прикріплених до палуби та бортів секцій м'яких і жорстких панелей, що чергуються по всій довжині трюму судна, а також вузлів притиску секцій до вільної поверхні вантажів у вигляді силових гідроциліндрів. М'які оболонки з повітронепроникного матеріалу через запірну арматуру підключені до суднової системи стисненого повітря (рис. 1) [5].

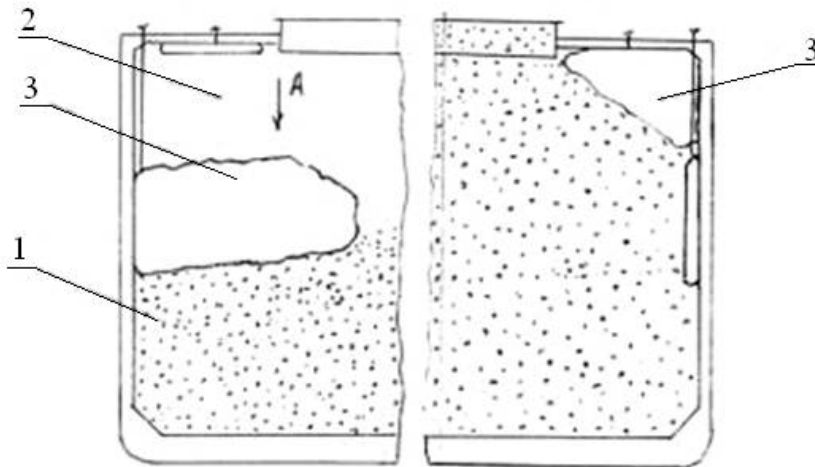


Рис. 1. Пневмомеханічний пристрій для запобігання зсуву вантажу у трюмі: 1 – вантаж; 2 – вільна порожнина; 3 – м'які оболонки з повітронепроникного матеріалу

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням м'яких оболонок з повітронепроникного матеріалу та силових гідроциліндрів:

- необхідність постійного наддуву оболонок у продовж всього періоду перевезення вантажу;
- необхідність постійного корегування тиску о оболонках з оглядом на вплив кліматологічних факторів;
- надмірне вичерпання моторесурсу повітряних компресорів судна;
- складність пневматичної схеми та конструкції;
- надмірне зношування робочих поверхонь штоків гідроциліндрів при транспортуванні у трюмах вантажів з абразивними властивостями;
- складність експлуатації.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується, є пристрій, що містить перфоровані панелі з вузлом переміщення уздовж трюму судна, що включає в себе привідні лебідки з трособлочною проводкою, змонтовані на подволоці (стелі) трюму, а також вузол притиску панелей до вільної поверхні вантажу у вигляді силових телескопічних тросових циліндрів, які шарнірно закріплені на подволоці трюму і з'єднані тяговими тросами з барабанами відповідних лебідок (рис. 2) [6].

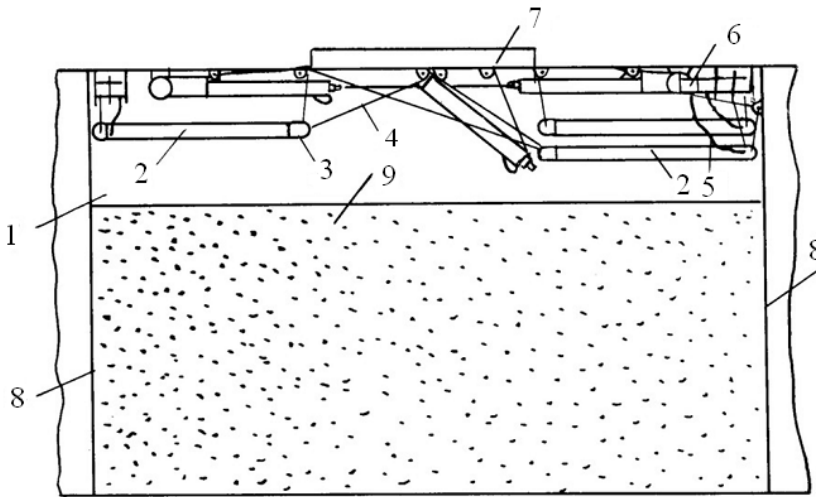


Рис. 2. Механічний пристрій для запобігання зсіву вантажу

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням електродів-конденсаторів з сегнетоелектричної плівки та електричного живлення:

- складність механічної схеми та конструкції;
- надмірне зношування робочих поверхонь штоків гідроциліндрів та тросів при транспортуванні у трюмах вантажів з абразивними властивостями;
- зниження метацентричної висоти та остійності судна при розташуванні системи з великою експлуатаційною вагою на підволоці (стелі) трюму.

Формулювання мети статі (постановка задачі)

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення пристрою для запобігання зсуву вантажів у трюмі. Передбачалося, що конструктивне виконання повинне забезпечити:

- відсутність необхідності корекційних дій з підтримки геометрії та властивостей конструкції;
- використання простих механічних вузлів, які не впливають на морехідні якості судна;
- одночасну збереженість можливостей пристроїв відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована схема системи запобігання зсуву вантажу у трюмі.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 3), де зображена привідна лебідка 1. Привідна лебідка складається з електродвигуна, редуктора привідних валів та барабанів-зірочок, що розташовані на кінцях валів. З барабанами-зірочками знаходиться у постійному зачепленні замкнений ланцюг 2. До ланцюга закріплені перфоровані панелі 6, які складаються з прямих ділянок та ділянок, що утворюють шестикутники.

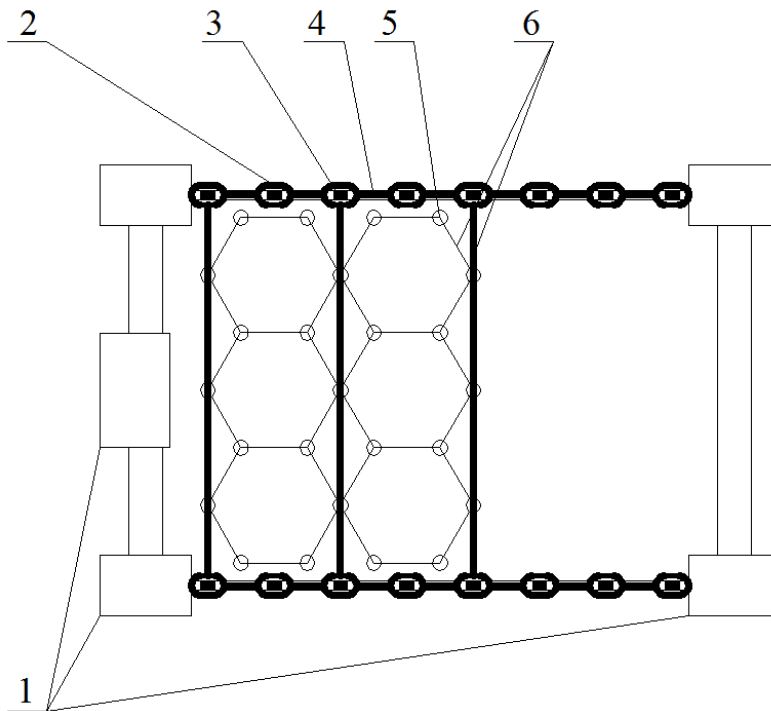


Рис. 3. Пристрій для запобігання зсуву вантажів у трюмі: 1 – привідна лебідка; 2 – замкнений ланцюг; 3 – башмаки; 4 – напрямна; 5 – шарнір; 6 – перфоровані панелі

Прямі ділянки панелей на кінцях мають башмаки 3, що рухаються по напрямним 4. Завдяки нахилу початкової ділянки напрямних, башмаки мають роз'ємний тип зчеплення з ланцюгом. Усі ділянки перфорованих панелей зв'язані між собою шарнірами 5, які дозволяють у достатньому діапазоні зсув ділянок одна по відношенні до другої.

При роботі лебідки на «прямий рух» ланцюг завдяки зачепленню у барабанах-зірочках просувається в напрямку «ніс-корма» та пересуває жорстко закріплені з ним перфоровані панелі. Перфорація панелей здійснюється для зниження загальної ваги пристрою. Панелі виводяться із складеного стану та входять у взаємодію з вантажем.

При роботі лебідки на «зворотний рух» ланцюг відводить панелі в напрямку «корма-ніс». На ділянці з нахилом відбувається розмикання башмаків та ланцюгу та складання панелей у щільний пакет.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію механічних елементів. Основа використовуються для монтажу та взаємної фіксації елементів пристрою.

У статичному режимі (вантаж завантажено до рівня відповідного шару пристрою), При роботі лебідки на «прямий рух» ланцюг завдяки зачепленню у барабанах-зірочках просувається в напрямку «ніс-корма» та пересуває жорстко закріплені з ним перфоровані панелі. Перфорація панелей здійснюється для зниження загальної ваги пристрою. Панелі виводяться із складеного стану та входять у взаємодію з вантажем. Після повного розгортання панелей вони утворюють над поверхнею вантажу геодезичну мережу комірок, які протидіють зсуву вантажу [7, 8].

У першому динамічному режимі (завантаження сипучого вантажу), при утворенні конусу сипучого вантажу, висота якого на 15% перевищує висоту розташування відповідного шару пристрою, останній уводиться у дію. Взаємодія на прямому та зворотному русі пристрою дозволяє виконувати рівномірний розподілу вантажу по площі вантажного трюму. Ця операція здійснюється до повного розподілу вантажу на відповідному рівні. Після чого пристрій переходить у статичний режим. На двох інших рівнях відбуваються ідентичні операції [7, 8].

У другому динамічному режимі (розвантаження сипучого вантажу) лебідка працює в напрямку «корма-ніс», як тільки звільниться поверхня над панелями.

Завдяки тому, що рівні, на яких розташовані шари пристрою значно нижче підволоку трюму, не виникає особливого впливу на остійність судна та метацентричну висоту.

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що пристрій розташований уздовж бортів горизонтально в три яруси за висотою трюму, привід перфорованих панелей здійснюється за допомогою замкненого ланцюгу, всі складові частини панелей з'єднані на шарнірах, а для руху панелей застосовуються напрямні та башмаки, закріплені на ланцюгу.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація механічних елементів забезпечує:

- більш повного блокування зсувних процесів у сипучому вантажі завдяки накладання трьох шарів перфорованих панелей - геодезичної мережі;
- підвищення безвідмовності функціонування та моторесурсу завдяки стійкого до абразивного та механічного зношування ланцюгового приводу;
- підвищення ремонтоздатності пристрою;
- спрощення конструкції приводу та її уніфікація по елементній базі з приводами закриття трюмних кришок;
- зменшення вартості пристрою.

Використання пристрою, що пропонується, дозволить здійснювати утримання сипучого вантажу у специфікаційних умовах та підвищити безпеку транспортування таких вантажів морем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков Е.И. Технология морских перевозок / Е.И. Жуков, М. Н. Письменный – М.: Транспорт, 1991. – 335 с.
2. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: АНО НПО «Мир и Семья», 2001. – 560 с.
3. Международный кодекс морской перевозки навалочных грузов (МКМПНГ). <http://docs.cntd.ru/document/499028824>.
4. Николаева Л.Л. Морские перевозки / Николаева Л.Л., Цымбал Н.Н. – Одесса: Феникс, 2005. – 425 с.

5. Пат. 2410281 Российская Федерация, МПК В63В25/24. Устройство для предотвращения смещения грузов в трюме судна / П. И. Бухарицин, Л. Г. Беззубиков; заявители и патентообладатели: Бухарицин П. И., Беззубиков Л. Г.– опубл. 27.01.2011. – Бюл. №3. – 3 с.
6. Пат. 2007325 Российская Федерация, МПК В63В25/24. Устройство для предотвращения смещения пакетированных и сыпучих грузов в трюме судна / О.А. Мороцкий; заявитель и патентообладатель: Мороцкий О. А. – № 4921280/11; заявл. 21.03.1991; опубл. 15.02.1994. – 3 с.
7. Фещенко В.Н. Справочник конструктора. Книга 1. Машины и механизмы: учеб.- практ. пос./ В.Н. Фещенко. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 400 с.
8. Корнилов Э.В. Палубные механизмы и судовые устройства морских судов / Корнилов Э.В., Бойко П.В., Корнилов В.Э. – М.: Инфра - Инженерия, 2009. – 420 с.

УДК 656.61.052

COMPARISON OF MODELS OF ESTIMATION OF PROBABILITY OF WIRING OF SHIP BY THE STRAITENED ROUTE

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОВОДКИ СУДНА СТЕСНЕННЫМ МАРШРУТОМ

V.V. Severin, *PhD student*

В. В. Северин, *аспирант*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

Showed results of imitation design of estimation of authenticity of wiring of ship by the compressed route with the help of two different models, thus one of them uses the closeness of distributing of vector's error of ship, and other is based on the closeness of error of her lateral declination. It is carried out comparison of the got values of probabilities and confirmed legitimacy of the use of estimation of authenticity of wiring of ship on the compressed route by simpler model with the use of closeness of error of she lateral declination.

For the first method of estimation of authenticity of the accident-free sailing of ship on the chosen route the mathematical model of closeness of distributing of vector's error of ship and description of region of the safe sailing is used, wiring of ship is formalized thus, as stochastic process of Markov. Second method of estimation of authenticity of the accident-free sailing of ship by the compressed route it is formalized with the help of model to the closeness of error of his lateral deviation from the programmatic trajectory of motion and with the use of description of region of the safe sailing and programmatic trajectory of motion of ship, which is characterized by the conciseness of region and change of trajectory.

For each of models the imitation program was developed, with the help of which for the same compressed route of sailing, which includes the scopes of region of the safe sailing and programmatic trajectory of motion of ship, the calculation of authenticity of the safe wiring of ship was conducted by the compressed route with the help of both models, and the got results were compared. In work estimation of authenticity of the safe wiring of ship was conducted by the compressed route for five routes with different descriptions of conciseness of safe region and change of programmatic trajectory, and also exactness of wiring of ship. In quality an example in work resulted the detailed analysis of two routes.

As a result of comparison of the probabilities safe wiring of ship by the compressed route for five routes, got on both models appear that a middle relative difference between estimations of the probabilities safe wiring of ship on both models makes 0,3 %, that confirms legitimacy of estimation of authenticity of the safe wiring

of ship by the compressed route by a model with the use to the closeness of error of she lateral declination.

Keywords: navigation accident rate, closeness of distributing, estimation of probability of the safe wiring, imitation design.

РЕФЕРАТ

Приведені результати імітаційного моделювання оцінки вірогідності проводки судна стислим маршрутом з допомогою двох різних моделей, причому одна із них використовує двомірну щільність розподілу векторіальної похибки судна, а інша базується на одномірній щільності похибки його бокового відхилення. Здійснено порівняння одержаних значень вірогідностей і підтверджена правомірність використання оцінки вірогідності проводки судна по стислому маршруту більш простою моделлю з використанням одномірної щільності похибки його бокового відхилення.

Для першого способу оцінки вірогідності безаварійного плавання судна по вибраному маршруту використовується математична модель двомірної щільності розподілу векторіальної похибки судна та двомірний опис області безпечного плавання, причому проводку судна формалізовано, як марківський стохастичний процес. Другий спосіб оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим маршрутом формалізовано з допомогою моделі одномірній щільності похибки його бокового відхилення від програмної траєкторії руху та з використанням одномірного опису області безпечного плавання і програмної траєкторії руху судна, який характеризується стислістю області та зсувом траєкторії.

Для кожної із моделей була розроблена імітаційна програма, з допомогою яких для одного и того ж стислого маршруту плавання, який включає межі області безпечного плавання та програмну траєкторію руху судна, проводився розрахунок вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом з допомогою обох моделей, а одержані результати порівнювались. В роботі проводилась оцінка вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом для п'яти маршрутів з різними характеристиками стислості безпечної області та зсуву програмної траєкторії, а також точністю проводки судна. В якості прикладу в роботі приведені детальний аналіз двох маршрутів.

В результаті порівняння вірогідностей безпечної проводки судна стислим маршрутом для п'яти маршрутів, одержаних по обом моделям виявилось, що середня відносна різниця між оцінками вірогідностей безпечної проводки судна по обох моделях становить 0,3 %, що підтверджує правомірність оцінки вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом за допомогою моделі з використанням одномірній щільності похибки його бокового відхилення.

Ключові слова: навігаційна аварійність, одномірна та двомірна щільності похибки, вірогідності безпечної проводки, імітаційне моделювання.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Обеспечение безопасности судовождения в стесненных районах плавания является одной из наиболее актуальных проблем. Решение этой проблемы способствует снижению числа аварий, возникающих по причине посадок судов на мель и навалов на причал, чего возможно достичь анализом математической модели формирования вероятности безаварийного плавания судна по выбранному маршруту, который позволяет выявить существенные факторы и предупредить их отрицательное влияние на безопасность процесса судовождения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работах [1] и [2] впервые рассматривались вопросы по оценке надежности судовождения в узкости, когда судно следовало мимо точечных навигационных опасностей, а обоснованию критерия навигационной безопасности посвящена работа [3].

Два подхода к оценке вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе рассмотрены в работе [4] и показана их эквивалентность, а в работе [5] предложена количественная оценка навигационной безопасности поворота судна в стесненных условиях плавания, выраженная в вероятностной мере. Разработка процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах рассмотрена в работах [6, 7].

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является сравнение с помощью имитационного моделирования различных моделей оценки вероятности поводки судна стесненным маршрутом и доказательство их эквивалентности.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [4] получены два способа оценки вероятности безаварийного плавания судна по выбранному маршруту: применением математической модели двумерной плотностью распределения векториальной позиционной погрешности и с помощью модели с одномерной плотностью распределения бокового отклонения судна от программной траектории движения. Для каждой из моделей была разработана имитационная программа, с помощью которой для одного и того же маршрута плавания, включающего границы безопасной области плавания и программную траекторию движения судна, производился расчет вероятности безопасной поводки судна заданным маршрутом по обеим моделям и полученные результаты сравнивались. Обозначим вероятность, полученную по модели одномерной плотности, через P_1 , а по модели двумерной плотности – через P_2 . С помощью имитационной компьютерной программы вначале формировался стесненный маршрут плавания судна, для чего вводились массивы границ области безопасного плавания и программная

траектория плавания судна. Для выбранного маршрута выбиралось значение с.к.о. и принималось, что погрешности подчиняются нормальному закону распределения. Затем производился расчет оценки вероятности P_2 безопасной проводки судна.

С помощью разработанной компьютерной программы были определены одномерные характеристики выбранного стесненного маршрута, к которым относятся его стесненность и смещенность программной траектории, позволяющие произвести оценку вероятности безопасного плавания P_1 по одномерной модели.

Оценка вероятности безопасной проводки судна производилась по пяти маршрутам. В качестве примера приведем подробный анализ двух маршрутов. Вначале формировался маршрут 1, для которого выбиралось значение с.к.о. равное 5. Затем производился расчет оценки вероятности P_2 безопасной проводки судна стесненным маршрутом 1, что показано на рис. 1, при этом получено значение вероятности $P_2 = 0,484$.

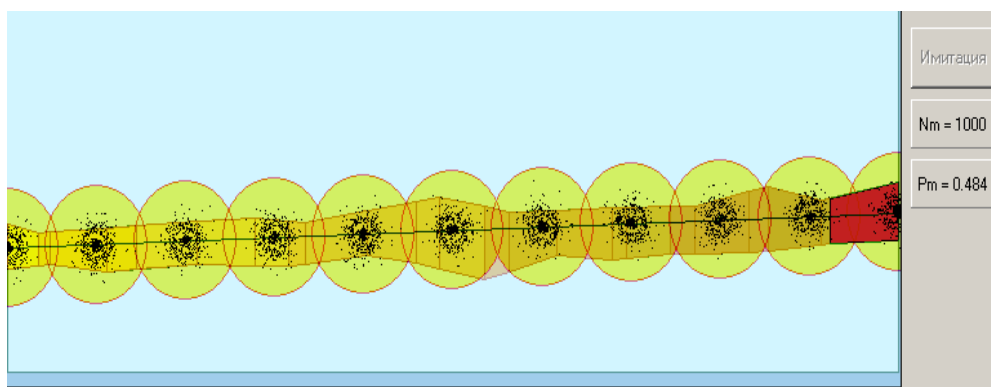


Рис. 1. Оценка вероятности P_2 проводки маршрутом 1

С помощью разработанной компьютерной программы были определены одномерные характеристики маршрута 1, которые позволили произвести точную оценку вероятности безопасного плавания P_1 по одномерной модели, причем, как следует из рис. 2, $P_1 = 0,487$. Значения вероятностей P_1 и P_2 проводки судна маршрутом 1 очень близки, - они практически равны.

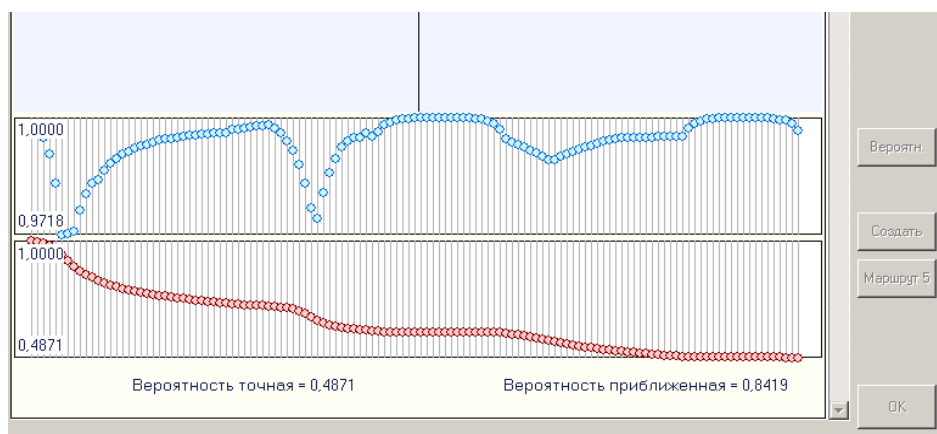


Рис. 2. Оценка вероятности P_1 проводки судна маршрутом 1

Также приведем подробную информацию по безопасности проводки судна маршрутом 3, особенностью которого является меньшая степень стесненности относительно прежних маршрутов. Для расчета вероятностей безопасной проводки судна по данному маршруту принималась точность $\sigma=4,3$. Вероятность P_2 , оценивалась моделью с двумерной плотностью векториальной погрешности и составила 0,982 (рис. 3). Альтернативная оценка безопасности плавания маршрутом 3 с помощью вероятности P_1 моделью одномерной плотности распределения погрешности бокового

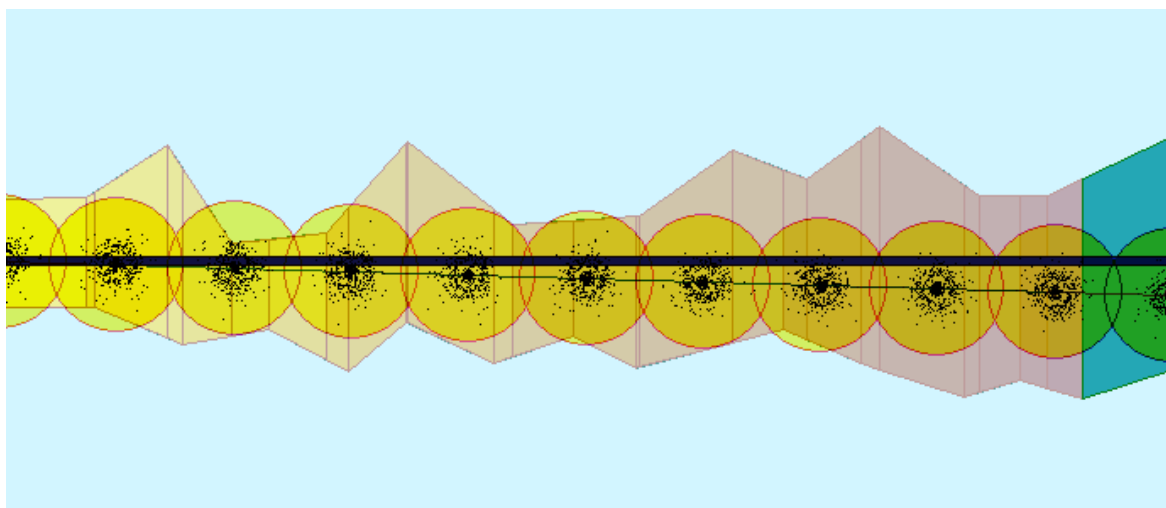


Рис. 3. Оценка вероятности P_2 при плавании судна маршрутом 3

отклонения, как показано на рис. 4, составила $P_1 = 0,9818$, которая практически совпадает с вероятностью P_2 для этого случая.

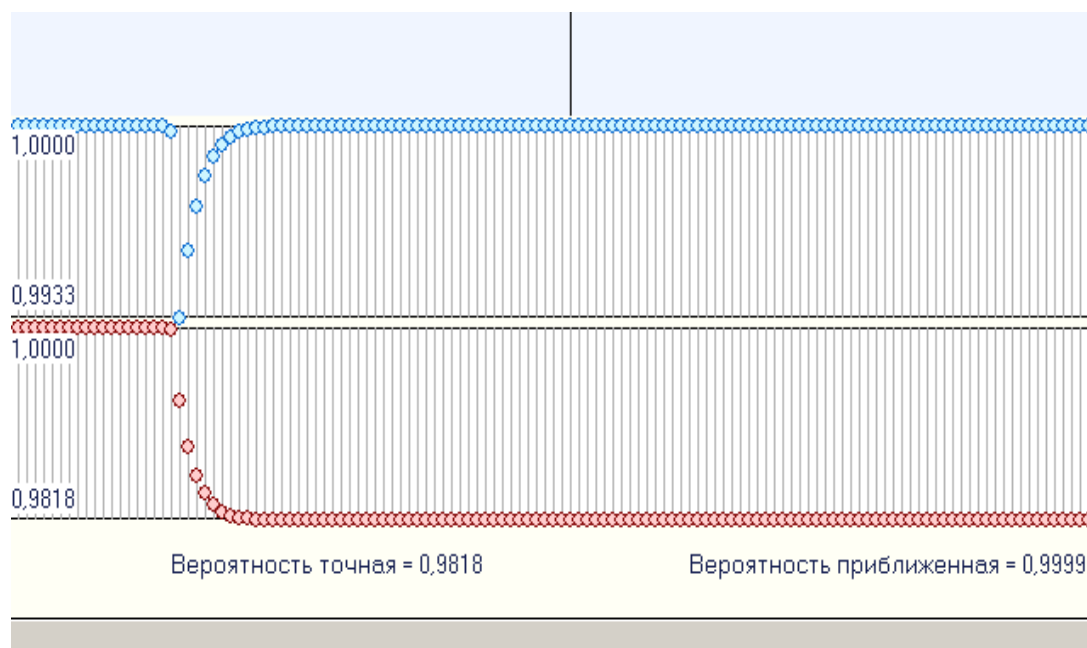


Рис. 4. Оценка вероятности P_1 безопасной проводки судна маршрутом 3

Обобщим полученные результаты оценки вероятности безопасной проводки судна по всем пяти маршрутам с помощью обеих моделей и представим их в табл. 1.

Таблица 1. Результаты оценки вероятности безопасной проводки судна

Маршрут	1	2	3	4	5
P_1	0,487	0,543	0,9818	0,9179	0,8149
P_2	0,484	0,546	0,982	0,916	0,817
δP (%)	0,6	0,5	0,02	0,2	0,3

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, как следует из табл. 1, средняя относительная разница δP между оценками вероятности проводки судна по обоим моделям составляет 0,3 %, что подтверждает правомерность оценки вероятности проводки судна по стесненному маршруту моделью с применением одномерной плотности распределения погрешности бокового отклонения. В дальнейшем целесообразно рассмотреть погрешности, возникающие от влияния других факторов и влияющие на безопасность судовождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т. Кондрашихин - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
2. Груздев Н.М. Оценка точности морского судовождения / Н.М. Груздев - М.: Транспорт, 1989. - 192 с.
3. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения/ Е.Ф. Мельник // Судовождение. - 2002. - № 5. - С. 65-73.
4. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе / И.И. Ворохобин., В.В. Северин, Ю.В. Казак // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 25. - Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 47-55.
5. Чапчай Е.П. Количественная оценка навигационной безопасности поворота судна в стесненных условиях плавания/ Е.П. Чапчай // Судовождение. - 2005. - № 10. - С. 148 - 152.
6. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ И.И. Ворохобин., В.В. Северин. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. - № 4. - С. 119 - 126.
7. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения / И.И. Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2015. - Вып. 21. Одесса: ОНМА. - С. 34-39.

УДК 656.61.052.484

**INFLUENCING OF LAW OF TRAFFIC CONTROL OF SHIP ON
COURSE ON EXACTNESS OF NAVIGATION****ВЛИЯНИЕ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА ПО
КУРСУ НА ТОЧНОСТЬ СУДОВОЖДЕНИЯ****V.E. Sikirin**, *senior lecturer***В.Е. Сикирин**, *старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

Differential equalization of the guided motion of ship is resulted on the angle of prowling. Depending on different types of management of ship equalization of change of angle of his prowling is got. It is shown that the lateral taking of ship depends on descriptions of moments of indignation, and also from frequency of own vibrations of ship after the angle of prowling and his coefficient of fading. Analytical expressions of maximal value of the lateral tearing down of ship are got at proportionally-differential and proportsyonal - integral - differential algorithm of management of ship.

In work differential equalization of motion of ship is resulted on the angle of prowling which is determined by the moment of inertia of ship and added the masses of water in relation to vertical to the landmark, by the hydrodynamic moment of resistance, moment from a helm and revolting moment.

The got differential equalization is heterogeneous linear with permanent coefficients, the common decision of which consists of decision of the proper homogeneous equalization and partial decision which is determined by right part of differential equalization.

Own attenuation vibrations of ship on the angle of prowling are the decision of the proper homogeneous equalization, the period of which depends from a moment inertia of ship in relation to vertical to the landmark, and also from a hydrodynamic coefficient and coefficient of feather of helm of ship.

The partial decision characterizes taking which is the sum of two constituents: taking of ship under action of permanent constituent of revolting moment and the forced oscillation of ship on the angle of prowling which arises up through the harmonic constituent of revolting moment. For indemnification of permanent displacement from the asymmetrical prowling an additional signal what proportional to the integral is entered in the law of management, and also a signal dependency upon angular speed of prowling is used. He diminishes amplitude of prowling of ship in relation to the programmatic course of ship.

In completion of the article dependence of exactness of realization by the ship of programmatic trajectory is considered on the law of traffic control of ship on a

course. It is shown that most exactness of maintenance of ship on the set trajectory is provided PID the law of management, so as warns appearance of permanent displacement and provides the minimum value of amplitude of prowling of the forced vibrations.

Keywords: safety of navigation, exactness of realization of program trajectory, law of management of motion of ship.

РЕФЕРАТ

Наведено диференційне рівняння керованого руху судна по куту рискання. Залежно від різних типів управління судна отримано рівняння зміни кута його рискання. Показано, що бічне знесення судна залежить від характеристик моментів збурення, а також від частоти власних коливань судна за кутом рискання і його коефіцієнту загасання. Отримано аналітичні вирази максимального значення бокового зносу судна при пропорційно-диференційному і пропорційно-інтегрально-диференційному алгоритму керування судна.

В роботі приведено диференційне рівняння руху судна по куту рискання, яке визначається моментом інерції судна і приєднаних мас води відносно вертикальної вісі, гідродинамічним моментом супротиву, моментом від керма та збурюючим моментом.

Одержане диференційне рівняння являється неоднорідним лінійним з постійними коефіцієнтами, загальне рішення якого складається з рішення відповідного однорідного рівняння та часткового розв'язку, який визначається правою частиною диференційного рівняння.

Рішенням відповідного однорідного рівняння являються власні затухаючі коливання судна по куту рискання, період яких залежить від моменту інерції судна відносно вертикальної вісі, а також від гідродинамічного коефіцієнта та коефіцієнта пера керма судна.

Частковий розв'язок характеризує знесення, яке являється сумою двох складових: знесення судна під дією постійної складової збурюючого моменту та вимушене коливання судна по куту рискання, яке виникає через гармонічну складову збурюючого моменту. Для компенсації постійного зміщення від несиметричних рискань в закон управління вводиться додатковий сигнал, який пропорційний інтегралу, а також використовується сигнал, залежний від кутової швидкості рискань. Він зменшує амплітуду рискань судна відносно програмного курсу судна.

В завершенні статті розглянуто залежність точності реалізації судном програмної траєкторії від закону управління рухом судна по курсу. Показано, що найбільшу точність утримання судна на заданій траєкторії забезпечується ПД законом управління, так як попереджує появу постійного зміщення і забезпечує мінімальне значення амплітуди рискання вимушених коливань.

Ключові слова: безпека судноводіння, точність реалізації програмної траєкторії, закони управління руху судна.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах повышает безопасность судовождения. Решению этой проблемы способствует повышение точности реализации судном программной траектории движения, причем точность в определяющей мере зависит от закона управления движения судна по курсу. Поэтому следует исследовать влияние закона управления движения судна по курсу на точность реализации судном программной траектории, чему посвящена данная статья.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Как указывается в работе [1], в настоящее время производится разработка информационной системы имитационного моделирования движения судов со сложными динамическими моделями, в зависимости от угла кладки руля и оборотов двигателя. Данная система позволит обеспечить новый тип планирования маневров судна и контроль реализации заданного маневра. Предусмотрено в процессе маневрирования отображать заданные маневры одновременно с фактическим движением судна и с индикацией прогнозируемой траекторией, которая определяется реальными входными данными от датчиков судна.

Работа [2] посвящена вопросам идентификации судовых моделей маневрирования, которые являются ключом к исследованию маневренности судна, проектированию систем управления движением судов и развитию систем управления судовыми тренажерами. В данной работе на основе анализа гидродинамики судна сформирована нелинейная модель маневрирования судна.

В работе [3] автор рассматривает интеллектуальную систему прогнозирования движения судна, которая имитирует процесс обучения автономного блока управления, созданного с помощью искусственной нейронной сети. Блок управления наблюдает входные сигналы и вычисляет значения требуемых параметров маневрирования судна в стесненных водах. Основной задачей системы является непрерывный контроль навигационных параметров судна и прогноз их значений после определенного интервала времени.

Формулировка целей статьи

Целью статьи является исследование зависимости точности движения судна программной траекторией от закона управления движения судна по курсу.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В первом приближении дифференциальное уравнение движения судна по углу рыскания ψ имеет вид:

$$I_z \ddot{\psi} + C_1 \dot{\psi} + C_2 \beta = L, \quad (1)$$

где I_z - момент инерции судна и присоединенных масс воды относительно вертикальной оси;

C_1 - гидродинамическая характеристика судна;

C_2 - гидродинамическая характеристика руля;

L - возмущающий момент.

Возмущающий момент L является суммой двух составляющих: постоянной L_c и гармонической L_p , т. е.:

$$L = L_c + L_p = L_c + L_{p0} \sin \omega_p t,$$

где L_{p0} и ω_p - соответственно амплитудное значение гармонической составляющей и круговая частота ее изменения.

С учетом этого дифференциальное уравнение (1) принимает вид:

$$I_z \ddot{\psi} + C_1 \dot{\psi} + C_2 \beta = L_c + L_{p0} \sin \omega_p t.$$

Разделяя на коэффициент при старшей производной в данном уравнении, получим:

$$\ddot{\psi} + \frac{C_1}{I_z} \dot{\psi} + \frac{C_2}{I_z} \beta = \frac{L_c}{I_z} + \frac{L_{p0}}{I_z} \sin \omega_p t. \quad (2)$$

Угол кладки руля β зависит от закона управления судном. В случае пропорционального закона управления угол β линейно зависит от угла рыскания судна ψ , т. е. $\beta = \frac{k_1}{k_4} \psi$, где k_1 и k_4 - коэффициенты.

В этом случае уравнение (2) принимает вид:

$$\ddot{\psi} + 2\nu_\theta \dot{\psi} + \omega_o^2 \psi = \frac{L_c}{I_z} + \frac{L_{p0}}{I_z} \sin \omega_p t, \quad (3)$$

где $\nu_\theta = \frac{C_1}{2I_z}$ - коэффициент затухания;

$\omega_o^2 = \frac{C_2 k_1}{I_z k_4}$ - собственная частота судна при рыскании.

Дифференциальное уравнение (3) является неоднородным линейным с постоянными коэффициентами. Найдем решение дифференциального уравнения (3), которое описывает рыскание судна. Согласно [4] решение будем искать в следующей форме:

$$\psi = \psi_{ob} + \psi_r, \quad (4)$$

где ψ_{ob} - решение соответствующего (3) однородного уравнения;

ψ_r - частное решение, определяющееся правой частью уравнения (3).

Найдем частное решение ψ_r дифференциального уравнения (3), которое описывает движение судна при действии возмущающего момента L . Учитывая

структуру возмущающего момента L , согласно [4] частное решение будем искать в следующей форме:

$$\psi_r = P_0 + P_1 \sin \omega_p t + P_2 \cos \omega_p t, \quad (5)$$

где требуется определить неизвестные коэффициенты P_0 , P_1 и P_2 .

Для этого необходимо найти первую и вторую производные угла рыскания ψ и подставить их в уравнение (3), после чего получим:

$$\begin{aligned} & -P_1 \omega_p^2 \sin \omega_p t - P_2 \omega_p^2 \cos \omega_p t + 2v_\theta (P_1 \omega_p \cos \omega_p t - P_2 \omega_p \sin \omega_p t) + \\ & + \omega_0^2 (P_0 + P_1 \sin \omega_p t + P_2 \cos \omega_p t) = \frac{L_c}{I_z} + \frac{L_{po}}{I_z} \sin \omega_p t \end{aligned}$$

Группируем члены в левой части уравнения:

$$\begin{aligned} & (-P_1 \omega_p^2 - 2v_\theta P_2 \omega_p + \omega_0^2 P_1) \sin \omega_p t + (-P_2 \omega_p^2 + 2v_\theta P_1 \omega_p + \omega_0^2 P_2) \cos \omega_p t + \omega_0^2 P_0 = \\ & = \frac{L_c}{I_z} + \frac{L_{po}}{I_z} \sin \omega_p t. \end{aligned}$$

Методом неопределенных коэффициентов [4] находим значения P_0 , P_1 и P_2 :

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{L_c}{I_z \omega_0^2}; \\ P_1 &= \frac{L_{po} (\omega_0^2 - \omega_p^2)}{I_z [(\omega_0^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_\theta^2 \omega_p^2]}; \\ P_2 &= -\frac{L_{po} 2v_\theta \omega_p}{I_z [(\omega_0^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_\theta^2 \omega_p^2]}. \end{aligned}$$

Подставляем полученные значения коэффициентов P_0 , P_1 и P_2 в выражение (5) и получим искомое выражение для угла рыскания:

$$\psi_r = \frac{L_c}{I_z \omega_0^2} + \frac{L_{po} (\omega_0^2 - \omega_p^2)}{I_z [(\omega_0^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_\theta^2 \omega_p^2]} \sin \omega_p t - \frac{L_{po} 2v_\theta \omega_p}{I_z [(\omega_0^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_\theta^2 \omega_p^2]} \cos \omega_p t.$$

Преобразуем это выражение, используя амплитудно-фазовое преобразование:

$$\psi_r = \frac{L_c}{I_z \omega_0^2} + \frac{L_{po}}{I_z [(\omega_0^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_\theta^2 \omega_p^2]^{1/2}} \sin(\omega_p t - \alpha),$$

где $\alpha = \arctg \frac{2v_\theta \omega_p}{\omega_0^2 - \omega_p^2}$.

Обозначим $\psi_{ro} = \frac{L_{po}}{I_z[(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4\nu_\theta^2 \omega_p^2]^{1/2}}$ - амплитудное значение угла

рыскания от воздействия гармонической составляющей возмущающего момента и окончательно получим:

$$\psi_r = \psi_{rc} + \psi_{ro} \sin(\omega_p t - \alpha),$$

где $\psi_{rc} = \frac{L_c}{I_z \omega_o^2}$ - постоянный угол рыскания, вызываемый постоянной

составляющей возмущающего момента.

С учетом решения соответствующего однородного уравнения:

$$\psi_{ob} = \exp(-\nu_\theta t)[A_1 \sin \omega_d t + A_2 \cos \omega_d t]$$

общее решение дифференциального уравнения (3) принимает вид:

$$\psi = \exp(-\nu_\theta t)[A_1 \sin \omega_d t + A_2 \cos \omega_d t] + \psi_r = \quad (6)$$

$$= \exp(-\nu_\theta t)[A_1 \sin \omega_d t + A_2 \cos \omega_d t] + \psi_{rc} + \psi_{ro} \sin(\omega_p t - \alpha),$$

где A_1, A_2 - постоянные интегрирования, зависящие от начальных условий.

Анализ общего решения (6) показывает, что при пропорциональном законе управления собственные затухающие колебания судна по углу рыскания дополнены гармоническими вынужденными колебаниями с частотой качки, причем имеется постоянный угол рыскания, который возникает от несимметричных рысканий в случае наличия постоянного возмущающего момента. При движении судна его рыскание относительно программной траектории движения вызывает боковое смещение судна d , которое определяется ортогональной относительно программной траектории составляющей скорости судна, возникающей из-за его рысканий, т. е. $V \sin \psi$. Очевидно, что величина текущего значения бокового смещения d определяется выражением:

$$d = \int_0^t V \sin \psi d\tau.$$

Учитывая, что амплитудные значения углов рыскания судов в реальных условиях эксплуатации, как правило, не превосходят $5-7^\circ$, то $\sin \psi$ можно заменить самим углом ψ в радианной мере. Поэтому:

$$d = V \int_0^t \psi d\tau,$$

где угол рыскания ψ определяется выражением (6).

В свою очередь, выражение (6) можно записать в более удобном виде:

$$\psi = \exp(-\nu_\theta t) A \sin(\omega_d t - \beta) + \psi_{rc} + \psi_{ro} \sin(\omega_p t - \alpha),$$

где $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$, $\beta = \text{arctg} \frac{A_2}{A_1}$.

Следовательно, выражение для бокового смещения судна d :

$$d = V \left[A \int_0^t \exp(-v_\theta \tau) \sin(\omega_d \tau - \beta) d\tau + \psi_{rc} \int_0^t d\tau + \psi_{ro} \int_0^t \sin(\omega_p \tau - \alpha) d\tau \right]. \quad (7)$$

После интегрирования выражения (7) получим:

$$d = V \left\{ A \left(\frac{\omega_d}{\omega_d^2 + v_\theta^2} \right) \left\{ \cos \beta - \frac{v_\theta}{\omega_d} \sin \beta - \exp(-v_\theta t) [\cos(\omega_d t - \beta) + \frac{v_\theta}{\omega_d} \sin(\omega_d t - \beta)] \right\} + \psi_{rc} t + \psi_{ro} \frac{1}{\omega_p} [\cos \alpha - \cos(\omega_p t - \alpha)] \right\}.$$

Обращаем внимание, что величина сноса d является суммой трех составляющих: собственные затухающие колебания судна по углу рыскания, растущий снос судна под действием постоянной слагаемой возмущающего момента и вынужденное колебание судна по углу рыскания, вызванное гармонической слагаемой возмущающего момента. Отметим, что величина d определяется влиянием возмущающего момента, т. е. второй и третьей составляющими, в то время, как первой составляющей в первом приближении можно пренебречь. Поэтому для пропорционального закона управления снос d_1 выражается следующим образом:

$$d_1 = V \left\{ \psi_{rc} t + \psi_{ro} \frac{1}{\omega_p} [\cos \alpha - \cos(\omega_p t - \alpha)] \right\}, \text{ или}$$

$$d_1 = V \left\{ \frac{L_c}{I_z \omega_o^2} t + \frac{L_{po}}{I_z \omega_p [(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_\theta^2 \omega_p^2]^{1/2}} [\cos \alpha - \cos(\omega_p t - \alpha)] \right\}. \quad (8)$$

Для компенсации постоянного смещения от несимметричных рысканий в закон управления включается дополнительный сигнал, пропорциональный интегралу, а также используется сигнал, зависящий от угловой скорости рысканий.

В случае пропорционально-дифференциального закона управления угол кладки руля $\beta = \frac{k_1}{k_4} \psi + \frac{k_2}{k_4} \dot{\psi}$ и уравнение (2) принимает вид:

$$\ddot{\psi} + 2v_{\theta 1} \dot{\psi} + \omega_o^2 \psi = \frac{L_c}{I_z} + \frac{L_{po}}{I_z} \sin \omega_p t,$$

где $v_{\theta 1} = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1}{I_z} + \frac{C_2 k_2}{I_z k_4} \right)$ – коэффициент затухания.

В случае реализации ПИД закона управления снос d_2 имеет только гармоническую составляющую с частотой рыскания:

$$d_2 = \psi_{ro1} \frac{V}{\omega_p} [\cos \alpha - \cos(\omega_p t - \alpha)],$$

где $\psi_{ro1} = \frac{L_{po}}{I_z \omega_p [(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_{\theta 1}^2 \omega_p^2]^{1/2}}$.

Максимальное значение $d_{2\max}$ сноса d_2 , вызванного гармонической составляющей возмущающего момента имеет вид:

$$d_{2\max} = \frac{L_{po}}{I_z \omega_p [(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_{\theta 1}^2 \omega_p^2]^{1/2}} \frac{V}{\omega_p} \left\{ 1 + \frac{(\omega_o^2 - \omega_p^2)}{[(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_{\theta 1}^2 \omega_p^2]^{1/2}} \right\}.$$

В свою очередь, максимальное значение $d_{1\max}$ сноса d_1 (8), вызванного гармонической составляющей возмущающего момента при пропорциональном законе управления:

$$d_{1\max} = \frac{L_{po}}{I_z \omega_p [(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_{\theta}^2 \omega_p^2]^{1/2}} \frac{V}{\omega_p} \left\{ 1 + \frac{(\omega_o^2 - \omega_p^2)}{[(\omega_o^2 - \omega_p^2)^2 + 4v_{\theta}^2 \omega_p^2]^{1/2}} \right\}.$$

Выражения для максимальных сносов $d_{1\max}$ и $d_{2\max}$ отличаются значениями коэффициентов затухания $v_{\theta 1}$ и v_{θ} , причем:

$$v_{\theta 1} = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1}{I_z} + \frac{C_2 k_2}{I_z k_4} \right) \text{ и } v_{\theta} = \frac{C_1}{2I_z}.$$

Очевидно, что $v_{\theta 1} > v_{\theta}$ и, следовательно, $d_{1\max} > d_{2\max}$.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, наиболее приемлемым является ПИД закон управления, так как предупреждает появление постоянного смещения и обеспечивает минимальное значение максимальной амплитуды d_{\max} рысканий вынужденных колебаний. В дальнейшем целесообразно исследовать влияние стохастических факторов на точность проводки судна программой траекторией.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Benedict. Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring – a New Method for Advanced Ship Handling/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub, M. Baldauf, S. Klaes// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 8, № 1, page 131-141, 2014.
2. C.J. Shi. Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended Kalman Filters/ C.J. Shi, D. Zhao, J. Peng, C. Shen// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, page 105-110, 2009.
3. M. Ljacki. Intelligent Prediction of Ship Maneuvering / M. Ljacki // International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 3, page 511-516, 2016.
4. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Пискунов Н. С. – М.: Наука, 1985. - 560 с.

УДК 656.61.052.484+629.5.072.4

**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**

V. Sokolenko, *graduate student*, **S.E. Maltsev**, *junior researcher*, **A.S. Maltsev**,
DSc, professor

В.И. Соколенко, *аспирант*, **С.Е. Мальцев**, *мл. научн. сотр.*, **А.С. Мальцев**,
д.т.н., проф.

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine.

ABSTRACT

Purpose: The implementation of naval operations for maneuvering vessels in constrained conditions is accompanied by external disturbances. In order to maintain the high operational characteristics of the control system in such difficult conditions is necessary to approach, the introduction of navigation support with decision-making devices. Unlike the applied overview-comparative method of traffic control, the use of navigation devices requires the automation of information processing processes and the adoption of decisions on the management of the vessel coming from their results. The creation of such systems requires further study of the maneuvering process and development of modern navigation devices.

Methods: One of the modern approaches to solving the problem is the creation of information support about the parameters of its condition, which are currently absent. Among such parameters is the information about the coordinates of the center of gravity. The method of solving such a problem is the synthesis of algorithms and calculation schemes for determining the coordinates of the center of gravity by the position of the satellite antenna.

Results: An algorithm is developed and a block diagram of the navigation device for calculating the corrections of the antenna coordinates for recalculation to the center of gravity of the vessel. The results of modeling can be used to designate a valid permissible distance of the shortest approach and to create an automated warning device for embankment.

Conclusions: The effectiveness of the proposed approach is confirmed by computational verification in full-scale conditions. The computational experiment performed showed its correctness when compared with the results of the full-scale experiment. The obtained results can be used on sea-going vessels to create navigation devices for information support for maneuvering and for training in maritime educational institutions.

Key words: algorithm for calculating corrections; high-precision coordinates of the center of gravity; decision support system; computational experiment; synthesis of the information system.

РЕФЕРАТ

Мета. Виконання морських операцій по маневруванню суден в умовах обмеженого простору супроводжується дією зовнішніх збурень і для збереження високих експлуатаційних характеристик системи управління в таких складних умовах необхідно використовувати підхід, заснований на впровадженні навігаційних пристроїв підтримки прийняття рішення. На відміну від використовуваного оглядово - порівняльного способу управління рухом, використання навігаційних пристроїв вимагає автоматизації процесів обробки інформації та прийняття за їх результатами рішень з управління судном. Створення таких систем вимагає подальшого дослідження процесу маневрування і розробки сучасних навігаційних пристроїв.

Методи. Одним із сучасних підходів до вирішення проблеми є створення інформаційного забезпечення про параметри його стану, які в даний час відсутні. Серед таких параметрів є інформація про координати центру ваги. Методом вирішення такого завдання є синтез алгоритмів і розрахункових схем визначення координат ЦТ по положенню супутникової антени.

Результати. Розроблено алгоритм і блок-схема навігаційного пристрою розрахунку поправок координат антени для перерахунку на центр ваги судна. Результати моделювання можуть бути використані для призначення обґрунтованої допустимої дистанції найкоротшого зближення і створення автоматизованого пристрою попередження посадки на міліну.

Висновки. Ефективність запропонованого підходу підтверджується розрахунковою перевіркою в натурних умовах. Виконаний обчислювальний експеримент показав його коректність при порівнянні з результатами натурального експерименту. Отримані результати можуть бути використані на морських судах для створення навігаційних пристроїв інформаційного забезпечення маневрування і при навчанні в морських навчальних закладах.

Ключові слова: алгоритм розрахунку поправок; високоточні координати центру ваги; система підтримки прийняття рішення; обчислювальний експеримент; синтез інформаційної системи.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

Широкое внедрение информационных технологий обеспечения безопасности судоходства для целей маневрирования морского судна коренным образом изменило условия работы судоводителя. Это позволило меньшим количеством команды мостика крупнотоннажного судна эффективно и безопасно управлять его маневрированием. При этом используются современные навигационные устройства, которые позволяют обеспечивать информационную поддержку принятия решения при управлении процессом

движения судна по маршруту перехода. Наиболее эффективной судовой навигационной системой, которая изменила характер работы штурманского состава, является навигационная – информационная с электронной картой (ECDIS). Она позволяет кроме обычных функций бумажной карты обеспечить значительные преимущества по выполнению отдельных элементов штурманской работы по планированию безопасного маршрута перехода и функций поддержки принятия решения при управлении его движением и маневрированием.

Несмотря на значительное количество уже имеющихся функций развитие ECDIS продолжается. Оно происходит по направлению повышения точности планируемых навигационных задач и обеспечение параметрами о процессе управления морскими операциями, которые в настоящее время отсутствуют. Такая необходимость возникает при навигационном высокоточном планировании траектории в стесненных условиях при заходе в порт, швартовке и выходе из него, постановке на якорь и ряд других. Остановимся на двух задачах, которые требуют решения. При определении места судна спутниковыми системами получают координаты антенны приемника. При управлении и расхождении судов в стесненных условиях их положение принимается как материальная точка, находящаяся в центре тяжести, принимаемого на пересечении ДП и мидель шпангоута. При планировании траектории и управлении движением в таких условиях различие в координатах антенны и центра тяжести сказывается на безопасности. При этом поправка пересчета обладает свойством изменяться при маневрировании. Возникает парадокс, когда точность определения места достигает радиальной СКП 3-5 м при длине судна 320 метров, а из-за различия координат поправка на порядок выше. По этой причине исследование этого вопроса является актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] изложены основные сведения о судовых навигационных системах (НИС) и используемых в их составе электронных картах. Отмечается, что основными функциями НИС является: планирование траектории перехода и управление движением; управление изображением карт; предупреждение столкновений судов; организация поиска и спасения на море и ряд других. Для выполнения таких функций НИС использует данные от всех судовых навигационных устройств: гирокомпаса, лага, эхолота, РЛС, транспондера АИС, приемников спутниковых и береговых навигационных систем. Отмечается, что несмотря на значительное количество выполняемых функций, НИС не обеспечивают достаточную точность и полноту информации, которая необходима для поддержки принятия решений при управлении движением и маневрированием.

В работе [2] рассмотрена хронология формирования способа использования информации о параметрах маневрирования вообще и влиянии положения полюса поворота (ПП) на процесс управления судном. В ней

показано, что значение абсциссы ПП определяет ширину маневренного смещения, поэтому он может быть использован для нормирования параметров поворотливости. Ограничение максимального значения абсциссы ПП на циркуляции фактически позволит нормировать значение ширины полосы движения судна в зависимости от его главных размеров.

Кроме того, отмечается особенность параметра $X_{пп}$, которая проявляется в том, что при повороте судна абсцисса ПП достигает значения, соответствующего установившейся циркуляции данной кривизны, еще в начале эволюционного периода. Это дает возможность принимать в расчетах геометрических параметров поворота судна значение $X_{пп}$ для установившейся циркуляции данного радиуса. Приведены формализованные модели определения параметров криволинейного движения. Однако расчетные схемы и алгоритмы создания навигационных устройств, для определения положения ПП, не разработаны.

В работе [3] предложено устройство для предупреждения посадки судна на мель, которое выполняет планирование высокоточных координат траектории движения центра тяжести судов. Затем определяются координаты места установки приемной антенны, и возникает необходимость пересчета координат на центр тяжести. Однако устройство пересчета координат не предложено. В дальнейшем отслеживается характер изменения положения судна относительно запланированных безопасных точек. Если отклонение происходит больше чем допустимое, то необходимо производить корректировку движения. Применение указанной модели позволит избежать аварий, которые обусловлены неточным управлением движением судна, при маневрировании в стесненных условиях.

В работе [4] рассмотрен личный практический опыт капитана по управлению процессом маневрирования морского судна в виде содержательных моделей выполнения различных морских операций. При этом используется обзорно сравнительный способ информационного обеспечения процесса маневрирования и метод проб и ошибок для приобретения практических навыков работы. Формализованные модели управления процессом маневрирования не приведены.

В работах [5, 6] приведены содержательные модели использования информации о положении ПП при лоцманской проводке и маневрировании в стесненных условиях. Описаны способы учета данных о параметрах маневрирования, при отдаче команд по управлению судном. Приведена методика приобретения знаний о процессе маневрирования и формирования практического навыка по управлению судном в стесненных условиях и при использовании вспомогательных средств, включая буксиры.

В работах [7-10] рассмотрены навигационные устройства и системы высокоточного планирования заданной траектории движения, а в работе [11] приведена компьютерная программа «Система высокоточного планирования пути перехода морского судна».

Однако поправки к широте и долготе для координат спутниковой антенны при пересчете на центр тяжести существенно больше погрешности

определения места. Это не позволяет построить высокоточную систему бокового отклонения судна в стесненных условиях.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Сохранение высоких эксплуатационных характеристик системы управления маневрированием в стесненных условиях плавания при ограниченной акватории для движения необходимо использовать высокоточные способы планирования траектории и определения положения центра тяжести судна. Поскольку существующие навигационные системы определяют положение судна в месте приемной антенны, то возникают погрешности, величина которых существенно больше точности определения места.

Для устранения указанного парадокса предлагается судно рассматривать в виде круга диаметром L_{\max} с центром тяжести на миделе. В этом случае возникает необходимость пересчета координат приемной спутниковой антенны на координаты центра тяжести (рис. 1). Необходимые сведения о L_{\max} и положении спутниковой антенны имеются в судовых документах.

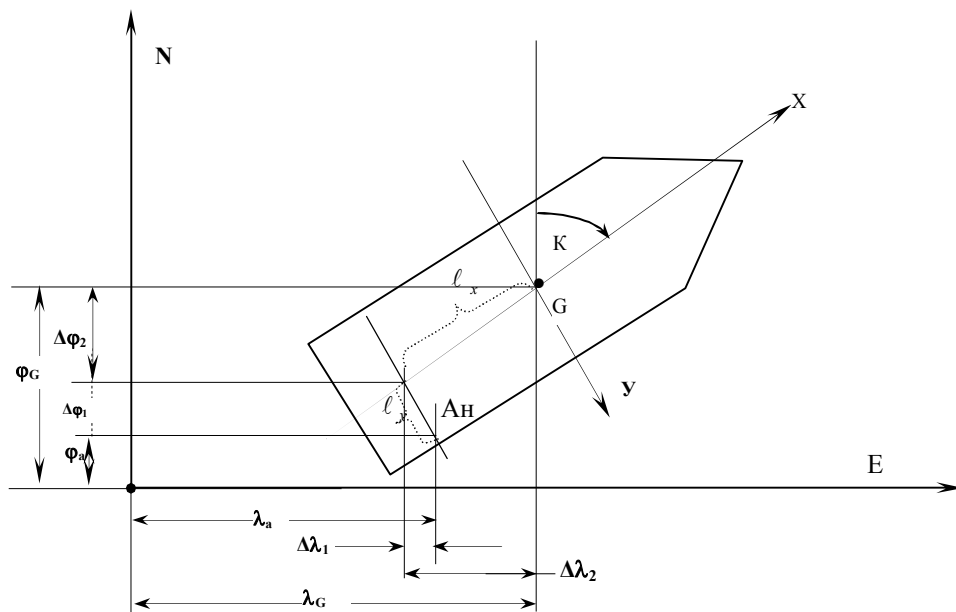


Рис. 1 Приведение обсервации к центру тяжести судна

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Выполненный нами геометрический анализ алгоритма пересчета и динамики изменения курса при маневрировании показал, что погрешность пересчета координат не остается постоянной. Она изменяется от места расположения спутниковой антенны по отношению к центру тяжести, географических координат и курса, которым следует судно.

Координаты центра тяжести ϕ_G и λ_G рассчитываются по определенным спутниковой системой данным ϕ_a и λ_a при курсе K в пределах $0^\circ \leq K \leq 90^\circ$, с

учетом рис.1, и при условии $\varphi_a \geq 0, \lambda_a \geq 0$, по следующим зависимостям:

$$\varphi_G = \varphi_a + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \varphi_a + \Delta\varphi_G \text{ и } \lambda_G = \lambda_a - \Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = \lambda_a + \Delta\lambda_G, \quad (1)$$

где $\Delta\lambda_1$ - проекция расстояния точки приема антенны A_n от диаметральной плоскости l_y на ось λ , в милях; $\Delta\lambda_2$ - проекция расстояния точки расположения антенны l_x от центра тяжести (ЦТ) по ДП на ось λ , в милях; $\Delta\varphi_1$ - проекция расстояния точки приема антенны A_n от диаметральной плоскости l_y на ось φ , в милях; $\Delta\varphi_2$ - проекция расстояния точки расположения антенны l_x от ЦТ по ДП на ось φ , в милях; $\Delta\lambda_G$ и $\Delta\varphi_G$ - поправки координат ЦТ.

В развернутом виде уравнение (1) можно написать так:

$$\Delta\lambda_1 = l_y \cdot \cos K; \Delta\lambda_2 = l_x \cdot \sin K \quad (2)$$

$$\Delta\varphi_1 = l_y \cdot \sin K; \Delta\varphi_2 = l_x \cdot \cos K \quad (3)$$

Тогда, после подстановки (2) и (3) в (1) получим

$$\lambda_G = \lambda_a - l_y \cdot \cos K + l_x \cdot \sin K \quad (4)$$

$$\varphi_G = \varphi_a + l_y \cdot \sin K + l_x \cdot \cos K \quad (5)$$

Положение спутниковой антенны в судовом формуляре описывается проекциями места расположения антенны l_{ym} в метрах на судовую ось E и l_{xm} на ось N . При этом положительное значение проекции принято по оси Y со знаком плюс в сторону правого борта от центра тяжести и по оси X в сторону носа. Возможны четыре случая расположения антенны по отношению к центру тяжести: в сторону носа с правого борта; в сторону носа с левого борта; в сторону кормы с правого борта; в сторону кормы с левого борта. С учетом географических координат возможны 64 расчетных схемы, детальная блок-схема алгоритма которых, для случая рис. 1 расположения антенны справа по корме, при условии $\varphi_a \geq 0, \lambda_a \geq 0$ приведена на рис.2.

Исходными данными для пересчета координат будут:

1. Курс судна K в градусах;
2. Географическая широта приемной антенны φ_a ;
3. Географическая долгота приемной антенны λ_a ;
4. Координата проекции места антенны l_y на судовую ось Y , в милях.

Если в судовых документах приведены в м, то переводят в мили, $l_y = l_{ym} / 1852$;

5. Координата проекции места антенны l_x на судовую ось X в милях.

Если в судовых документах приведены в м, то переводят в мили, $l_x = l_{xm} / 1852$;

Расположение антенны относительно центра G на миделе будет описываться знаком проекции: слева по корме будет $-l_x$ и $-l_y$; справа по корме будет $+l_x$ и $+l_y$; слева по носу будет $+l_x$ и $-l_y$; справа по носу будет $+l_x$ и $+l_y$.

С учетом отсутствия необходимости детализации для оставшихся трех четвертей Земной поверхности, расчетная схема упростится и примет вид, как

показано на рис.3.

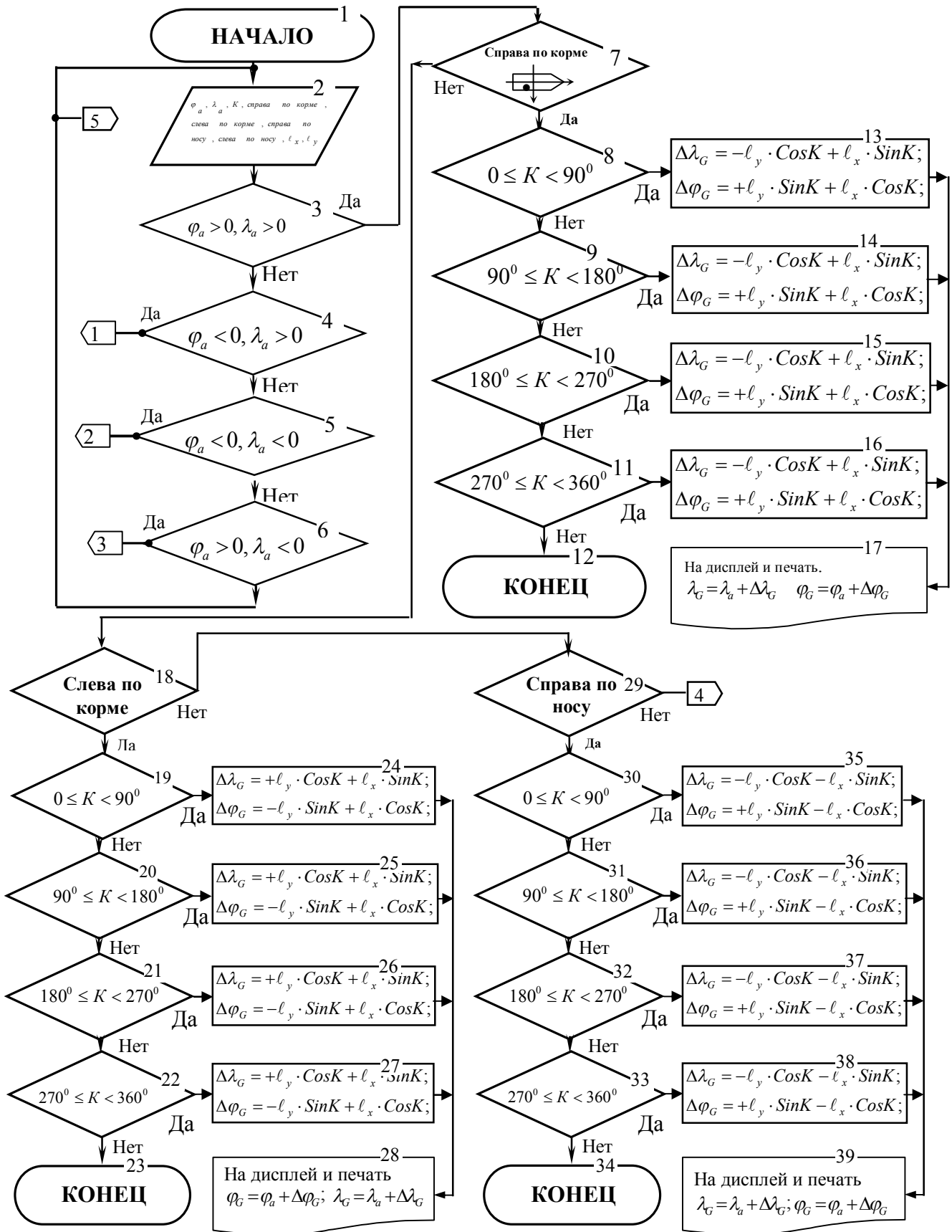
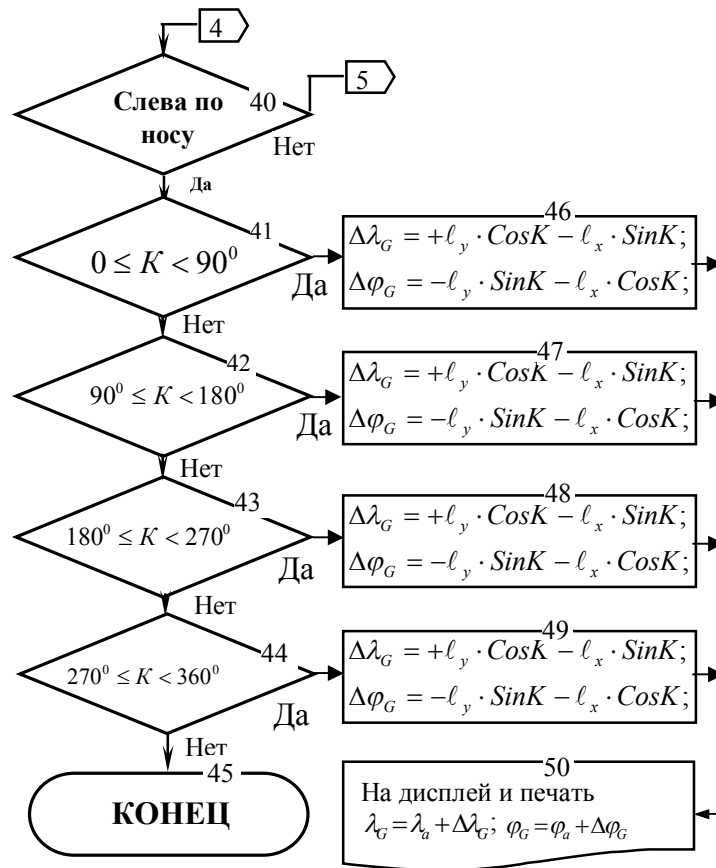


Рис. 2. Блок-схема алгоритма пересчета координат антенны на центр тяжести



Продолжение рис.2.

Приведенные расчетные схемы на рис.2 и 3 позволяют произвести расчет поправок для всех случаев пребывания судовой антенны, места пребывания судна и курса, которым оно следует. С учетом постоянного расположения спутниковой антенны объем вычислительной работы уменьшится в четыре раза до 16 вариантов для конкретного судна.

Другой особенностью поправок перерасчета на широту и долготу является тот факт, что их величина никогда не будет превышать половины длины судна. По этой причине сложение поправки необходимо производить с частью координат в минутах, расчет поправок производить до пятого знака минуты, а округление до четвертого. Для большей наглядности и проверки правильности работы программы приведем контрольный пример.

Пример. Определили место судна по спутниковой антенне:

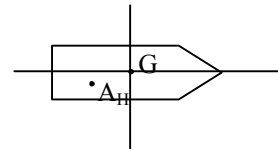
$$\varphi_a = 41^{\circ}25.3' N;$$

$$\lambda_a = 15^{\circ}21.5' E;$$

$$l_{xm} = 65 м; l_{ym} = 15 м; K = 30^{\circ}$$

$$\Rightarrow \varphi_G = ?$$

$$\lambda_G = ?$$



Антенна расположена справа по корме.

Дальнейший алгоритм пересчета следующий.

1. Произведем пересчет положения антенны на судне в мили:

$$l_y = l_{ym} / 1852 = 15 / 1852 = 0.0081 \text{ мили}; l_x = l_{xm} / 1852 = 65 / 1852 = 0.0351 \text{ мили}.$$

2. На рис.2 выберем блок 3, который соответствует условию $\varphi_a > 0, \lambda_a > 0$. По расположению антенны в блоке 7, и курсу в блоке 8, переходим к вычислению поправок в блоке 13 по формулам:

$$\Delta\lambda'_G = -l_y \cdot \cos K + l_x \cdot \sin K = -0.0081 \cdot \cos 30^\circ + 0.0351 \cdot \sin 30^\circ = 0.01054'$$

$$\Delta\varphi'_G = +l_y \cdot \sin K + l_x \cdot \cos K = 0.0081 \cdot \sin 30^\circ + 0.0351 \cdot \cos 30^\circ = 0.03525'$$

$$\varphi_G = 41^\circ 25.3' N + 0.03525' = 41^\circ 25.33525' N$$

$$\lambda_G = 15^\circ 21.5' E + 0.01054' = 15^\circ 21.51054' E$$

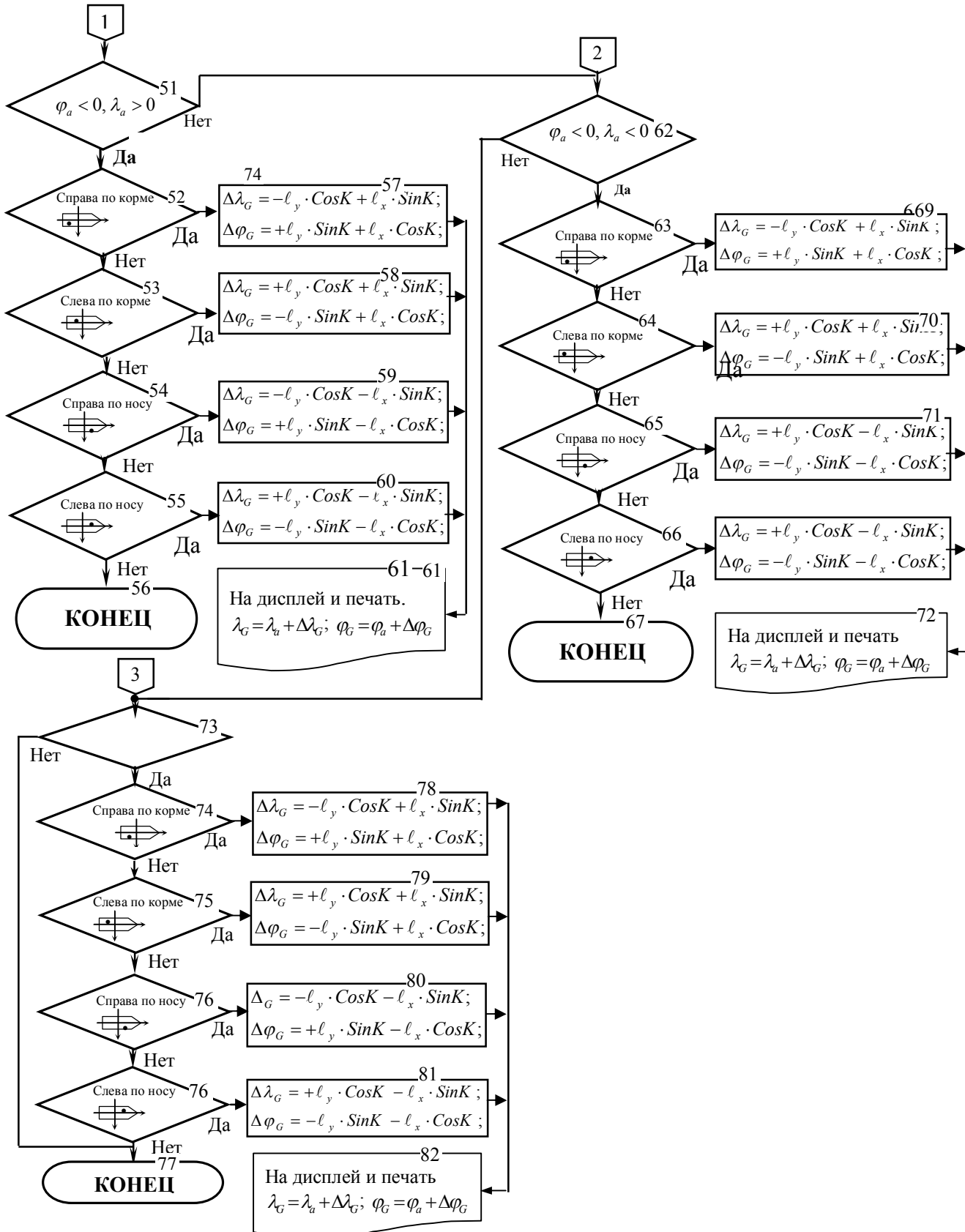


Рис.3. Блок-схема укрупненного алгоритма пересчета координат антенны

Полученные значения координат ЦТ используются при контроле движения судна в стесненных условиях и расхождении судов на небольших расстояниях, а также в автоматических системах предупреждения посадки судна на мель. При обосновании выдачи рекомендаций береговыми системами управления движением судов (СУДС) для принятия решения по расхождению необходимо представить судно как круг радиуса L_{\max} , при радиальной СКП оценки места $2 \cdot M_{\text{АИС}}$ судна в АИС и наследственных погрешностей $m_{D_{\text{кр АИС}}}$ расчета $D_{\text{кр}}$ (рис.4).

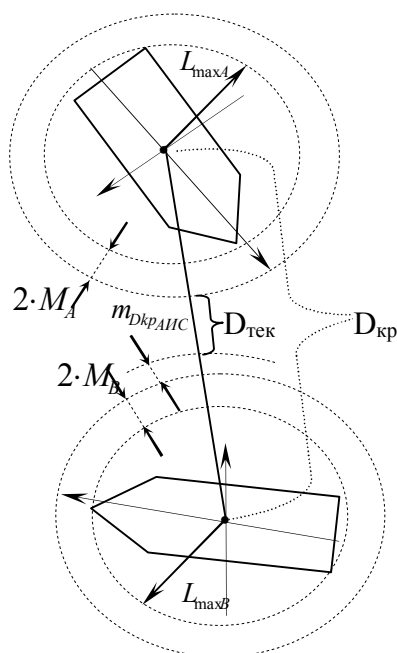


Рис. 4. Детализация наследственных ошибок от АИС

Для расчета допустимой дистанции кратчайшего сближения предлагается учитывать геометрические размеры судов, точность расчета параметров расхождения и относительный курс.

Как следует из рис.4 величина $D_{\text{зад АВ}}$ структурно представлена следующей зависимостью:

$$D_{\text{зад АВ}} = (L_{\text{maxA}}/2) + 2 \cdot M_A + m_{D_{\text{кр АИС}}} + (L_{\text{maxB}}/2) + 2 \cdot M_B + D_{\text{нз}}, \quad (6)$$

где $D_{\text{нз}}$ - величина навигационного запаса устанавливается в зависимости от ширины фарватера и в стесненных условиях составляет от 1 до 5 кбт. При расхождении в каналах она назначается в Обязательных постановлениях порта.

Составляющая $L_{\text{maxA}}/2$ принимает значение $B_{\text{сА}}/2$ при расхождении на параллельных курсах, когда акватории для маневрирования недостаточно. При расхождении пересекающимися курсами, ее величину следует принимать максимальной и равной $L_{\text{max}}/2$.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Составной частью выработки оптимальных решений в процессе управления движением судов в море являются расчеты, связанные с их маневрированием, которые необходимо решать в режиме реального времени. Увеличение числа современных судов, их водоизмещения и скоростей движения в водных акваториях при стесненных условиях плавания, требует ускорения процесса принятия решения по маневрированию, а в некоторых случаях экстренного выполнения маневра.

В сложившихся условиях перспективным направлением развития навигационного - управляющего оборудования становится создание интегрированных систем ориентации, навигации и принятия решения, обладающих высоким уровнем точности и автоматизацией выполняемых функций. При этом их возможности расширяются и могут дополняться

введением функций, связанных с поддержкой принятия решений по управлению судном.

Повышение точности определения места за счет пересчета координат позволит повысить безопасность расхождения судов за счет введения обоснованной допустимой дистанции сближения и создания автоматизированного устройства предупреждения посадки на мель. Выполнение расчетов вручную для предупреждения посадки на мель практически невозможно, а поправки пересчета координат на центр тяжести на порядок превышают погрешности определения места судна спутниковыми системами в дифференциальном режиме.

Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе морских учебных заведений и при создании навигационных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы/ Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко. - Одесса: НУ «ОМА», 2016. – 238.
2. Мальцев С.Э. Полюс поворота и его учет при маневрировании морского судна: монография/ С.Э.Мальцев, О.Н. Товстокорый. – Херсон. ХГМА, 2016. – 124 с.
3. Патент на корисну модель. Мальцев А.С., Ворохобін І.І., Соколенко В.І. Пристрій для попередження посадки судна на міліну. МПК (2011) G 08 G3/00. Рег. номер. U 2010 09828. Пріоритет від 10.03.2011 р.
4. Генри Г.Хойер. Управление судами при маневрировании. / Генри Г. Хойер. Перевод с английского. – М.: Транспорт, 1992 – 101 с.
5. G.Andy Chase. Sailing Vessel Handling and Seamanship-The Moving Pivot Point/ The Northern Mariner/Le Marin du nord, IX, No. 3 (July 1999), pp. 53-59.
6. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point/ The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.
7. 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.
8. Патент 97227 UA. МПК G08G 3/02 (2006.01), B63B 43/02 (2006.01). Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном. /Мальцев С.Е., Товстокорый О.М., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № u2014 07280; заявлено 27.06.2014; опубліковано 10.03.2015, Бюл. № 5.
9. Патент 98720 UA. МПК (2015.01) B63B 21/00 Система інформаційного забезпечення швартування танкера VLCC до моно буя. / Деревянко А.А., Мальцев С.Е. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2014

10883; заявлено 06.10.2014; опубліковано 12.05.2015, Бюл. № 9.

10. 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. - № и 2014 12711; заявлено 26.11.2014; опубліковано 27.07.2015, Бюл. № 14.
11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №68552. Комп'ютерна програма «Система високоточного планування шляху переходу морського судна»/ Мальцев А.С., Бень А.П., Терещенкова О.В., Соколенко В.І. Заявник Херсонська державна морська академія. Дата реєстрації 09.11.2016.

УДК 681.142.2

COMPUTER MODELING OF INDICATORS OF AN ESTIMATION OF EFFECTIVENESS OF INVESTMENT PROJECTS**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ**

V.B.Udolatiy¹ *assistant*, **A.E. Udolatiy**² *captain training manager*
В.Б. Удолатій¹ *асистент*, **А.Є. Удолатій**² *капітан-наставник*

¹*National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine*

²*MSC Crewing Services, Odessa, Ukraine*

ABSTRACT

Great importance is attached to the effective use of financial means in maritime transport. In this article, we will talk about mathematical modeling of optimal management of investment projects. Consider using the Matlab / Simulink software package to optimize financial management projects for shipping companies. The Matlab / Simulink complex is designed for the development and analysis of engineering applications. It can also be used to model and analyze the dynamics of economic and financial forecasts. Simulink is an application to Matlab and is an interactive tool for visual design and analysis of dynamic systems.

In the article one of the tasks of financial management is considered - computer modeling of indicators of efficiency evaluation of investment projects. Investment projects are characterized, as a rule, by a long interval of realization. Therefore, there is a problem of bringing cash flows (current or forecasted in the future) to monetary units of a certain period of time. In this case, the discounted value method is used, the essence of which is determined by the procedure for calculating compound interest.

For a quantitative analysis of the results of investment projects, the net present value method (Net Present Value-NPV) and the Profitability Index (PI) method are widely used based on the discount calculations of income and expenses associated with the project implementation and reduced to a certain point in time (usually to the beginning of the project).

As an example, consider the algorithm for calculating in the Matlab / Simulink environment the indicator of the investment project of the shipping company associated with the acquisition of a new vessel.

The article shows a model made up of sections of the Simulink library that implements the calculation of the Present Value indicator. The operation of the S_PV model is controlled from the file program (Script M-Files) of the Matlab package.

This article analyzes the possibility of using the interactive visual design tool Simulink to analyze the dynamics of economic and financial forecasts. The resulted results testify to expediency of application of program complex Matlab / Simulink for optimization of projects of financial management of the shipping companies.

Keywords: investment project, model, software complex Matlab / Simulink.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями

Для розвитку морського транспорту потрібні значні інвестиційні ресурси. Оптимальне управління інвестиційними процесами з використанням засобів математичного моделювання є актуальним завданням. Matlab - універсальний засіб вирішення широкого кола завдань в різних предметних областях. Simulink є додатком до Matlab і являє собою інтерактивний інструмент візуального проектування і аналізу динамічних систем. Simulink повністю інтегрований з пакетом MATLAB, що забезпечує швидкий доступ до інструментів аналізу і проектування останнього[1]. У той же час Simulink є самостійним інструментом в тому сенсі, що при роботі з ним не обов'язково знати сам Matlab. Ці переваги роблять Simulink найбільш популярним інструментом для проектування і аналізу систем управління, цифрової обробки даних і інших задач моделювання.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язування даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Комплекс Matlab/Simulink призначений для розробки і аналізу інженерних додатків. Він може бути також використаний для моделювання та аналізу динаміки економічних і фінансових прогнозів [2]. Інвестиційні проекти характеризуються, як правило, тривалим інтервалом реалізації. Тому виникає проблема приведення потоків грошових коштів (поточних або прогнозованих в майбутньому) до грошових одиниць певного періоду часу. У цьому випадку використовується метод приведеної вартості (метод дисконтування), суть якого визначається порядком нарахування складних відсотків.

Для кількісного аналізу результатів інвестиційних проектів широке застосування отримали метод *чистої теперішньої вартості (Net Present Value - NPV)* і метод розрахунку індексу прибутковості (*Profitability index - PI*), що базуються на дисконтних обчисленнях доходів і розходів, пов'язаних з реалізацією проекту і приведених до деякого моменту часу (зазвичай до початку проекту). Сучасна вартість *PV (Present Value)* очікуваних в майбутньому потоків грошових коштів визначається за виразом [2]:

$$\sum_{t=1}^T PV(CF_t) = \sum_{k=1}^T \frac{CF_t}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}, \quad (1)$$

де (*Cash Flow*) - потік грошових коштів протягом року *t* при реалізації проекту; *p* - процентна ставка; *T* - період реалізації проекту. Чиста сучасна вартість *NPV* і індекс прибутковості *PI* обчислюються за формулами [2] та [3]:

$$NPV = \sum_{t=1}^T PV(CF_t) - I_0. \quad (2) \quad PI = \frac{1}{I_0} \sum_{t=1}^T PV(CF_t). \quad (3)$$

I_0 - сума одноразових інвестицій у проект.

Формулювання мети статі (постановка задачі)

У статті розглядається одне із завдань фінансового менеджменту - комп'ютерне моделювання показників оцінки ефективності інвестиційних проектів. Як приклад розглянемо алгоритм розрахунку в середовищі Matlab/Simulink показника NPV інвестиційного проекту судноплавної компанії, пов'язаного з придбанням нового судна.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Судно купується за таких умов: вартість судна = 3 млн. дол. Період експлуатації судна 3 роки; потоки грошових коштів - 2 млн. дол. (1-й рік експлуатації судна); 1 млн. дол. (2-й і 3-й роки експлуатації судна); процентна ставка 10%. Такий варіант був розглянутий в роботі [3] і в результаті розрахунку було отримано - $NPV = 0,3959$ млн. дол. $\approx 0,4$ млн. дол..

На рис. 1 зображена модель S_PV (S -модель), на якій наведено блоки розділів бібліотеки Simulink, необхідні для реалізації обчислень показника за формулою (1).

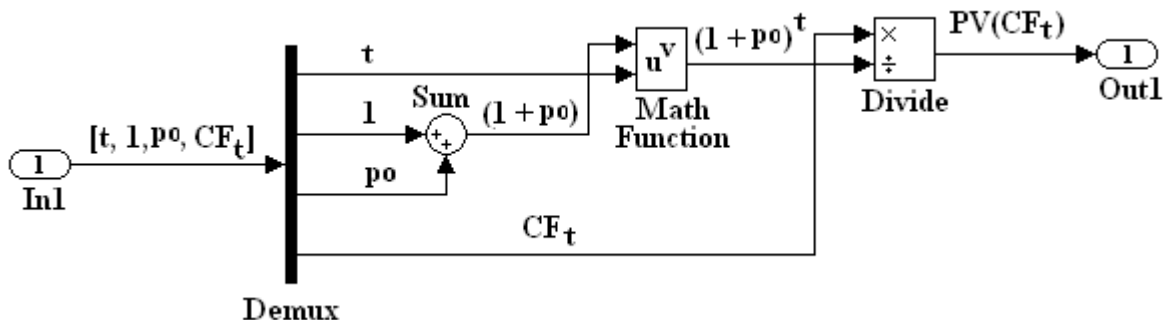


Рис. 1. Модель S_PV , що реалізує обчислення показника $PV(CF_t)$

Слід зазначити, що робочий простір (*Workspace*) Matlab завжди доступний для S -моделі і може бути використаний для обміну даними, організації питань щодо функціонування моделі і для візуалізації отриманої інформації [4]. Перед виконанням розрахунків слід встановити параметри моделі S_PV . Для цього у вікні моделі необхідно виконати команди *Simulation* \rightarrow *Configuration Parameters*. В однойменному вікні вибрати вкладку *Solver*. В поле *Type* вибрати *Fixed-Step*; в поле *Solver* вибрати *discrete (no continuous stats)*. В поле *Fixed-Step size* набрати 0.2. Інші параметри залишити без зміни. Вибрати вкладку *Data Input / Export*. Активувати поле *Input*, встановивши відповідний чек-бокс . В поле *Format* вибрати *Array*. Інші параметри залишити без зміни. Натиснути кнопку *Apply*, потім кнопку *OK*.

Характеристика блоків моделі S_PV .

Блок *In1* призначений для зчитування сигналів з робочої області в модель. Розмірність вхідного сигналу визначається автоматично. В даному випадку вхідний сигнал формується в робочому просторі Matlab і представляє вектор, що складається з чотирьох елементів: $u=[t, I, po, CF]$, де $po=p/100$.

Блок *Demux* розділяє вхідний векторний сигнал на окремі. Кількість виходів 4. Інші параметри прийняті за замовчуванням. Блок *Sum* виконує обчислення суми поточних сигналів. Параметри прийняті за замовчуванням.

Блок *Math Function* виконує обчислення заданої математичної функції, що реалізує зведення значення першого вхідного сигналу до рівня значення другого вхідного сигналу. Для реалізації цієї функції параметр *Function* слід вибрати рівним *pow*. Інші параметри прийняті за замовчуванням.

Блок *Divide* виконує ділення величини першого вхідного сигналу на величину другого вхідного сигналу. Параметри прийняті за замовчуванням.

Блок *Out1* призначений для створення вихідного порту для моделі, за допомогою якого в даному випадку в робочому просторі Matlab можна використовувати значення показника. Параметри прийняті за замовчуванням. Блоки *S_PV* моделі пов'язані сполучними лініями, над якими розташовані ідентифікатори переданих сигналів. Інших пояснень модель *S_PV* не вимагає.

Управління роботою моделі *S_PV* здійснюється з файл-програми (Script M-Files) Matlab. Нижче наведено код програми *SMF_PV*.

```
% Код програми SMF_PV
path(path,'C:\ModEkon\file_mdl') % шлях до папки з програмами
open_system('S_PV') % відкриття моделі S_PV
% початкові дані
i0=3;
p=0:2:20;
j=0;
for po=0:0.02:0.20 % цикл по процентній ставці
j=j+1; % допоміжний лічильник циклу
for t=1:3 % цикл по роках інвестиційного проекту
switch t
case 1
u=[t, 1, po, 2]; % вектор початкових даних для моделі
sim('S_PV') % запуск моделі S_PV на виконання
pv(1)=yout(1);
case 2
u=[t,1, po, 1]; % вектор початкових даних для моделі
sim('S_PV') % запуск моделі S_PV на виконання
pv(2)=yout(1);
case 3
u=[t,1, p°, 1]; % вектор початкових даних для моделі
sim('S_PV') % запуск моделі S_PV на виконання
pv(3)=yout(1);
end % кінець оператора switch
```

```

end % кінець циклу по роках
spv(j)=pv(1)+pv(2)+pv(3);
% обчислення показника NPV
npv(j)=spv(j)-i0;
% обчислення показника PI
pi(j)=spv(j)/i0;
end % кінець циклу по процентній ставці
plot(p,npv,'k'), grid % побудова графіка NPV (p)
title('Графік показника NPV')
xlabel('Відсоткова ставка p (%)') % підпис осі X
ylabel('Показник NPV (млн. дол.)') % підпис осі Y
figure(2)
plot(p,pi,'k'), grid % побудова графіка PI(p)
title('Графік показника PI')
xlabel('Відсоткова ставка p (%)') % підпис осі X
ylabel('Показник PI') % підпис осі Y
% Визначення показника IRR
syms x % необов'язковий оператор (визначає символні функції)
x=0:2:20
f=solve('-3+2*x+1*x^2+1*x^3','x');
f_x0=vpa(f,4); % символна функція, що виводить на екран дисплея чотири числа
коріня рівняння f(x) = 0
irr=vpa(((1/f_x0(1))-1),4)
% перевірка рівності нулю показника NPV при знайденому показнику IRR
npv=round(-3+2/(1+irr)+1/(1+irr)^2+ 1/(1+irr)^3)

```

Код програми *SMF_PV* забезпечений докладними коментарями і інших пояснень не потребує. На рис. 2 і 3 наведені графіки показників *NPV* і *PI* відповідно в залежності від відсоткової ставки, обчислені за формулами (2) і (3). З ростом процентної ставки показники *NPV* і *PI* монотонно зменшуються. Як видно з рис. 2, при 10% показник *NPV* $\approx 0,4$ млн. дол. (збігається з результатом, наведеним в роботі [3]).

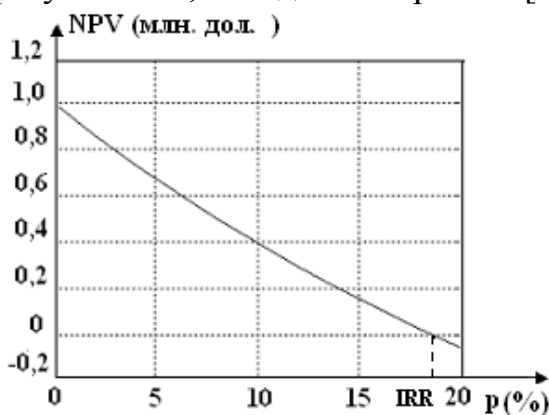


Рис. 2. Графік показника NPV

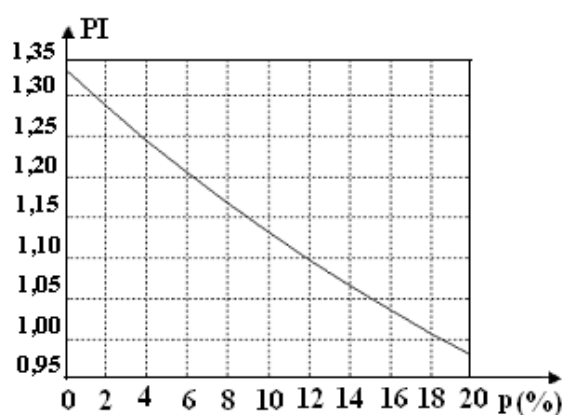


Рис. 3. Графік показника PI

Рис. 2 дозволяє встановити ще один показник - внутрішню норму прибутковості *IRR* (Internal Rate Of Return), що оцінює рівень ефективності

інвестиційного проекту. Як видно з рис. 2, показник *IRR* для аналізованого варіанта становить близько 18%. Більш точне обчислення показника *IRR* виконано за допомогою програми *SMF_PV* і склало 18,53% (розбіжність з результатом, наведеними в роботі [3] становить 2,9%). Показники *NPV*, *PI* і *IRR* застосовуються для комплексної оцінки ефективності інвестиційних проектів.

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Simulink є найбільш популярним інструментом для проектування і аналізу систем управління, цифрової обробки даних і інших задач моделювання. Він може бути також використаний для аналізу динаміки економічних і фінансових прогнозів. Наведені результати свідчать про доцільність застосування програмного комплексу Matlab/Simulink для оптимізації проектів фінансового менеджменту судноплавних компаній.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. МАТЛАБ 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
2. Цисарь И.Ф., Нейман В.Г. Компьютерное моделирование экономики. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. - 304 с.
3. Лапкина И.А., Павловская Л.А., Болдырева Т.В., Шутенко Т.И. Проектный анализ. Теоретические основы оценки проектов на морском транспорте. Учебн. Пособие / Под общ. ред. И.А. Лапкиной – Одесса: ОНМУ, 2008.- 315с.
4. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к. т. н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003.– 496 с.
5. Удолатий В.Б. Применение среды Scilab для решения задач финансового менеджмента / Матеріали науково-технічної конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», 26-28 березня 2014 р. Частина II– Одеса: ОНМА, 2014. – С. 124-126.

УДК 656.61.052

METHOD OF CHOICE OF MANOEUVRE OF DEVIATION OF SHIP FOR SAFE DIVERGENCE**СПОСОБ ВЫБОРА МАНЕВРА УКЛОНЕНИЯ СУДНА ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО РАСХОЖДЕНИЯ**

P.A. Chapchay, PhD, professor, M.S. Alekseychuk, PhD, professor
П.А. Чапчай, к.т.н., профессор, М.С. Алексейчук, к.т.н., профессор,

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

For the situations of rapprochement of ship with a target procedure of estimation of no unconcern of rapprochement is offered with the help of region of impermissible parameters of motion of ship. For a case, when speed of ship more small to speed of target, the method of determination of course of deviation of ship is considered for warning of possible collision. Shown realization of the offered procedure with the help of the computer program.

In the case when speed of ship more small to speed of target, procedure of choice of course of deviation of ship is offered for warning of collision with a target, using group of dangerous relative courses and all possible relative courses taking into account the relation of speeds of ship and target.

So as in this case absent synonymous dependence between relative and veritable courses, the great number of dangerous relative courses of deviation is determined at first, the graphic reflection of which is a region on a plane. If a point with the value of relative course of rapprochement is in a region, the situation of rapprochement is dangerous. In this case for the choice of optimum course of deviation it is needed to choose a relative course which answers the border of region, and then to define the proper veritable course of deviation. There are cases, when the scopes of region do not achieve the value of safe relative course of deviation, in such case it is required to change speed of ship, at which the values of safe relative course of deviation are within the limits of possible region

Offered realization of the developed procedure with the help of the computer program, thus the resulted examples of determination of course of deviation of ship at his rapprochement with a target. The operative and simplicity of estimation of no unconcern of rapprochement and choice of course of deviation of ship for warning of collision with a target with the help of region of impermissible parameters of motion of ship is shown. It is marked that it is expedient to use the offered computer variant of realization of the got procedure in the perspective navigation informative systems.

The examples of forming of region of impermissible parameters of motion of ship are resulted for the inflicted situation and determination with its help of estimation of no unconcern of rapprochement of ship with a target, and also choice of

course of deviation of ship for warning of collision with a target to the condition of its unchanging speed.

Keywords: safety of navigation, warning of collision of vessels, region of impermissible parameters, estimation of danger of rapprochement, divergence by the change of course.

РЕФЕРАТ

Для ситуацій зближення судна з ціллю запропоновано процедуру оцінки небезпечності зближення з допомогою області недопустимих параметрів руху судна. Для випадку, коли швидкість судна менша швидкості цілі, розглянуто спосіб визначення курсу ухилення судна для попередження можливого зіткнення. Показана реалізація запропонованої процедури з допомогою комп'ютерної програми.

В разі коли швидкість судна менша швидкості цілі, запропоновано процедуру вибору курсу ухилення судна для попередження зіткнення з ціллю, використовуючи підмножину небезпечних відносних курсів і всіх можливих відносних курсів з урахуванням відношення швидкостей судна і цілі.

Так як в цьому випадку відсутня однозначна залежність між відносним і істинним курсами, то спочатку визначається множина небезпечних відносних курсів ухилення, графічне відображення якої являється областю на площині. Якщо точка із значенням відносного курсу зближення знаходиться в області, то ситуація зближення є небезпечною. В цьому разі для вибору оптимального курсу ухилення потрібно вибрати відносний курс, який відповідає межі області, а потім визначити відповідний істинний курс ухилення. Існують випадки, коли межі області не досягають значення безпечного відносного курсу ухилення, в такому випадку належить змінити швидкість судна, при якій значення безпечного відносного курсу ухилення знаходяться в межах допустимої області.

Запропонована реалізація розробленої процедури з допомогою комп'ютерної програми, причому приведені приклади визначення курсу ухилення судна при його зближенні з ціллю. Показані оперативність і простота оцінки небезпечності зближення і вибору курсу ухилення судна для попередження зіткнення з ціллю з допомогою області недопустимих параметрів руху судна. Зазначено, що запропонований комп'ютерний варіант реалізації одержаної процедури доцільно використовувати в перспективних навігаційних інформаційних системах.

Приведено приклади формування області недопустимих параметрів руху судна для завданої ситуації та визначення з її допомогою оцінки небезпечності зближення судна з ціллю, а також вибору курсу ухилення судна для попередження зіткнення з ціллю умові її незмінної швидкості.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, область неприпустимих параметрів, оцінка безпеки зближення, розходження зміною курсу.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

В настоящее время число столкновений судов остается на высоком уровне, что в значительной мере обусловлено несовершенной процедурой выявления ситуации опасного сближения, а также отсутствием простого способа оперативного выбора безопасного маневра расхождения. Маневр расхождения изменением курса судна является предпочтительным при наличии достаточного водного пространства, поэтому следует сформировать способ выбора маневра уклонения судна для безопасного расхождения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Задача выбора оптимального маневра расхождения, как отмечается в работах [1-3], очень сложная, так как процесс управления движением судна является многомерным с нелинейными и нестационарными характеристиками, причем задача носит игровой характер.

Понимание содержания автономной судовой системы уклонения от столкновения (*Collision avoidance*) и её теоретическое обоснование излагается в работе [4]. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения рассмотрены дополнительно правила уклонения от столкновения COLREG. С учетом факторов, влияющих на процесс уклонения от столкновения, рассматриваются требования к автономной навигации, которые способен оценить человек и осуществить управление судном на удовлетворительном уровне, однако принятые решения являются субъективными и могут быть ошибочными, в результате чего может возникнуть столкновение. Исследования по автоматизации управления судном, как указывается в работе, могут быть представлены в классической или компьютерной категориях. Классическая техника основана на математических моделях и алгоритмах. Программы основаны на использовании искусственного интеллекта используют эволюционные алгоритмы, логику фuzzi, экспертные методы, нейросеть и комбинация этих методов - гибридные системы. При теоретическом направлении работа не содержит рекомендаций практическому судовождению.

Анализируемые работы вносят значительный вклад в теорию решения проблемы предупреждения столкновений судов, однако они не содержат рекомендаций по оперативному выбору маневров расхождения.

В последнее время появились исследования по проблеме обеспечения безопасного расхождения судов методами внешнего управления с использованием недопустимых областей курсов или скоростей судов [5]. Предлагаемый подход к решению проблемы предупреждения столкновения судов целесообразно использовать и при локально независимом управлении процессом расхождения [5] с использованием недопустимых областей параметров движения судна, которые могут быть реализованы с помощью компьютера в виде оперативной процедуры выбора маневра расхождения судна. Этому вопросу посвящена настоящая статья.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью настоящей статьи является рассмотрение процедуры оценки опасности сближения судна с целью и, в случае необходимости, выбор судном маневра расхождения изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения судна.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Как указывается в работе [5], в зависимости от соотношения скоростей судна V_1 и цели V_2 при изменении курса судна K_1 возникает особенность изменения относительного курса K_{ot} . В случае $V_1 > V_2$ величина первой производной $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ положительна для всех значений K_1 , поэтому при изменении курса K_1 относительный курс K_{ot} может принимать любые значения от 0 до 2π . Если же $V_1 < V_2$ отображение множества относительных курсов в множество истинных курсов судна не является однозначным, так как первая производная $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ может иметь как положительный, так и отрицательный знаки, т. е. каждому относительному курсу, кроме экстремальных, соответствует два значения истинного курса судна, а при изменении курса K_1 судна в диапазоне от 0 до 2π относительный курс K_{ot} будет принимать значения из диапазона $[K_{otmin}, K_{otmax}]$, причем:

$$K_{otmin} = \pi + K_2 - \arcsin \frac{V_1}{V_2} \text{ и } K_{otmax} = \pi + K_2 + \arcsin \frac{V_1}{V_2}.$$

В случае $V_1 < V_2$ для выбора маневра расхождения изменением курса предлагается следующая процедура. Подмножество относительных курсов $Mn1_{ot}$, при которых сближение судна и цели опасно, ограничено значениями $K_{ot*} = \gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}$ и $K_{ot}^* = \gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}$, т.е. $Mn1_{ot} = [\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}]$.

В свою очередь, подмножество всех возможных относительных курсов уклонения при $V_1 < V_2$ определяется подмножеством $Mn2_{ot} = [K_{otmin}, K_{otmax}]$. Если имеется подмножество относительных курсов $Mn3_{ot}$, которое одновременно удовлетворяет условиям $Mn3_{ot} \in Mn2_{ot}$ и $Mn3_{ot} \notin Mn1_{ot}$, то в качестве относительного курса уклонения K_{oty} может быть выбран любой относительный курс подмножества $Mn3_{ot}$, т.е. $K_{oty} \in Mn3_{ot}$. По выбранному K_{oty} можно найти соответствующий истинный курс судна K_{1y} [9].

Предложенная процедура оценки опасности сближения судна с целью и выбор маневра расхождения уклонением при $V_1 < V_2$, была реализована на

компьютере в виде программы, что обеспечило оперативность и простоту решения поставленной задачи.

Для выбора курса уклонения судна при опасном сближении с целью в случае $V_1 < V_2$ рассмотрим следующую ситуацию сближения: $\alpha = 106^\circ$, $D = 3,0$ мили, $K_1 = 45^\circ$, $V_1 = 15$ узла, $K_2 = 317^\circ$, $V_2 = 20$ узлов, $d_d = 1$ мили. Ситуация сближения показана на рис. 1, значение $\min D = 0,34$ мили.

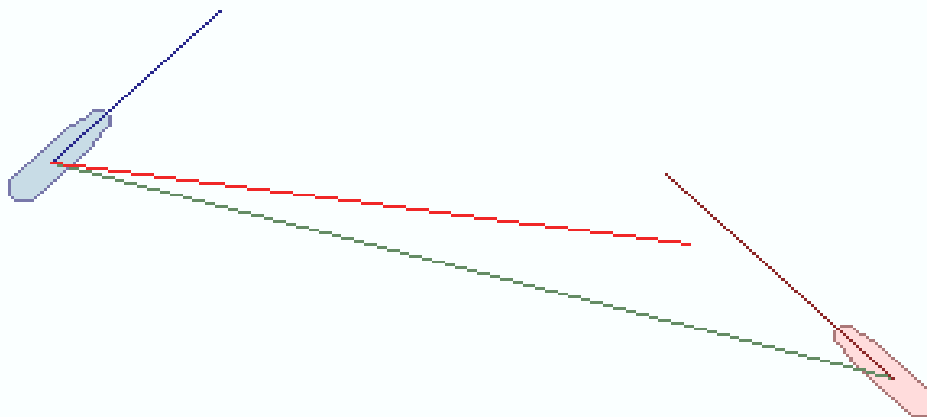


Рис.1. Ситуация сближения при $V_1 < V_2$

Графические представления подмножества опасных относительных курсов $Mn1_{ot}$ и подмножества всех возможных относительных курсов уклонения $Mn2_{ot}$ в системе координат относительных курсов и скоростей судна, полученные с помощью компьютерной программы, показаны на рис. 2. Границы подмножества $Mn1_{ot}$ не зависят от скорости судна и равны $K_{ot^*} = 87^\circ$ и $K_{ot}^* = 125^\circ$, на рис. 2 они представлены горизонтальными параллельными линиями. Подмножество $Mn2_{ot}$ ограничено экстремальными относительными курсами K_{otmin} и K_{otmax} , которые изменяются в зависимости от величины V_1 / V_2 , достигая при $V_1 = 15$ узлов значений $K_{otmin} = 89^\circ$ и $K_{otmax} = 185^\circ$. Точка с начальным относительным курсом $K_{oto} = 99^\circ$ и скоростью судна $V_1 = 15$ узлов принадлежит $Mn1_{ot}$.

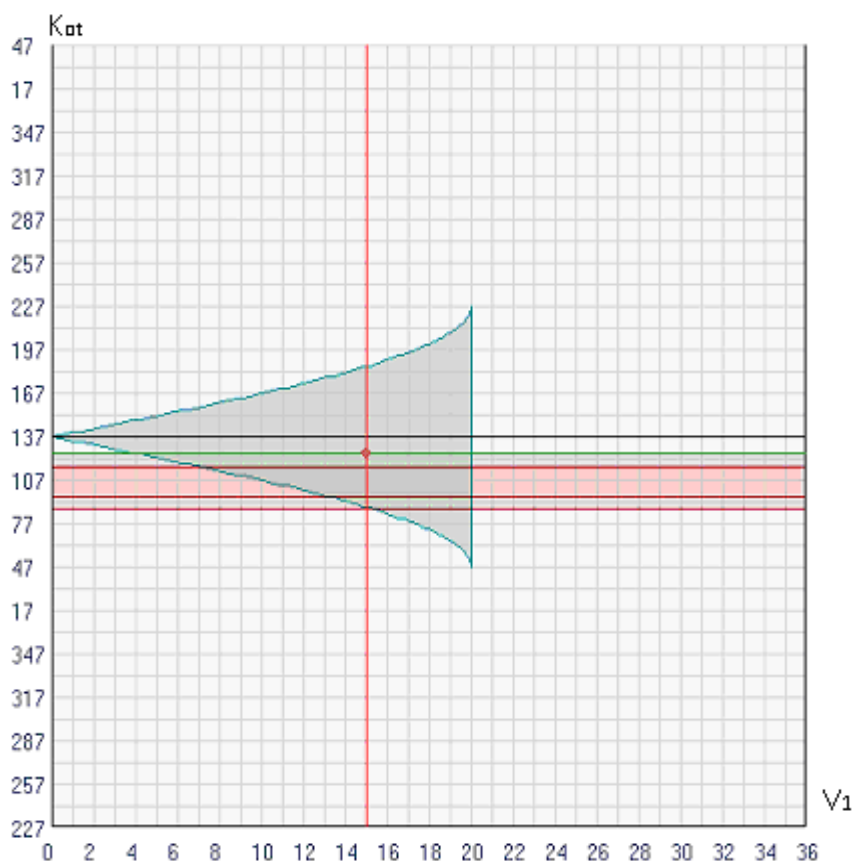


Рис. 3. Выбор курса уклонения судна K_{1y} при $V_1 < V_2$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Для ситуации, когда скорость судна меньше скорости цели, предложена процедура выбора курса уклонения судна для предупреждения столкновения с целью, используя подмножества опасных относительных курсов и всех возможных относительных курсов с учетом отношения скоростей судна и цели, которая также содержит научную новизну в тематике предупреждения столкновения судов. Предложена реализация предложенной процедуры с помощью компьютерной программы и приведены примеры определения курса уклонения судна при его сближении с целью. Обоснована оперативность и простота оценки опасности сближения и выбор маневра уклонения судна. Предложенный компьютерный вариант реализации рассмотренной процедуры целесообразно использовать в перспективных навигационных информационных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. – Gdańsk. – pp. 71-78.
2. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. - 2005. - No 3-4, Vol. XVII. –

pp. 133-147.

3. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // *Advances in Safety and Reliability*. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – pp. 1285-1292.
4. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // *J. Navig.* 2008. 61, № 1, pp. 129-142.
5. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

УДК 656.627

**THE PROSPECTS OF REVIVAL OF RIVER NAVIGATION IN
UKRAINE****ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗРОЖДЕНИЯ РЕЧНОГО СУДОХОДСТВА
В УКРАИНЕ****Y.Yarmolovich, PhD, associate professor****Ю.Р. Ярмолевич, к.т.н., доцент***National University "Odessa Maritime Academy"**Национальный университет «Одесская морская академия»***ABSTRACT**

The article investigates main actual problems of Ukrainian river shipping. For the moment the minor part of country cargoes are transporting via inner water ways. There is only 15-20% of rivers potential in use nowadays. At the same time the scope of companies are seeking possibilities to be involved into the river shipping due to less costs involved. Shipped cargoes analysis eliminated the group of most used of them. There are grain, steel and ore. The minor part includes building materials and containerized cargoes. We have evaluated present situation of river infrastructure – ports, terminals, locks, navigation support, fleet, canals. Most of components are in unsatisfactory condition and needs modernization. Ports and terminals are equipped with worn out equipment. Most of locks are old and their capacity is limited and insufficient. Navigation equipment is outdated; some of buoys and lights are lost. Most expensive object of the inner water ways are canals, most complicated procedure is canals maintaining. They weren't dredged till requested draft. Such dredging to be arranged for 80% of navigable rivers. Resources amount to be involved is huge and could be accumulated under government supervision only. Besides, legal system is rather improper. It proclaims national business priority. "Old" rules give no chance to attract foreign investors and use foreign flag fleet. Custom arrangement is complicated and expensive. Ukrainian government is discussing modern "River Law" a long time but it doesn't finalized yet. There are several companies responsible for each component of water way usage fees collecting. It is important to concentrate funds and coordinate efforts in the one hand.

Conclusions which are proposed in the article are:

- Ukrainian inner water ways actual condition satisfies present balance between cargo supply and demand
- further progress is difficult without funds and resources concentration likely under government supervision
- the benefits for river shipping expansion to be evaluated in consideration of social and ecological aspects.

Keywords: river transport, inland waterways, river tax, unification of rules.

РЕФЕРАТ

Стаття стосується питань стану річкового транспорту в Україні та методів його відродження. Станом на сьогодні річковий потенціал використовується частково, навіть у порівнянні з радянським минулим, що призводить до зниження потенціальних надходжень до бюджету. Згідно з даними, які наведено в публікаціях багатьох авторів, значна кількість приватних та державних компаній виявляє зацікавленість в збільшенні обсягів річкових перевезень. Проведено оцінювання вантажної бази перевезення – зернових, мінеральних, будівельних, рудних вантажів, контейнерів. Виявлено, що найбільшу зацікавленість виявляють зернотрейдери та металургійні комбінати. Проаналізовано сучасний стан інфраструктури річкового транспорту – портів, терміналів, та шлюзів, кількість тоннажу, навігаційного забезпечення, наявність глибин. Більшість складових, які забезпечують ефективність річкових перевезень знаходяться у незадовільному стані та потребують глибокої модернізації. Найбільш довгостроковою та затратною складовою виявляється забезпечення глибин. Стан навігаційного обладнання, шлюзів, портів та терміналів також не є задовільним. Законодавча база річкових перевезень досі має значні недоліки, які обмежують можливість залучення іноземних інвесторів. Діючі митні нормативи ускладнюють та здорожують митне оформлення вантажів. Закон про річкові перевезення дискутується довгий час та досі не прийнятий. В статі надано перелік установ, відповідальних за збирання платежів по кожній складовій річкового комплексу. Висвітлено переваги централізованого збирання та використання коштів, об'єднання зусиль різних установ в єдиному напрямі. Проаналізовано стан, кількісний та якісний склад річкового флоту України.

У висновках визначається, що сучасний стан галузі дозволяє задовольнити потреби наявної вантажної бази. Подальший розвиток галузі можливий у разі комплексного підходу до використання річкового потенціалу держави, урахуванні соціальних та екологічних аспектів.

Дискусии на тему восстановления объемов речного судоходства в Украине идут со времени становления независимой Украины. Водный транспорт имеет ряд преимуществ по сравнению с остальными видами транспорта: экологичность (в 5 раз чище железнодорожного и в 10 раз чище автомобильного), низкую стоимость перевозки, (потребляется в 3-4 раза меньше топлива чем при железнодорожных перевозках), гарантии высокой сохранности груза [1]. Кроме того, использование внутренних водных путей снижает нагрузку на автотрассы и железные дороги, приводит к развитию инфраструктуры, росту количества рабочих мест. Активное использование речного транспорта в Украине приведет к интенсификации торговых отношений со странами ЕС, Польшей, прибалтийским регионом, республикой Беларусь.

Ключові слова: річковий транспорт, внутрішні водні шляхи, річковий податок, уніфікація правил.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

В настоящее время водный потенциал страны включает три крупные судоходные реки: Дунай, Днепр и Южный Буг. Кроме того, возможно использование ряда малых рек, таких как Припять, Десна, Северский Донец, Ворскла, Днестр, Горынь, Стырь, Самара, Псел. Протяженность судоходных рек Украины в 2000 годы оценивавшееся в более чем 4000 км., в настоящее время снизилось до 1400 км. Направление течения рек совпадает с основным направлением перемещения грузов – с континентальной части страны к Черному морю и обратно. Несмотря на высокий потенциал и частично сохранившуюся инфраструктуру, фактически задействована примерно десятая часть потенциала водных ресурсов. Так, в 2018 году по Днепру было перевезено по различным сведениям от 6 до 8 млн. тонн грузов, по Южному Бугу до 0,5 млн. тонн. При этом специалисты оценивают годовой потенциал Днепра в 30 млн. тонн а всех водных путей Украины в целом от 60 до 100 млн. тонн в год. По состоянию на 2017 год доля грузов, перевезенных речным транспортом внутри страны составляла около 0,4 - 0,5 %, в странах Евросоюза этот же показатель достигает 7% [2].

Максимальный объем использования внутренних водных путей приходится на 80 годы 20 века. На пике развития показатели перевезенных грузов достигали 45 млн. тонн. В течение 295 дней навигации 1976 года только днепровскими шлюзами прошло около 71 тыс. судов. В судоходстве было задействовано 17 рек, длина обслуживаемых водных путей составляла более 5000 км, было установлено и поддерживалось в рабочем состоянии до 11 тыс. навигационных знаков. Переломным моментом явился 1991 год, год распада Советского Союза. К 2016 году общая длина судоходных рек Украины уменьшилась в 3 раза, значительно снизилось техническое состояние шлюзов, серьезно ухудшилась навигационная обстановка на реках [3].

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Анализ возможностей использования внутренних водных путей Украины и перспективы создания условий для возрождения речного судоходства рассматривались рядом авторов в течение всего периода независимости Украины. Большое количество публикаций в изданиях «Порты Украины», «Моряк Украины», «Работник моря», интернет изданиях «Seafarers journal», «Морское обозрение», «Центр транспортных стратегий» постоянно публикуют статьи, посвященные возможности увеличения использования водных путей, способы реализации этой задачи. Свое мнение по поводу направления развития и точек приложения усилий активно высказывают руководители предприятий ГП «Укрводшлях», ПАО «Укрэнерго», АСК «УДП», ОАО СП «НИБУЛОН», зам. Министра инфраструктуры Украины. В последние годы произошли изменения, требующие выработки новых рекомендаций, отвечающих современным вызовам и сложившимся в стране обстоятельствам.

Грузовую базу перевозок внутренними водными путями Украины составляют зерновые, строительные грузы, черные металлы, стройматериалы, железорудное сырье, контейнера. Основные заказчики – зернотрейдеры, металлургические комбинаты, строительные компании.

В настоящее время во внутренних речных перевозках задействовано ограниченное количество компаний. Основные объемы осваиваются несколькими национальными игроками, среди которых основную нагрузку несут акционерная компания «Украинское Дунайское пароходство» (УДП), которое управляет более чем 300 самоходными и несамоходными судами, ООО «Укрричфлот» - около 90 судов, ООО СП «НИБУЛОН» - 48 судов, «Гермес Трейдинг» - 5 судов. «НИБУЛОН» концентрирует свои усилия на Днестре и Южном Буге, «Укрричфлот» на Дунае и Днестре. УДП в основном на Дунае, «Гермес Трейдинг» на Южном Буге.

Формулирование целей статьи (постановка задач)

Целью исследования является анализ современного состояния внутренних водных путей Украины, предложений по изменению законодательной базы, возможности использовать зарубежный опыт. Достижение цели диктует необходимость оценки возможностей привлечения зарубежных и национальных инвесторов, состояния флота, гидротехнических сооружений, принципов тарификации и ценообразования.

Изложение материала, исследования с обоснованием полученных результатов

Для возрождения речного судоходства необходимо решить ряд вопросов, среди которых наиболее значимые следующие:

1. Дноуглубление.

В настоящее время обеспечение заявленных глубин гарантируется только в нижнем течении Днестра, до г. Днестр. Специфика речного судоходства – постоянные дноуглубительные работы, сложные, дорогостоящие, требующие привлечения высококлассных специалистов – гидрологов, взрывотехников, экологов. Река переносит огромное количество взвешенных частиц, оседание которых приводит к заиливанию, проходные глубины уменьшаются, их поддержание требует содержания значительного количества дорогостоящих судов специального назначения – земснарядов, землесосов, драг, грунтоотвозных шаланд, промерных судов. Без постоянной очистки реки мелеют, заиливаются, берега зарастают камышом, фарватеры теряют заявленные глубины. Для поддержания водного баланса необходимо заниматься не только судоходными реками, но и их притоками, чтобы сохранить уровень и глубины. В настоящее время дноуглублением на реках должно заниматься государство в лице ГП «Укрводшлях». Администрация морских портов Украины (АМПУ) с 2017 года включилась в работы в качестве заказчика, создав новое отделение «Дноуглубительный флот», выделив средства и проведя тендеры на сумму около 300 млн. гривен [4]. ООО «НИБУЛОН» самостоятельно проводит дноуглубительные работы в акватории

принадлежащих ему терминалов и на подходных путях на реках Днепр и Южный Буг. Цель – добиться заявленных глубин 3,65 м на всем протяжении реки Днепр, на первом этапе в среднем течении, до г. Киев, затем до Беларуси и в перспективе выйти к рекам Европы.

2. Тарификация и ценообразование.

Определенную проблему представляет несовершенная система начисления и взимания платы за использование водных путей. В настоящий момент взимаются оплата за пользование шлюзами, разведение мостов, лоцманскую проводку, портовые сборы, канальный сбор, санитарный сбор, корабельный сбор, плата за водопользование, экологические сборы, плата за транзитный проход акваторией порта, различного вида разовые разрешения. Суммарные затраты превышают стоимость перевозки железнодорожным транспортом с учетом действующих тарифов. Система начисления плат громоздка, сами платы взимаются несколькими ведомствами: разведение мостов – железной дорогой, пользование шлюзами – ГП «Укрводшлях», навигационное оборудование – ГП «Госгидрография», лоцманская проводка – ГП «Дельта лоцман». Изменения в порядке начисления и взимания сборов назрели и обсуждаются с 2005 года. Основная идея – взимать единый «речной» сбор, поступающий в распоряжение специально созданной госструктуры – Ассоциации речных портов Украины. Такая практика отвечает выполнению задачи по гармонизации с европейскими нормами в сфере ценообразования в рамках евроинтеграции. К сожалению, методика начисления сбора не разработана и еще даже не обсуждается. Судя по длительности обсуждения и обоснования модернизированных ставок портовых сборов, количеству доработок, единый «речной» сбор вступит в действие нескоро. На настоящем этапе в проекте закона о внутренних водных путях предусматривается переходной период сроком в два года [5].

3. Законодательная база.

С 2015 года проект «Закона о внутренних водных путях Украины» обсуждается Верховной Радой Украины. Основные положения проекта разрабатывались с 2013 года. Такое длительное время прохождения всех инстанций без конкретного результата говорит о разнонаправленной заинтересованности участников рынка морских перевозок [6]. Ряд положений, изменение которых давно назрело, вопросов не вызывает. Так, например, для организации международных контейнерных перевозок по внутренним рекам необходимы изменения таможенных правил. В настоящее время, в отличие от автотранспорта и железнодорожных перевозок отправка контейнеров в режиме «под таможенным контролем» по реке не предусмотрена. Досмотр на границе сопряжен с выгрузкой контейнеров, что приводит к дополнительным расходам, потере времени, простоем флота.

Все участники обсуждения проекта закона согласны с тем, что порядок начисления и взимания платы за пользование внутренними водными путями должен быть упрощен и унифицирован. Камень преткновения – величина сборов и организация, курирующая их распределение. Предлагаемая привязка тарифа к пройденному расстоянию и количеству грузов вопросов не вызывает,

а вот сам тариф кажется завышенным, предполагается, что его применение приведет к повышению дисбурсментов, особенно при перевозках на дальние расстояния. Рациональным выглядит предложение назначить переходный период для апробации новых тарифов с возможностью их доработки. Наиболее горячая дискуссия происходит по поводу допуска на рынок судов под иностранным флагом. В настоящее время таковые заходят в наши реки после подачи заявки и рассмотрения ее в течение 10 дневного срока. Фактически, применяется политика протекционизма, играющая на руку украинским судовладельцам, оперирующим флотом под национальным флагом. Понятно, что интеграция в европейское экономическое пространство с такой политикой невозможна. Против нее выступают компании-операторы судов под иностранными флагами, за – национальные перевозчики. В настоящее время часть сборов за пользование реками включена в стоимость судового топлива. Суда под иностранными флагами, бункерующиеся вне территории Украины денег в бюджет не принесут, их экипажи не заплатят налоги нашей стране. Двойные тарифы (национальный и иностранный флаг), если таковые будут применяться, вызовут негативную реакцию западных партнеров. Еще один спорный вопрос – создание единого координационного центра, отвечающего за управление, сбор, распределение и использование средств на внутренних водных путях, предположительно – «Администрации внутренних водных путей Украины» по образцу АМПУ. Во всех европейских странах использование внутренних водных путей является не только коммерческим, но и социальным проектом при значительной доле финансового участия государства. Частные структуры в нашей стране испытывают определенное недоверие к госструктурам в части справедливости распределения средств и рациональном их использовании. В качестве альтернатив предлагается создание акционерных обществ, ассоциаций, делегирование им прав контролировать финансовые потоки и утверждать их целевое назначение.

4. Шлюзы.

Одним из узких и проблемных мест в организации речного судоходства является состояние шлюзов. На Днепре в настоящее время функционируют и занимаются пропуском судов 6 шлюзов, находящихся в ведении ГП «Укрводшлях»: Киевский, Каневский, Кременчугский, Днепродзержинский, Запорожский район гидросооружений (ЗРГС) и Каховский [7]. Все они были сооружены в советское время, самый старый запущен в эксплуатацию 70 лет назад, последний серьезный ремонт производился более 10 лет назад. Практически на каждом требуется модернизация и замена узлов различной степени сложности. Из-за несвоевременных ремонтов, устаревшей конструкции и плохого технического состояния затраты на их содержание и использование высоки. По этим же причинам с 2012 года работает специальная техническая лаборатория, в обязанности которой входит ежедневный анализ состояния шлюзов, составление отчетов о возможности их эксплуатации. Каждые три месяца Регистр судоходства осуществляет технические надзоры для принятия решения о возможности дальнейшего безопасного их использования.

Нарекания вызывают длительное время шлюзования, устаревшие нормативы (разрешено шлюзовать по одному несамостоятельному судну – отсюда двойная оплата и двойные затраты времени) [8], [9].

5. Флот.

В настоящее время речной флот Украины в значительной мере устарел морально и физически. Доля судов старше 20 лет составляет до 90 процентов транспортного флота. По сравнению с 1990 годом количество малотоннажных судов речного флота сократилось до 22% прежнего состава и составляет около 630 судов общей грузоподъемностью до 900 тыс. т. Крупнейшие судовладельцы это АСК «Укрречфлот», ОАО «Украинское Дунайское пароходство», ООО «Столичная судоходная компания» и ООО СП «НИБУЛОН». Специалисты отмечают, что современный флот может освоить грузопотоки до 10-12 млн. т в год. Использование старого флота в международных перевозках проблематично. Возможный рост грузоперевозок внутренними водными путями потребует привлечения дополнительных ресурсов. На начальном этапе возможно оперирование судами иностранных судовладельцев. С учетом упадка судостроительной отрасли Украины быстрое пополнение флота возможно за счет покупки судов у иностранных верфей, хотя такая ситуация не лучший вариант для национальной экономики [10], [11]. При строительстве нового флота должны учитываться ряд ограничений, таких как запрет на сброс очищенных сточных вод с судов и ограничения по ветроволновому режиму на днепровских водохранилищах. Сейчас 90% судов под иностранным флагом не могут быть допущены на реки исходя из этих ограничений. Необходимо либо снизить требования национального законодательства, либо разрабатывать специальные режимы плавания для них.

Некоторые вопросы кажутся второстепенными, но без них восстановление речного судоходства в стране невозможно. Знаки навигационной обстановки были установлены в 50-х годах прошлого века и устарели. Часть можно отремонтировать и эксплуатировать далее, часть надо менять. Ответственность за их обслуживание в настоящее время возложена на ГП «Госгидрография». Речная информационная система работает с 2012 года, но в сферу ее покрытия входит только реки Дунай и Днепр. Требуется установка дополнительных станций, снимающих информацию о состоянии рек и передающих ее в единый центр в автоматическом режиме.

За время застоя речной отрасли необходимость в квалифицированных специалистах значительно снизилась. Старые кадры выбывали по возрасту, потребность в поддержании прежнего количества штатных сотрудников отсутствовала. При увеличении объемов перевозок прогнозируется «кадровый голод», особенно в условиях ослабленной национальной экономики и несоответствии зарплат европейскому уровню.

Речная портовая инфраструктура также включает 10 речных портов и до 50 терминалов, сориентированных на перевалку зерновых грузов, металлопроката, руд, минерально - строительных грузов. Порты и остальные гидротехнические сооружения находятся в ведении ГП «Администрация

речных портов Украины» с 2005 года, большая часть терминалов в частных руках. В перспективе ожидается развитие портов в рамках привлечения концессионеров, средств международных инвесторов и кредитов ЕБРР.

Выводы и перспективы работы по данному направлению

Современное состояние речной отрасли в целом позволяет справиться с существующими грузопотоками. Значительный рост объемов грузоперевозок возможен при одновременном разрешении нескольких разноплановых вопросов, в том числе и внеэкономического характера, а именно: корректировке искусственно заниженных железнодорожных тарифов, государственном дотировании речных перевозок на начальном этапе, производстве масштабных дноуглубительных работ, внесении кардинальных изменений в законодательство, касающихся регулирования речных перевозок, унификации правил пользования водными путями с европейскими, допуск иностранных участников на рынок услуг внутренних перевозок, привлечение инвестиций, модернизации ряда гидротехнических сооружений включая шлюзы, причалы и речные терминалы, заключение международных контрактов на поставки значительных объемов товаров. Суммарные вложения в отрасль оцениваются экспертами в миллиарды долларов США, ежегодная прибыль – десятки миллионов. Низкая окупаемость означает малую привлекательность для инвесторов. Следует также учитывать лоббирование собственных интересов национальными финансово-промышленными группами.

Нестабильность украинской экономики, приближающиеся выборы, прогнозы мировых экспертов о возможности нового мирового кризиса, отсутствие перспектив привлечения серьезных финансовых средств дают возможность сделать вывод о том, что в ближайшие годы возможно лишь постепенное наращивание интенсивности речного судоходства в Украине, в основном за счет привлечения средств частного национального бизнеса. Значительное увеличение использования речного транспорта возможно в долгосрочной перспективе, при условии финансового участия государства в рамках реализации комплексного социального проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дойти до Роттердама: Зачем Франция строит канал Seine-North Europe [Электронный ресурс] / Т. Тавлуй // Центр Транспортных Стратегий. – 2008. – Режим доступа: https://cfts.org.ua/articles/doyti_do_rotterdama_zachem_frantsiya_stroit_kanal_seine_north_europe_1403/100341
2. Что ждет речной транспорт Украины в контексте евроинтеграции? [Электронный ресурс] / С. Кинка // Informer.Od.Ua/- 2016.- Режим доступа: <http://informer.od.ua/news/chto-zhdet-rechnoj-transport-ukrainy-v-kontekste-evrointegratsii/>
3. Внутренние водные пути Украины: пора возрождения [Электронный ресурс] / Н. Верещака / Порты Украины // № 03 (105) 2011. – Режим

- доступа к журн.: <https://ports.com.ua/articles/archive/vnutrennie-vodnye-puti-ukrainy-pora-vozhrozhdeniya>
4. Куда ведет «Укрводшлях» — интервью и.о. начальника [Электронный ресурс] / А.Муравский // Порты Украины. – 2017.- Режим доступа к журн.: <https://ports.com.ua/articles/kuda-vedet-ukrvodput-intervyu-io-nachalnika>
 5. О проекте Методики расчета ставок портовых сборов – вариант пятый [Электронный ресурс] / В. Попов / Моряк Украины.// № 3 от 24.01.2018. – Режим доступа к журн.: <https://moryakukrainy.livejournal.com/4202222.html>
 6. Закон о внутреннем водном транспорте: точки конфликта [Электронный ресурс] / А.Муравский // Порты Украины. – 2017.- Режим доступа к журн.: <https://ports.com.ua/articles/zakon-o-vnutrennem-vodnom-transporte-tochki-konflikta>
 7. Деньги, шлюзы и закон: Как активизировать судоходство по Днепру [Электронный ресурс] / А. Костюченко // Центр Транспортных Стратегий.- 2018. - Режим доступа: https://cfts.org.ua/articles/dengi_shlyuzy_i_zakon_kak_aktivizirovat_sudokhodstvo_po_dnepru_1391
 8. Днепровские шлюзы [Электронный ресурс] / А.Д. Шершнев // Порты Украины. - 2018. - Режим доступа : <https://ports.com.ua/spravka/infrastruktura/dneprovskie-shlyuzy>
 9. С караваном «НИБУЛОНа» — по Днепру через Каховский шлюз [Электронный ресурс] // Информационное агентство Инше.ТВ. -2017. – Режим доступа: <https://inshe.tv/video/2017-11-03/279042/>
 10. Речной торговый флот Украины за 30 лет сократился на 80% [Электронный ресурс] //Пропозиція - Главный журнал по вопросам агробизнеса. - 2017. - Режим доступа: <http://propozitsiya.com/richkovyy-torgovelnyy-flot-ukrayiny-za-30-rokiv-skorotyvsya-na-80>
 11. **Все "за", один "против": кому выгоден закон о речных перевозках** [Электронный ресурс] / О. Быстрицкая // Центр Транспортных Стратегий.- 2018.- Режим доступа:.- https://cfts.org.ua/articles/vse_za_odin_protiv_komu_vygoden_zakon_o_rechnykh_perevozkakh_1172

РЕФЕРАТЫ**УДК 656.61.052**

Алексишин А.В., Бурмака А. И. Выбор курса уклонения судна с учетом закона распределения векториальной погрешности // Судовождение: Сб. науч. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 10-15.

Исследована зависимость размеров круговой безопасной области судна от закона распределения вероятностей его позиционной векториальной погрешности, что влияет на курс уклонения судна при его расхождении с опасной целью.

Ключевые слова: безопасность судовождения, безопасная область судна, позиционная векториальная погрешность.

Библиография – 6 источников, иллюстраций – нет.

УДК 656.61.052

Бурмака И.А., Пасечнюк С.С. Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения // Судовождение: Сб. науч. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 16-23.

Предложен способ формирования недопустимой области курсов одного судна и скоростей другого судна для оценки опасности ситуации сближения и выбора безопасного маневра расхождения. Рассмотрен случай, когда скорость судна, изменяющего курс, превосходит скорость второго маневрирующего судна.

Получены аналитические выражения для расчета границ недопустимой области параметров движения сближающихся судов.

Ключевые слова: безопасность судовождения, маневр расхождения судов изменением курса и скорости, недопустимая область параметров движения судов.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – 1.

УДК 656.61.052

Вагущенко Л. Л. Улучшение поддержки решений по предупреждению столкновений/Л. Л. Вагущенко, А. А. Вагущенко //Судовождение: Сб. науч. трудов НУ «ОМА», Вып. 28. –Одесса: «ВидавІнформ», 2018 – С. 24-34.

Рассмотрены вопросы совершенствования бортовых систем для избегания столкновений. Предложены инструменты информационной поддержки решений для облегчения выбора эффективных маневров расхождения в сложных условиях.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, поддержка решений, качество маневров.

Библиография – 8 источников, иллюстраций – 6.

УДК 656.61.052.484

Власенко Е.А., Цымбал Н.Н. Некоторые особенности составления грузового плана контейнеровозов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 35-41.

Рассмотрены особенности загрузки контейнеровозов, к которым относятся необходимость учета ротации портов при загрузке или разгрузке в нескольких портах и учет сил инерции, воздействующих на груз при качке.

Показано, что формирование начальной загрузки необходимо начинать с определения допустимой последней загрузки перед сдачей груза в последнем порту, а затем пошагово перемещаться к предыдущей загрузке, пока не будет получена начальная загрузка в последнем порту загрузки.

Ключевые слова: мореходная безопасность судна, загрузка судна, силы инерции на качке.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – нет.

УДК 656.61.052

Ворохобин И.И., Фусар И.Ю. Универсальный способ стохастического описания случайных погрешностей навигационных измерений // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавИнформ», 2018 - С. 42-47.

Произведен анализ возможностей применения ортогонального разложения плотностей распределения погрешностей навигационных измерений с помощью полиномов Эрмита. Приведены свойства полиномов Эрмита для плотности закона распределения Гаусса.

Получены в явном виде ортогональные разложения плотностей на базе нормированного и ненормированного нормального закона.

Ключевые слова: навигационная аварийность, законы распределения случайных погрешностей, ортогональное разложение плотности распределения, полиномы Эрмита.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – нет.

УДК 656.61.052

Гайченя А.В. Оперативная оценка мореходности судна имитационным моделированием его загрузки // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавИнформ», 2018 - С. 48-55.

Предложен способ использования имитационного моделирования для размещения груза по трюмам и балласта по танкам с учетом оперативного контроля параметров мореходной безопасности судна, который обеспечивает безопасную загрузку судна.

Ключевые слова: мореходная безопасность судна, загрузка судна, имитационное моделирование.

Библиография – 6 источников, иллюстраций – 5.

УДК 656.61.052

Дворецкий В.А., Шишкин А.В., Шишкин С.А., Линейная аппроксимация маршрута маневрирования при использовании натуральных алгоритмов оптимизации // Судовождение: Сб. научн. трудов. / НУ «ОМА» Вып.28. – Одесса: «ВидавІнформ». – 2018. – С. 56-62.

Рассматриваются принципы построения алгоритма в системе обеспечения безопасности судовождения, основанного на биологических подходах. В работе разработан алгоритм расчета маршрута судна при маневре на основе линейной аппроксимации методом наименьших квадратов. Задача линейной аппроксимации заключается в нахождении коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных принимает наименьшее значение. Для оценки качества маневрирования при наличии статического препятствия используется муравьиный алгоритм оптимизации, пригодный для использования в судовых СППР в режиме реального времени.

Ключевые слова: транспортный процесс, безопасность судовождения, муравьиный алгоритм оптимизации, технические средства навигации, модель маневрирования.

Библиография - 5 источников, иллюстраций – 1.

УДК 656.61.052

Казак Ю.В., Калиниченко Г. Е. Учет динамических моделей вращательного движения судна при обеспечении безопасности судовождения // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 63-69.

Показано, что при плавании судна в стесненных условиях минимизация рисков возникновения аварийной ситуации достигается при использовании динамической модели вращательного движения судна третьего порядка. С учетом применения этой модели рассмотрена процедура расчета векториальной позиционной погрешности и формирование области опасных курсов судов при внешнем управлении процессом расхождения.

Ключевые слова: безопасность судовождения, динамическая модель поворотливости судна, векториальная погрешность, область опасных курсов.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – нет.

УДК 629.123.03

Камєнєва А.В., Камєнєв К. І. Використання адитивного алгоритму для розміщення небезпечних вантажів на контейненому судні.// Судовождение: Сб. научных трудов/ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатІнформ», 2018 - С. 70-77.

При проектуванні вантажного плану, який враховує максимальну кількість факторів, необхідно враховувати характеристики небезпечних вантажів та їх сумісність. Існуючі вантажні програми дозволяють перевірити правильність

встановленого користувачем місця розташування та сегрегації небезпечних вантажів.

У даній роботі зроблена спроба вирішити частину загальної задачі складання вантажного плану за допомогою математичного методу для визначення позиції небезпечних вантажів у відповідності до Кодексу IMDG на контейнеровозі.

Ключові слова: небезпечні вантажі, контейнеровози, адитивний алгоритм.

Бібліографія - 6 джерел, ілюстрацій – 2.

УДК 621.391

Кошевой В.М., Шевченко А.А. Использование сверхширокополосной техники для задач морской радиолокации// Судовождение: Сб. научн. трудов/ НУ «ОМА», Вып. – Одесса, «ИздатИнформ», 2018 – 78 – 87.

Представлен метод подавления боковых лепестков диаграммы направленности антенной решетки судового радиолокатора в заданных точках с помощью двух перестраиваемых элементов решетки. Рассмотрены возможности реализации указанного метода формирования диаграммы направленности антенной решетки с привлечением сверхширокополосной технологии. Для не перестраиваемых элементов решетки изучено влияние выбора различных весовых функций на величину среднего уровня боковых лепестков диаграммы направленности вне точек подавления. Рассмотрен метод увеличения угловой избирательности без потерь в подавлении в заданных точках диаграммы и в величине среднего уровня боковых лепестков. Представлены результаты численных расчетов, отображающих полученное подавление боковых лепестков диаграммы направленности в заданных точках. Приведена структурная схема антенной решетки, реализующая предложенный алгоритм формирования ее диаграммы направленности.

Ключевые слова: антенная решетка, сверхширокополосность, весовые коэффициенты, подавление боковых лепестков, парциальная диаграмма, сверхнаправленность.

Библиография – 18 источников, иллюстраций – 5.

УДК 656.61.052

Кривой А.Ф., Миусов М.В. Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 88-102.

Получена эффективная нелинейная математическая модель гидродинамических силы на корпусе судна для произвольных углов дрейфа. Построение модели базируется на физических и математических свойствах гидродинамических силы и использует гидродинамические постоянные полиномиальных моделей. Модель основана на восстановлении гидродинамических характеристик судна по их разложениям в ряд Маклорена, содержит бесконечно дифференцируемые функции и простые выражения для гидродинамических постоянных. Проведен

численный анализ полученных зависимостей. Установлено хорошее согласование предложенной модели с полиномиальными моделями, существующими нелинейными тригонометрическими моделями и экспериментальными данными.

Ключевые слова: плоское движение судна, гидродинамические силы, гидродинамические характеристики, гидродинамические постоянные, полиномиальные и нелинейные модели.

Библиография – 17 источников, графиков – 15, таблиц – 1.

УДК 656.61.052.484

Кулаков М.А., Козаченко А.Ю., Степаненко В.В. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С. 103 – 108.

Предложена структура двухуровневой гибридной системы координации, построенной на системе бинарной координации МППСС-72, для предупреждения столкновений двух и трех судов в ситуации их опасного сближения.

Показано использование гибридной системы координации оперирующим судном в ситуации опасного сближения трех судов. Приведен численный пример.

Ключевые слова: безопасность судовождения, взаимодействие судов, бинарная координация, гибридная система координации.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – нет.

Омельченко Т.Ю., Калюжный В.В., Бородулин А.В. Формы истинной и относительной траекторий расхождения судов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 109-119.

Рассмотрены формы истинной траектории расхождения и формы относительной траектории расхождения. Показано, что при скорости судна большей скорости цели формы истинной и относительной траекторий совпадают. Для случая, когда скорость судна меньше скорости цели определена зависимость относительной траектории расхождения от истинной траектории.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновения судов, формы истинной и относительной траекторий расхождения.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – 10.

УДК 656.61.052

Петриченко Е.А., Петриченко О.А. Разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 120-130.

Рассмотрена простейшая система предупреждения столкновений судов, позволяющая идентифицировать начальную ситуацию опасного сближения в соответствии с требованиями МППСС-72 и рассчитывать параметры стратегии расхождения судов.

С помощью имитационной компьютерной программы доказана корректность работы системы и показана целесообразность ее применения.

Ключевые слова: безопасность судовождения, процесс расхождения судов, система предупреждения столкновений, имитационное моделирование.

Библиография – 8 источников, иллюстраций – 10.

УДК 656.614

Петров И.М. Совершенствование информационных процессов в сервисных эргатических системах на основе баз данных // Судовождение: Сб. научн. трудов / НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018. – С. 131-140.

В статье раскрываются проблемы совершенствования информационных процессов, способствующих повышению эффективности функционирования сервисных эргатических систем на морском транспорте. Обосновывается мысль о том, что в связи с внедрением в украинских портах Информационной системы портового сообщества ведущая роль отводится проектированию и модернизации баз данных. В качестве инструментария для наглядной области выбран структурный анализ. Предложенные структура и взаимосвязь баз данных может служить постановкой задачи для программистов.

Ключевые слова: сервисная эргатическая система, морской агент, экспедитор, эргатическая функция, информационные потоки, база данных, структурный анализ.

Библиография – 8 источников, иллюстраций – 4.

УДК656.61.052

Пипченко А. Д. Математическое моделирование динамики контейнеровоза класса ULCS по результатам испытаний / Пипченко А. Д., Копанский С. В., Шевченко В. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 141-151.

В статье представлена модель маневрирования сверхбольшого контейнеровоза, оборудованного винтом фиксированного шага и полубалансирным рулем. Для проверки достоверности расчетные данные были сопоставлены с результатами испытаний, которые были получены в балластном состоянии со значительным дифферентом. В этом случае коэффициенты модели не могут быть вычислены известными методами и должны быть откорректированы в соответствии с данными испытаний. Алгоритм коррекции и специально разработанная целевая функция, полученные в результате этого исследования, приведены в статье.

Ключевые слова: аварийность судов, состав мирового флота, инциденты, потери судов.

Библиография – 16 источников, иллюстраций – 10.

УДК 656.61.052

Пятаков Э. Н., Пятаков. В.Э. Согласование маневров расхождения нескольких судов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 152-158.

Показано, что система координации взаимодействия трех судов является универсальной системой координации при опасном сближении двух и трех судов, которая удовлетворяет требованиям закона необходимого разнообразия Эшби. При расхождении двух судов система координации трех судов трансформируется в систему бинарной координации. Четыре области взаимных обязанностей судов вырождаются в две области бинарной координации пары судов.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновений, согласование взаимодействия нескольких судов.

Библиография – 6 источников, иллюстраций – нет.

УДК 005.961:656.6

Райнов А.О., Бобыр В.А. Неопределенность измерений в судовых эргатических функциях//Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ«ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатІнформ», 2018 - С. 159-175.

Чувствительность судовой эргатической функции выражена через расширенную неопределенность измерений. Разработана методика оценки точности измерений параметров, которая учитывает совместное влияние систематических и случайных погрешностей измерений, а также уровень доверия к ним.

Ключевые слова: чувствительность, судовая эргатическая функция, расширенная неопределенность, измерения, энтропия, систематические и случайные погрешности, уровень доверия, коэффициент охвата.

Библиография – 10 источников, иллюстраций – 1.

УДК 629.123.03

Сандлер А.К., Дрозд Е.В. Суднова система зважування контейнерів // Судовождение: Сб. научных трудов/ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 176-182.

У даній роботі описано систему створення вагових контейнеровозів, розглянуто деталі впровадження таких систем, вибрані та описані найбільш ефективні. Опрацьована система характеризується простотою, надійністю та використанням відомої елементної бази.

Ключові слова: система, вантаж, контейнер.

Бібліографія - 10 джерел, ілюстрацій - 4.

УДК 629.123.03

Сандлер А.К., Дрозд О.В. Гідростатична система для операцій з надважкими вантажами // Судовождение: Сб. научных трудов/ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 183-188.

Для побудови системи навігаційної безпеки при навантаженні надважких вантажів необхідно здійснювати ефективне управління системами змащення напрямних для переміщення вантажу. Існуючі системи змащення не в повній мірі за своїми специфікаційними і технічними характеристиками відповідають завданням переміщення вантажу з берега на судно. Можливості існуючих відомих систем мають обмеження за ефективністю та якістю використання мастила.

Запропоновано нове схемотехнічне рішення системи управління процесом подачі мастила на такелажні напрямні.

У розробленій системі реалізовано автоматична подача мастила, адекватна вазі і геометрії вантажу.

Ключові слова: напряна, вантаж, мастило.

Бібліографія - 8 джерел, ілюстрацій - 5.

УДК 629.123.03

Сандлер А. К., Цюпко Ю. М. Пристрій для запобігання зсуву вантажів у трюмі // Судовождение: Сб. научных трудов/ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 189-195.

Для побудови системи навігаційної безпеки при перевезенні сипучих вантажів необхідно здійснювати ефективне утримання вантажу в специфікаційних умовах. Існуючі системи утримання не повною мірою за своїми технічними характеристиками відповідають завданням запобігання зсуву вантажу. Можливості існуючих відомих систем мають обмеження по ефективності і надійності.

Запропоновано нове схемотехнічне рішення системи запобігання зсуву сипучого вантажу в трюмі.

Розроблена система відрізняється простотою, надійністю і використанням відомої елементної бази.

Ключові слова: система, вантаж, напрямна

Бібліографія - 8 джерел, ілюстрацій - 3.

УДК 656.61.052

Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 196 – 201.

Приведены результаты имитационного моделирования оценки вероятности поводки судна стесненным маршрутом по двум моделям, использующим двумерную плотность распределения векториальной погрешности судна и одномерную плотность погрешности его бокового отклонения. Произведено сравнение полученных значений вероятностей и подтверждена правомерность

использования оценки вероятности проводки судна по стесненному маршруту более простой моделью с применением одномерной плотности распределения погрешности бокового отклонения.

Ключевые слова: навигационная аварийность, одномерная и двумерная плотность распределения, оценка вероятности безопасной проводки, имитационное моделирование.

Библиография – 7 источников, иллюстраций – 4.

УДК 656.61.052

Сикирин В.Е. Влияние закона управления движением судна по курсу на точность судовождения // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 202 - 209.

Рассмотрена зависимость точности реализации судном программной траектории от закона управления движения судна по курсу. Показано, что наиболее приемлемым является ПИД закон управления, так как предупреждает появление постоянного смещения и обеспечивает минимальное значение максимальной амплитуды рысканий вынужденных колебаний.

Ключевые слова: безопасность судовождения, точность реализации программной траектории, закона управления движения судна.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – нет.

УДК 656.61.052.484+629.5.072.4

Соколенко В.И., Мальцев С.Е., Мальцев А.С. Навигационное устройство пересчета координат спутниковой антенны судна на центр тяжести//Судовождение: Сб. научн. трудов./НУ «ОМА», Вып.28. –Одесса: «ВидавІнформ», 2018. – С. 210-221.

Выполнение морских операций по маневрированию судов в стесненных условиях сопровождается действием внешних возмущений и для сохранения высоких эксплуатационных характеристик системы управления в таких сложных условиях необходимо использовать подход, основанный на внедрении навигационных устройств поддержки принятия решения. В отличие от используемого обзорно – сравнительного способа управления движением, использование навигационных устройств требует автоматизации процессов обработки информации и принятия по их результатам решений по управлению судном. Создание таких систем требует дальнейшего исследования процесса маневрирования и разработки современных навигационных устройств.

Ключевые слова: алгоритм расчета поправок; высокоточные координаты центра тяжести; система поддержки принятия решения; вычислительный эксперимент; синтез информационной системы.

Библиография – 11 источника, иллюстраций – 4

УДК 681.142.2

Удолатій В. Б., Удолатій А.Є. Комп'ютерне моделювання показників оцінки ефективності інвестиційних проектів // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С. 222-227.

У статті розглядається одне із завдань фінансового менеджменту - комп'ютерне моделювання показників оцінки ефективності інвестиційних проектів. Проаналізовано можливість застосування інтерактивного інструменту візуального проектування Simulink для аналізу динаміки економічних і фінансових прогнозів. Наведені результати свідчать про доцільність застосування програмного комплексу Matlab / Simulink для оптимізації проектів фінансового менеджменту судноплавних компаній

Ключові слова: інвестиційний проект, модель, програмний комплекс Matlab/Simulink.

Бібліографія – 5 джерел, ілюстрацій – 2

УДК 656.61.052

Чапчай П.А., Алексейчук М.С. Способ выбора маневра уклонения судна для безопасного расхождения // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатІнформ», 2018 - С. 228-235

Для ситуаций сближения судна с целью предложена процедура оценки опасности сближения с помощью области недопустимых параметров движения судна. Для случая, когда скорость судна меньше скорости цели, рассмотрен способ определения курса уклонения судна для предупреждения возможного столкновения. Показана реализация предлагаемой процедуры с помощью компьютерной программы.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновения судов, область недопустимых параметров, оценки опасности сближения, расхождение изменением курса.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – 3.

УДК 656.627

Ярмолевич Ю.Р. Перспективы возрождения речного судоходства в Украине // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ВидавІнформ», 2018 - С.236-244.

В статье описывается современная ситуация с украинским внутренним речным транспортом. Были устранены некоторые серьезные проблемы, такие как дноуглубительные работы по необходимой установке глубины, ремонт и обслуживание замков, тарификация и обоснование цен, совершенствование законодательной базы, обновление парка. Окончательный вывод основан на анализе ситуации в отрасли в целом.

Ключевые слова: речной транспорт, внутренние водные пути, речной налог, унификация правил

Наукове видання

**СУДНОВОДІННЯ
SHIPPING&NAVIGATION**

Збірка наукових праць

Випуск 28

Е 89 Судноводіння: Зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 28. – Одеса:
«ВидавІнформ», 2018. – с. 255.
Рос., укр. та англ. мовами.

Головний редактор
Зам. редактора
Редактор
Верстка

Алексішин В.Г.
Піпченко О.Д.
Івасюк Н. О.
Казак О.Р.

Підписано до друку 21.10.2018
Папір офсетний. Формат 60×84/16. Ум. Друк. Арк. 14,88.
Наклад. 380 прим. Замовлення № И18-10-105

«ВидавІнформ» НУ «ОМА»
Свідоцтво ДК № 1292 від
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8 кор. 7, к. 206
тел./факс: (0482) 34-14-12.
publish@ma.odessa.ua