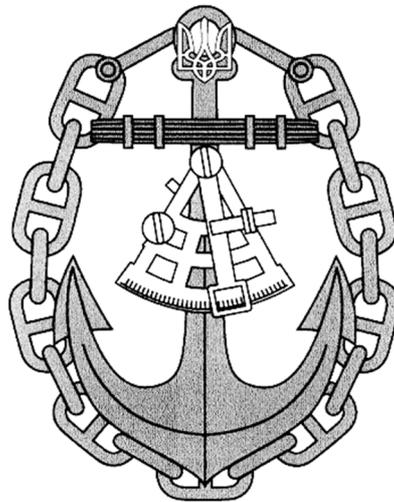


**Министерство образования и науки Украины
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «ОДЕССКАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ»**

СУДОВОЖДЕНИЕ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ОСНОВАН И ИЗДАЕТСЯ С 2000 ГОДА



Выпуск 27

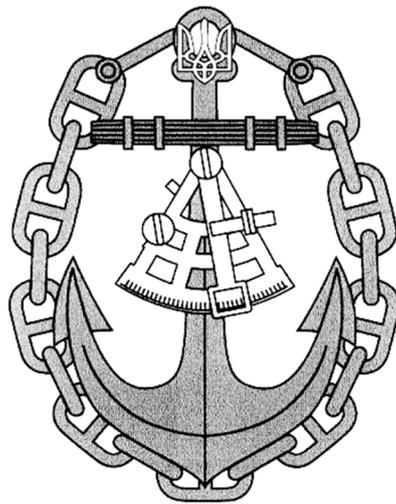
2017

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

SHIPPING & NAVIGATION

RESEARCH JOURNAL

FOUNDED & PUBLISHED SINCE 2000



ISSUE 27

2017

ББК 39.471

УДК 656.61.052

Е 89

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. Вишневецкий (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 29.12.2016 г., протокол № 5.

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.

© Одесская национальная морская академия, 2017

ISBN 39.471

УДК 656.61.052

E 89

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. Koshevyy (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 29.12.2016, protocol № 5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Алексейчук Б. М., Пасечнюк С. С. Идентификация закона распределения погрешностей измерений	10
Бобыр В. А., Райнов А. О. Чувствительность судовой эргатической функции определение места судна	15
Бужбецкий Р. Ю. Формализация взаимодействия судов при опасном сближении	26
Бурмака И. А. Условие существования множества маневров расхождения судов изменением скоростей	32
Вагущенко А. А. Планирование расхождения с судами уменьшением скорости с возвращением к прежнему ее значению	38
Вагущенко А. Л., Вагущенко А. А. Прогноз зоны, отражающей ограничение «цели» на В-маневр	46
Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. А. Предотвращение столкновения при чрезмерном сближении	53
Вишневский Д. О., Вишневская О. Д. Моделирование закрепления универсальных судов за схемами движения	62
Ворохобин И. И., Северин В. В. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения	71
Гайченя А. В. Аналитическое описание загрузки судна методами теории исследования операций	77
Заїчко С. І., Сандлер А. К., Карпілов О. Ю. Система керування роторним багатосекційним вітровоушієм	85
Іванова А. С. Навчання майбутніх судноводіїв міжнародних правил попередження зіткнень суден у морі англійською мовою через використання мнемічних прийомів	91
Казак Ю. В. Влияние погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна	96
Кошевой В. М., Пашенко Е. Л. Анализ аperiодических составных многофазных сигналов с дополнительной амплитудной модуляцией	101
Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов	112

Лысый А. А.

Прогнозирование тренд–сезонных процессов при обеспечении судоходства в Азовском море.....119

Нікольський В. В., Накул Ю.А., Стовманенко В. С.

Система контролю завантаження контейнеровозів..... 127

Омельченко Т. Ю., Мартыненко К. С.

Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов137

Петриченко Е. А.

Имитационное моделирование процесса расхождения судов в стесненных водах143

Петров И. М.

Моделирование параметров судов, влияющих на продолжительность их грузовой обработки в сервисных эргатических системах149

Пипченко А. Д.

Анализ аварийности мирового флота 2005-2015.....159

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

Уточнение математической модели ходкости контейнеровоза класса ULCS по результатам испытаний.....169

Примина Н. Н.

Развитие профессиональных умений будущих судоводителей на основе прочитанных англоязычных лоций177

Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л.

Координация безопасного расхождения трех судов185

Савчук В.Д., Хомяков В.Ю.

Способ загрузки малотоннажного однотрюмного судна несколькими видами навалочных грузов 194

Сикирин В. Е.

Формализация системы принятия решений по управлению движением судна203

Торский В. Г., Топалов В. П., Торский В. В.

К вопросу экономической оценки надежности судовождения209

Берестовой А.М., Янчецкий А.В., Черныш А.А.

Блок-схема алгоритма расчета маневра последнего момента.....218

Гладких И. И., Чеча А. П.

Динамическое моделирование энк на устьевых участках рек224

Рефераты 230

CONTENTS

<i>Alekseychuk B. M., Pasechnyuk S. S.</i> Identification of measurement error distribution law	10
<i>Bobyry V. O., Raynov O. O.</i> Formalization of vessels' interaction at dangerous approach	15
<i>Buzshbetskiy R. Y.</i> Sensibility of a ship's ergative function determining ship position	26
<i>Burmaka I. A.</i> Condition of existence of manoeuvres of vessel's passing by speed variation	32
<i>Vagushchenko A. A.</i> Planning of passing by the ships by reduction with return to its former value	38
<i>Vagushchenko A. L., Vagushchenko A. A.</i> Prediction of the zone, reflecting restrictions of the target on b-maneuver	46
<i>Vagushchenko L. L., Vagushchenko A. A.</i> Prevention of collision at excessive approach	53
<i>Vishnevskiy D., Vishnevskaya O.</i> Modelling of the vessels assigned to the route schemes	62
<i>Vorohobin I. I., Severin V. V.</i> Transformation of vector error to error of lateral deviation	71
<i>Gaychenya A. V.</i> Analytical description of vessel loading using the theory of operations research	77
<i>Zaichko S., Sandler A., Karpilov O.</i> The control system of rotary multisection sailing engine	85
<i>Ivanova A.</i> Teaching future navigators international regulations for preventing collisions at sea in English via the use of mnemonic techniques	91
<i>Kazak Y. V.</i> Influencing the error of helm change over on exactness of ship's turn	96
<i>Koshevyy V., Pashenko O.</i> Analysis aperiodic compound multiphase signals with additional modulation	101
<i>Kulakov M. A.</i> Procedure of determination of passing by manoeuvre by variation of ship's speed	112

Lysiy A. A.

Forecast the trend –seasonal processes in keeping navigation practicable in the Azov Sea119

Nikolskyi V. V., Nakul Y. A., Stovmanenko B. O.

Loading system control container ships 127

Omelchenko T. Y., Martinenko K. S.

Estimation of minimum possible distance of vessels' approaching137

Petrichenko Y. A.

Imitation design of process of vessels' passing by in the congested waters142

Petrov I. M.

Modeling of parameters of the vessels influencing duration of their cargo handling in service ergatic systems149

Pipchenko O.

World fleet incidents statistics 2005-2015.....159

Pipchenko O., Kopanskiy S., Shevchenko V.

Refinement of an ultra large container ship mathematical model based on the speed trials results169

Primina N. N.

Developing future navigators' professional skills on the basis of the read english sailing directions.....177

Pjatakov E. N., Kapanskiy S. V., Volkov E. L.

Coordination of three ships passing by safely185

Savchuk V. D., Khomiakov V. Yu.

The method of the loading of low-tonnage monohold vessel with few types of bulk cargo.....194

Sikirin V. E.

Formalization of system of decision making on traffic control of ship.....203

Torskiy V. G., Topalov V. P., Torskiy V. V.

The concept of economic assessment of navigation reliability209

Berestovoy A.M., Yanchetskiy O.Y., Chernysh A. A.

Block-diagram of the algorithm for calculating the maneuver of last moment.....218

Gladkykh I. I., Checha A. P.

Dynamic models of enc in the estuaries of rivers224

УДК 656.61.052

**IDENTIFICATION OF MEASUREMENT ERROR
DISTRIBUTION LAW****ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ****V.M. Alekseychuk, master, S.S. Pasechnyuk, PhD student****В.М. Алексейчук, магистр, С.С. Пасечнюк, аспирант***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

The results of verification of hypotheses of distributing errors of the navigation measurings are presented in the article on the basis of statistical materials from authentic external environment. It is shown that the errors of measuring navigation parameters, the selection of which is made during two days, are subject to the mixed laws of both types.

Keywords: errors of the navigation measurings, verification of hypotheses of distributing errors, mixed laws of distributing.

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

Одной из важнейших проблем повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. Высокоточная информация о текущем положении судна и его параметрах движения необходима для обеспечения безопасного судовождения. В свою очередь, точность определения места судна при избыточных измерениях существенным образом зависит от закона распределения их погрешностей, что обуславливает необходимость их экспериментального определения.

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

Вопросам рассмотрения локальных радионавигационных систем и их точности посвящены работы [3, 4]. В публикации [3] рассмотрены вопросы разработки высокоточных радиолокационных систем обращенного типа, а в работе [4] анализируются вопросы обеспечения высокой точности проводки судна в узкости при помощи корреляционных методов навигации. В рассмотренных работах показано, что высокая точность контроля текущего места судна достигается за счет измерения избыточных навигационных параметров, для обработки которых используется метод наименьших квадратов. Использование этого метода предполагает распределение погрешностей измерения навигационных параметров по закону Гаусса. Однако,

как показывают статистические исследования, закон распределения погрешностей измеряемых навигационных параметров зачастую может отличаться от нормального закона [1, 2]. Это обстоятельство повело к поиску альтернативных законов распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений, и проверка их на материалах натуральных наблюдений, чему посвящена данная статья.

Формулировка целей статьи

Целью данной статьи является проверка статических гипотез распределения погрешностей навигационных измерений, представленных выборками, полученными в натуральных наблюдениях.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В порту Дакар получены четыре выборки случайных погрешностей измерения пеленга, дистанции, широты и долготы. В течении двух суток производились измерения указанных навигационных параметров, и каждая выборка состоит из 250 членов. Основные характеристики указанных четырех выборок приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики выборок

Навигационный параметр	Число измерений	Среднее значение	Дисперсия D	С. к. о. σ
пеленг	250	122,21°	0,246	0,496° = 29,76'
дистанция	250	0.1206 мм	5,68	2,38 м
широта	250	14°41'.0030 N	38,11	6,17 м
долгота	250	17°25'.4313 W	39,84	6,31 м

Каждая из выборок погрешностей измерения разделена на 20 разрядов с длиной каждого разряда равной половине значения σ . Для полученных выборок были построены гистограмма и произведена проверка статистических гипотез [5], в процессе которой определялась степень согласия статистического материала каждой выборки с выбранными законами распределения вероятностей погрешностей.

В качестве альтернативных законов выбран нормальный закон [5]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

и смешанные законы первого и второго типа [6, 7]:

$$f_1(x) = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} \cdot 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}, \quad (n \leq 6)$$

$$f_2(x) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1)\alpha^{n+1}}{\sqrt{2}2^{n+1}n!} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1,5}}, \quad (n \leq 5)$$

Для расчета критерия согласия χ^2 – Пирсона используется гистограмма, а расчет производится по формуле [5]:

$$\chi^2 = \sum_1^s \frac{(m_i - NP_i)^2}{NP_i},$$

где s - число разрядов гистограммы; N – количество членов выборки;

$P_i = F[\frac{\sigma}{2}(i - \frac{s}{2})] - F[\frac{\sigma}{2}(i - \frac{s}{2} - 1)]$, здесь $F[x]$ - функция распределения погрешности.

Для каждой выборки рассчитаны значения критерия согласия χ^2 – Пирсона с указанными законами распределения вероятностей погрешностей, и в качестве закона распределения выбирался тот, для которого критерий согласия χ^2 – Пирсона имеет минимальное значение.

В качестве примера на рис. 1 показана гистограмма погрешностей измерения пеленга и кривая плотности смешанного распределения второго типа с существенным параметром $n=3$.

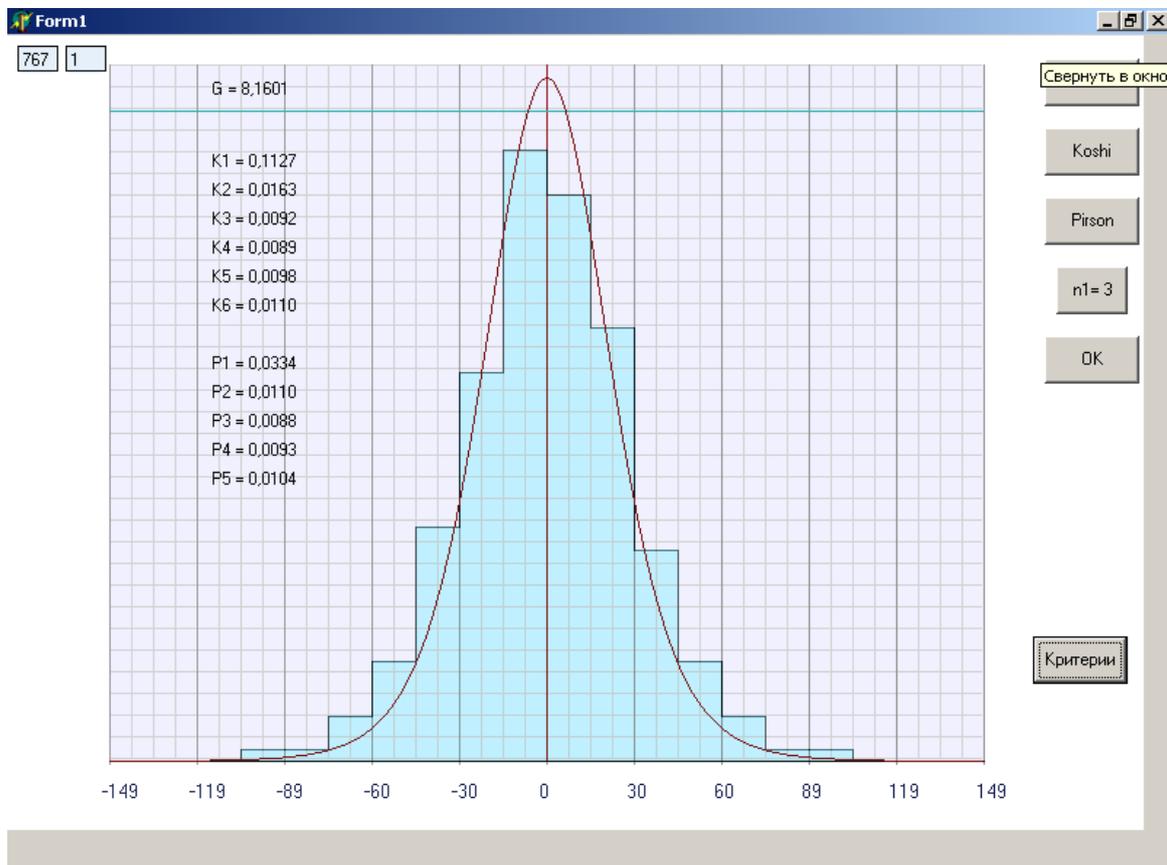


Рис. 1. Гистограмма выборки погрешностей пеленга

Результаты проверки гипотез представлены в табл.2.

Таблица 2. Итоговые результаты натурных наблюдений

№	Навигационный параметр	Число членов	Закон распределения	χ^2	Длительность наблюдений
1	пеленг	250	2-го типа n=3	0,0088	2 суток
2	дистанция	250	1-го типа n=4	0,0088	2 суток
3	широта	250	1-го типа n=1	0,010	2 суток
4	долгота	250	2-го типа n=1	0,009	2 суток

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

В случае отличия закона распределения погрешностей навигационных измерений от нормального закона при наличии избыточных измерений и расчете обсервованных координат методом наименьших квадратов происходит потеря их точности. При этом дисперсия обсервованной точки может быть в два раза больше минимально возможной дисперсии, полученной методом максимального правдоподобия [6]. Снижение точности обсервации сопряжено с ростом вероятности возникновения навигационной аварии.

Анализ итоговой таблицы показывает, что погрешности измерения пеленга и дистанции, как и погрешности широты и долготы, на интервале времени более суток подчинены смешанным законам распределения. Это указывает на целесообразность использования наряду с методом наименьших квадратов метода максимального правдоподобия для расчета координат при избыточных измерениях.

В дальнейшем целесообразна проверка гипотез распределения полученного статистического материала по обобщенному закону Пуассона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна/ В.Т. Кондрашихин – М.: Транспорт, 1989. – 250 с.
2. Hsu D.A. An analysis of error distribution in navigation/ D.A. Hsu // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426-429.
3. Алексишин В.Г. Перспективы разработки навигационных систем обращенного типа / В.Г Алексишин, Д.А. Бузовский // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 3 – 6.
4. Широков В.М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / В.М. Широков // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103 – 107.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель - М.: Наука, 1969. - 576 с.
6. Бурмака И.А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / Бурмака И.А., Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.

адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 1 (35). – С. 24-29.

7. Астайкин Д.В. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов / Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 3 –9.

УДК 005.961:656.6

SENSIBILITY OF A SHIP'S ERGATIVE FUNCTION OF SHIP POSITION DETERMINATION**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СУДОВОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА**

V.O. Bobyr, *PhD, associate professor*, **O.O. Raynov**, *senior lecturer*
В.А. Бобыр, *к.т.н., доцент*, **А.О. Райнов**, *старший преподаватель*

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

ABSTRACT

The sensibility of a ship's ergative function of ship position determination is defined. A technique of evaluation of errors of latitude and longitude determination which depend on navigational parameter measurement error has been developed. Terms and conditions for reducing of a ship's ergative function of ship position determination entropy have been fixed under which: positioning accuracy where the vessel is located will be within the actual accuracy of the navigation parameter measurement; accuracy of measuring of navigation parameters will be maximal.

Key words: ship's ergative function, ship position determination, sensibility, entropy, measuring accuracy, navigational parameters, latitude and longitude.

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

Эффективность работы систем, предназначенных для определения места судна, оценивается на основе международных стандартов точности судовождения, введенными Резолюцией ИМО А.1046 (27) 2011 г.

Однако в этой Резолюции, во-первых, не установлена точность измерения навигационных параметров, обеспечивающая требуемую точность определения места судна. А во-вторых, не указано, что следует принимать за характеристику точности места - эллипс, круг, квадрат, прямоугольник или ромб погрешностей, или погрешности в определении широты и долготы. Такое положение препятствует эффективному контролю над «человеческим фактором» и дальнейшему совершенствованию приемов и методов определения места судна, как с помощью визуальных наблюдений оператором, так и с помощью автоматизированных радионавигационных систем.

При визуальных наблюдениях точность определения места судна напрямую зависит от действий оператора при измерении навигационного параметра, которые должны обеспечить требуемую точность его измерения.

В радионавигационных системах, например, используемых при динамическом позиционировании (СДП), точность определения места судна зависит от точности математической модели, заложенной в алгоритм

радионавигационной системы. А требуемая точность определения места судна с помощью СДП оценивается величиной 1 м.

В обоих случаях эта зависимость описывается чувствительностью судовой эргатической функции (СЭФ) определение места судна.

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

Современный научный подход к оценке точности определения места судна основан на определении площади вероятного нахождения истинных линий положения, которые описываются эллипсом или кругом погрешностей [1]. На наш взгляд при таком подходе:

1) не учитывается влияние места нахождения судна относительно наблюдаемого объекта, по которому измеряется навигационный параметр, а также и величина самого навигационного параметра на погрешность в определении, как широты, так и долготы места судна;

2) фигуры погрешностей не связаны с действиями оператора – его фактическими погрешностями при измерении навигационного параметра, поскольку характеристика точности определения места судна – эллипс погрешностей может быть построен и до начала наблюдений.

Первые шаги для устранения указанных недостатков в мировой практике судовождения уже сделаны.

Так, в стандарте STANAG 4278, принятом странами НАТО [2], при решении задач навигации за характеристику точности места судна приняты погрешности в раздельном определении широты и долготы.

Международной ассоциацией морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС) за критерий точности используемых в настоящее время средств и методов измерения навигационных параметров при определении места судна принята точность на расстоянии одной мили, а при оценке точности измерения пеленга рекомендуется также учитывать влияние широты места [3].

В работе [4] была сделана попытка привести показатели основных и резервных навигационных систем динамического позиционирования (СДП) к одинаковым единицам измерения - географическим координатам навигационных объектов и судна и относительным их положением - пеленгом и расстоянием между ними.

В работе [5] достаточно полно рассмотрены эргатические функции судовых эргатических систем в транспортном процессе на морском флоте, как взаимосвязь требований двух видов законов – экономических и естественных (законов природы). Это позволяет уменьшить энтропию (неопределенность) судовой эргатической функции определение места судна при известной зависимости между погрешностями оператора при измерении навигационного параметра и характеристикой точности раздельного определения координат места судна – широты и долготы.

Формулирование целей статьи и постановка задачи

Цель статьи – определить судовые эргатические функции определение места судна, связывающие действия оператора по измерению навигационного параметра с результатом его действий – точностью определения, как широты, так и долготы места судна.

Задача статьи – определить чувствительность судовых эргатических функций определения места судна по измерениям расстояния до объекта, пеленга на объект, высоты небесного светила и его азимута.

Изложение материала исследования

Эргатическая функция - это любое изменение энтропии связи элементов внутри эргатической системы и ее связей с внешней средой, рассматриваемыми с точки зрения производственных целей и задач. В данном случае – с точки зрения требований к точности определения широты и долготы места судна.

Выражение, описывающее судовую эргатическую функцию определение одной координаты места судна K по одному измеряемому параметру, можно представить в общем виде, как:

$$K = f(q), \quad (1)$$

где $f(q)$ – аналитическое описание судовой эргатической функции определение места судна; q – показатель навигационного параметра.

После дифференцирования (1) по K и q перехода к конечным приращениям получаем выражение, характеризующее взаимодействие элементов судовой эргатической функции определение места судна:

$$\Delta K = f'(q)\Delta q, \quad (2)$$

где ΔK – приращение координаты места судна; $f'(q)$ - производная судовой эргатической функции; Δq – приращение показателя навигационного параметра, как результат взаимодействия оператора с наблюдаемым объектом, которое направлено на уменьшение энтропии.

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренному расстоянию до объекта в прямоугольной системе координат на поверхности Земли можно представить как уравнение окружности проходящей через точку с искомыми координатами судна:

$$(\varphi - \varphi_0)^2 + (\lambda - \lambda_0)^2 = d^2, \quad (3)$$

где φ и λ – широта и долгота места судна; φ_0 и λ_0 – широта и долгота наблюдаемого объекта, до которого измерено расстояние d .

На основе (2) после дифференцирования (3) по φ и d , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем:

$$\Delta\varphi_d = d(\varphi - \varphi_0)^{-1} \Delta d, \quad (4)$$

где $\Delta\varphi_d$ – изменение широты места при изменении измеряемого расстояния на величину Δd .

После дифференцирования (3) по λ и d , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем:

$$\Delta\lambda_d = d(\lambda - \lambda_0)^{-1} \Delta d, \quad (5)$$

где $\Delta\lambda_d$ – изменение долготы места при изменении измеряемого расстояния на величину Δd .

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренному пеленгу на объект в прямоугольной системе координат на плоскости можно представить, как уравнение прямой, проходящей через точку с искомыми координатами судна и место объекта, на который взят пеленг:

$$\varphi - \varphi_0 = \operatorname{tg} \alpha \cdot (\lambda - \lambda_0), \quad (6)$$

где α – угол между направлением на объект и осью абсцисс.

По аналогии с действиями при получении формул (4) и (5) после дифференцирования (6) по φ , λ и α , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем:

$$\Delta\varphi_\alpha = \sec^2 \alpha \cdot (\lambda - \lambda_0) \cdot \Delta\alpha, \quad (7)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -\cos ec^2 \alpha \cdot (\varphi - \varphi_0) \cdot \Delta\alpha, \quad (8)$$

где $\Delta\varphi_\alpha$ и $\Delta\lambda_\alpha$ – изменения широты и долготы места судна при изменении измеряемого пеленга на величину $\Delta\alpha$.

Таким образом, формулы (4), (5), (7) и (8) демонстрируют очевидную зависимость изменений в определяемых широте и долготе места судна по измеренным расстояниям до объекта или пеленга на него не только от изменений в расстоянии или пеленге, но и от координат судна и наблюдаемого объекта.

Формулы (7) и (8) приемлемы при использовании карт с прямоугольной системой координат, у которой масштабы по оси абсцисс и ординат одинаковы. Например, такой является универсальная поперечная меркаторская система координат (Universal Transverse Mercator System) применяемая в системах динамического позиционирования. И конечно, в этом случае необходимо перевести углы в радианы, а мили в метры.

На судах прокладка измеренных расстояний до объекта и пеленгов на него ведется на морских путевых картах меркаторской проекции, на которой масштабы координатных осей зависят от широты места. Из этого следует, что:

$$\varphi - \varphi_0 = d \cdot \cos \alpha, \quad (9)$$

$$\lambda - \lambda_0 = d \cdot \sin \alpha \cdot \sec \varphi_{cp}, \quad (10)$$

где $\varphi_{cp} = (\varphi - \varphi_0)/2$ – средняя широта, как полусумма широт места судна и наблюдаемого объекта.

Подставим формулы (9) и (10) в формулы (4), (5), (7) и (8). С учетом перевода угла в радианы получаем выражения для расчета чувствительности в определяемых широте и долготе места судна в зависимости от приращений в измерении расстояний до объекта и пеленгов на него, места нахождения судна относительно наблюдаемого объекта и величины измеренного пеленга и расстояния до объекта при использовании морских путевых карт:

$$\Delta\varphi_d = \sec \alpha \cdot \Delta d, \quad (11)$$

$$\Delta\lambda_d = \cos\varphi_{cp} \cdot \cos eca \cdot \Delta d, \quad (12)$$

$$\Delta\varphi_\alpha = 0,017 \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \sec\alpha \cdot \sec\varphi_{cp} \cdot d \cdot \Delta\alpha, \quad (13)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -0,017 \cdot \operatorname{ctg}\alpha \cdot \cos eca \cdot d \cdot \Delta\alpha, \quad (14)$$

Анализ формул (11) – (14) показывает, что даже незначительное изменение в Δd или $\Delta\alpha$ при определенных условиях может привести к многократному увеличению $\Delta\varphi_d$ и $\Delta\lambda_d$ или $\Delta\varphi_\alpha$ и $\Delta\lambda_\alpha$. Например, при значениях α близких к девяносто градусам незначительная величина $\Delta\alpha$ приведет к тысячекратному увеличению $\Delta\varphi_\alpha$.

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренной высоте небесного светила можно представить, как уравнение сферической окружности, проходящей через точку с искомыми координатами судна:

$$\sinh = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos(t_{cp} + \lambda), \quad (15)$$

где h – измеренная высота светила; δ и t_{cp} – склонение и гринвичский часовой угол светила, которые являются географическими координатами светила на карте – его полюса освещенности: географическая широта полюса освещенности равна склонению светила δ , а географическая долгота полюса освещенности – гринвичскому часовому углу светила t_{cp} .

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренному азимуту небесного светила можно представить, как уравнение изоазимуты, проходящей через точку с искомыми координатами судна:

$$\operatorname{ctg}A = \cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot \operatorname{cosec}(t_{cp} + \lambda) - \sin\varphi \cdot \operatorname{ctg}(t_{cp} + \lambda), \quad (16)$$

где A – измеренный азимут светила.

После дифференцирования (15) по h и φ , и по h и λ , а (16) по A и φ , и по A и λ , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем выражения для расчета чувствительности в определяемой широте и долготе места судна в зависимости от приращений в измеряемой высоте и азимуте светила, величины измеренной высоты и азимута светила, координат места судна и координат выбранного для наблюдений светила:

$$\Delta\varphi_h = \cosh \cdot (\cos\varphi \cdot \sin\delta - \sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \operatorname{cost}_m)^{-1} \cdot \Delta h, \quad (17)$$

$$\Delta\lambda_h = -\cosh \cdot (\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \operatorname{sint}_m)^{-1} \cdot \Delta h, \quad (18)$$

$$\Delta\varphi_A = [\sin^2 A \cdot (\sin\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot \operatorname{cosect}_m + \cos\varphi \cdot \operatorname{ctgt}_m)]^{-1} \cdot \Delta A, \quad (19)$$

$$\Delta\lambda_A = \sin^2 t_m \cdot [\sin^2 A (\cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot \operatorname{cost}_m - \sin\varphi)]^{-1} \cdot \Delta A, \quad (20)$$

где $t_m = t_{cp} + \lambda$ – местный часовой угол светила; $\Delta\varphi_h$ и $\Delta\varphi_A$ – изменения широты места судна при изменении измеряемой высоты и азимута светила на величины Δh и ΔA ; $\Delta\lambda_h$ и $\Delta\lambda_A$ – изменения долготы места судна при изменении измеряемой высоты и азимута светила на величины Δh и ΔA .

Формулы (17) - (20) также наглядно демонстрируют очевидную зависимость изменений в определяемых широте и долготе места судна по измерениям высот и азимутов светил, как от изменений в высоте и азимуте

светил, так и от географических координат судна и светила на поверхности Земли. Анализ этих формул показывает, что даже незначительное изменение в Δh или ΔA при определенных условиях может привести к многократному увеличению $\Delta \varphi_h$ и $\Delta \lambda_h$ или $\Delta \varphi_A$ и $\Delta \lambda_A$.

Для оценки точности определения широты и долготы места судна необходимо перейти к погрешностям измерений.

Выражение для стохастической модели погрешности реализации судовой эргатической функции определение места судна по уменьшению ее энтропии в общем виде получим из (2) на основе [4]:

$$\Delta K = \varphi'(q)(m + t\sigma), \quad (21)$$

где m и σ – математическое ожидание и стандартное отклонение погрешности измерений навигационного параметра; число t , которое зависит от закона распределения случайной величины - погрешности измерений навигационного параметра и заданной вероятности. В данном случае второй множитель правой части (21) является характеристикой действий оператора по уменьшению энтропии судовой эргатической функции определение места судна.

В практике судовождения в настоящее время при определении места судна получить оценки величин m и σ на основе статистического ряда наблюдений, а значит тем самым уменьшить энтропию (неопределенность), возможности нет.

За оценку математического ожидания обычно принимают стандартные отклонения погрешностей измерений поправок к измеренному навигационному параметру – поправки компаса, поправки индекса секстана и т.д., которые периодически определяются оператором на судне.

Резолюцией ИМО А.1046 (27) установлена точность определения места судна с вероятностью 0,95. Этой вероятности в формуле (21) соответствует число $t \approx 2$.

Оценки стандартного отклонения измерения навигационного параметра получают по данным из навигационных пособий, справочников, руководств компании по навигации и т.п.

Таким образом, на практике фактическая точность измерения навигационных параметров в каждом случае наблюдений остается неопределенной. Поэтому такой же неопределенной остается и точность определения места судна. Ее оценка зависит, главным образом, от того, из какого справочника получены данные об оценках погрешностей измерения навигационных параметров.

В работе [4] показано, что избавиться от оценок точности, основанных на статистических наблюдениях, можно, воспользовавшись выражением для чувствительности судовой эргатической функции, как ее технологической возможности обеспечить уменьшение энтропии в соответствии с регламентирующими требованиями к допустимому изменению показателя ΔK с помощью данного прибора измерений навигационного параметра:

$$\Delta K = \varphi'(q) \cdot [0,01k \cdot (\psi_{max} - \psi_{min}) + 1,208c], \quad (22)$$

где k - класс точности прибора для измерений навигационного параметра, представляющий собой наибольшую систематическую приведенную

относительную погрешность измерений данным прибором; ψ_{max} и ψ_{min} – значения верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы прибора; c – цена деления шкалы измерительного прибора, как характеристика стандартной погрешности измерений этим прибором с вероятностью 0,9973.

Таким образом, с помощью класса точности прибора измерения навигационного параметра можно нормировать энтропию судовой эргатической функции определение места судна, то есть, уменьшить неопределенность этой функции.

К сожалению, в настоящее время класс точности для приборов измерения навигационных параметров – пеленгаторов, радиолокаторов, секстанов и т.п. не установлен.

Тем не менее, полученные нами выражения для определения чувствительности судовых эргатических функций определения места судна по измерениям навигационных параметров позволяют установить условия для уменьшения энтропии (неопределенности), при которых:

1) точность определения координат места судна будет находиться в пределах фактической точности измерения навигационного параметра;

2) точность измерения навигационных параметров будет максимальной.

Для решения первой задачи ограничимся рассмотрением измерений пеленгов. После преобразований из (13) и (14) получим выражения для определения условий, при которых погрешности в определении широты и долготы места будут равны погрешностям в измерении пеленга, выраженной в одинаковых с широтой или долготой единицах:

$$ctg\alpha \cdot \cos\alpha \geq d \cdot \sec\varphi_{cp}, \quad (23)$$

$$tg\alpha \cdot \sin\alpha \geq -d. \quad (24)$$

По формуле (23) оценим величины пеленгов для значений φ_{cp} равных 0° , 45° и 80° , принимая $d=10$ миль, при которых погрешность в определении широты места $\Delta\varphi_\alpha$ будет равна погрешности в измерении пеленга. Множитель в правой части (23) будет изменяться в диапазоне от 10 до 57,6. Это соответствует величинам α от 1° до 6° и соответственно величинам пеленгов - от 84° до 106° и от 264° до 275° .

Оценки пеленгов, полученные по формуле (24) для расстояния до пеленгуемого объекта $d=10$ миль, показывают, что погрешность в определении долготы места $\Delta\lambda_\alpha$ будет равна погрешности в измерении пеленга при его значениях в диапазоне от 355° до 005° и от 175° до 185° .

С уменьшением расстояния до пеленгуемого объекта, например, при $d=1$ мили диапазоны пеленгов увеличиваются до 45° .

Таким образом, для уменьшения влияния погрешностей в измеряемом пеленге на определяемую широту места необходимо пеленговать объекты, пеленга на которые близки к направлению $E - W$. А для определяемой долготы места - объекты, пеленга которых близки к направлению $N - S$.

Выбор объектов для пеленгования зависит от того, какую координату в данных условиях необходимо знать точнее – широту или долготу. Если возможностей в таком выборе нет, то по формулам (11) – (14) можно оценить

влияние погрешностей в измеряемом навигационном параметре на погрешности в определяемых широте и долготе места судна.

Вопрос уменьшения или сведения до пренебрежимо малой величины влияние точности измерения навигационных параметров на точность определения координат места судна рассмотрим на примере определения места судна по измеренным высотам светил. Для этого проанализируем выражения (17) и (18) на максимум-минимум по упрощенной схеме без дифференцирования этих выражений.

В формуле (17) величина $\Delta\varphi_h$ может достигнуть минимума при достижении числителем правой части этой формулы минимума, а знаменателем - максимума. Учитывая, что широта места не выбирается, условие достижения минимума $\Delta\varphi_h$ можно записать так:

$$\cosh \rightarrow \min, ; \quad (25)$$

$$\cos\delta \cdot \cos t_m \rightarrow \max. \quad (26)$$

Из анализа формул (25) и (26) следует вывод о том, что для сведения погрешности в определяемой широте места судна до пренебрежимо малой величины или уменьшения влияния на нее погрешности в измеряемой высоте для наблюдений необходимо подбирать светила с большей высотой, малым склонением, расположенные вблизи меридиана наблюдателя.

Величина $\Delta\lambda_h$ в формуле (18) может достигнуть минимума при достижении числителем правой части этой формулы минимума, а знаменателем - максимума. Учитывая, что долгота места также не выбирается, условие достижения минимума $\Delta\lambda_h$ можно записать так:

$$\sinh \rightarrow \min, \quad (27)$$

$$\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin t_m \rightarrow \max. \quad (28)$$

Вывод, который можно сделать из анализа формул (27) и (28), говорит о том, что для сведения погрешности в определяемой долготе места судна до пренебрежимо малой величины или уменьшения влияния на нее погрешности в измеряемой высоте для наблюдений необходимо подбирать светила с малой высотой, малым склонением, расположенные вблизи первого вертикала.

Уравнения (23) – (28) могут служить основой для разработки методов уменьшения энтропии (неопределенности) судовой эргатической функции определение места судна.

Для количественной оценки влияния погрешностей в измеряемом навигационном параметре на погрешности в определяемых широте и долготе места судна рассмотрим примеры расчетов чувствительности судовой эргатической функции определение места судна по формулам (11) – (14), (17) и (18).

Пример 1. При навигационной проработке перехода от выбранного объекта был проложен ограждающий пеленг в 2 милях от опасности. Направление пеленга 13° , $\alpha = 90^\circ - 13^\circ = 77^\circ$. Расстояние между пеленгуемым объектом и опасностью – 15 миль. Определим чувствительность пеленга по широте $\Delta\varphi_\alpha$ и по долготе $\Delta\lambda_\alpha$, если стандартная погрешность в измеряемом пеленге $\Delta\alpha = 0,5^\circ$.

С учетом (21), перевода градусов в радианы и для значений $tg77^\circ=4,33$; $sec77^\circ=4,44$; $Sec15'=1,00$; $ctg77^\circ=0,23$ и $cosec77^\circ=1,02$ с вероятностью 0,95 по формулам (13) и (14) получаем $\Delta\varphi_\alpha = 2,45$ мили и $\Delta\lambda_\alpha = 0,03$ мили. Это значит, что судно будет находиться на траверзе опасности в прямоугольнике со сторонами 2,45 мили по широте (вертикали) и 0,03 мили по долготе (горизонтали).

Таким образом, данные расчетов говорят о том, что этот ограждающий пеленг с вероятностью 0,95 не обеспечит прохождение опасности на расстоянии не менее 2 мили.

Пример 2. В точке со счислимыми координатами $\varphi = 31,3N$ и $\lambda = 149,3W$ для определения места судна были подобраны звезды - Сириус $h = 42^\circ$ с координатами полюса освещенности $\delta = 16,7S$ и $t_m = 03,6W$ и Регул $h = 43,3^\circ$ с координатами $\delta = 12,1N$ и $t_m = 46,3E$. Разность азимутов между светилами – 81° . За погрешность в определении высот светил принято стандартное отклонение равное $0,6'$ одинаковое для обоих измерений. Определим чувствительность каждой высотной линии положения по широте $\Delta\varphi_h$ и по долготе $\Delta\lambda_h$.

С учетом (21) с вероятностью 0,95 для значений $cos42^\circ=0,743$; $sin42^\circ=0,669$; $cos43,3^\circ=0,728$; $sin43,3^\circ=0,686$; $cos31,3^\circ=0,854$; $sin31,3^\circ=0,52$; $cos12,1^\circ=0,978$; $sin12,1^\circ=0,209$; $sin46,3^\circ=0,723$; $cos46,3^\circ=0,691$; $cos16,7^\circ=0,958$; $sin16,7^\circ=0,287$; $cos03,6^\circ=0,998$; $sin03,6^\circ=0,063$ по формулам (17) и (18) получаем, что для изолинии по Сириусу $\Delta\varphi_h = -1,7$ мили и $\Delta\lambda_h = -8,6$ мили, а для Регула $\Delta\varphi_h = -2,5$ мили и $\Delta\lambda_h = -3,4$ миль.

Из расчетов следует, что определять место судна по измерениям высоты Сириуса в данных условиях нельзя, так как погрешность в его измеряемой высоте в $0,6'$ приведет к многократному ее увеличению в погрешности в определяемой долготе места и составит 8,6 миль. Поэтому для наблюдений необходимо подобрать другую звезду.

Важно отметить, что полученные выше результаты не соответствуют положениям существующей теории ошибок [1].

Так, в примере 1 рассчитанная по существующей методике [6] оценка точности смещения линии положения – пеленга на маяк, находящегося на расстоянии 15 миль, с вероятностью 0,95 определена, как 0,1 мили против $\Delta\varphi_\alpha = 2,45$ мили, рассчитанной по формуле (13). То есть, расхождение в оценке точности на порядок.

Исходные данные примера 2 взяты из работы [7], в которой приведены результаты и оценка точности определения места судна по измеренным высотам Сириуса и Регула. Эта оценка по линии положения Сириуса с вероятностью 0,95 определена, как 1,5 или против $\Delta\lambda_h=8,6$ миль, рассчитанной по формуле (18). Таким образом, расхождение в оценке точности определения места судна снова на порядок.

Тот факт, что использование такого точного измерительного инструмента, как секстан, цена деления шкалы измерения угла у которого равна $0,2'$, всякий раз приводит к погрешности в определении места судна по измеренным

высотам на порядок больше этой цены деления, также ставит под сомнение правильность современной теории ошибок.

Выводы и перспектива работы по данному направлению

Таким образом, чувствительность судовой эргатической функции определение места судна определена, что позволило разработать методику оценки погрешностей определения координат места судна – широты и долготы в зависимости от погрешности в измеряемом навигационном параметре. Это, в свою очередь, дает возможность решить целый ряд теоретических и практических задач, направленных на повышение точности определения координат места – широты и долготы морских судов, самолетов и космических кораблей. К таким задачам относятся:

1. Нормирование энтропии судовой эргатической функции определения места судна на основе установления классов точности приборов измерения навигационных параметров.

2. Оценка точности координат места судна, определяемых с помощью измерения различных навигационных параметров таких, как разность высот, сумма высот, разность азимутов, скорость изменения высоты, скорость изменения азимута и т.п. на морских судах, самолетах и космических кораблях.

3. Разработка рекомендаций по выбору условий, способствующих повышению точности определения места судна по измерениям навигационных параметров.

4. Уточнение математической модели систем динамического позиционирования (СДП) для решения задач по:

- 1) повышению точности определения места судна с помощью СДП;
- 2) планированию размещения приемо-передатчиков СДП на береговых объектах и на морском дне;
- 3) выбору спутников в GPS;
- 4) определению допустимых погрешностей при измерении расстояний и направлений в СДП.

5. Планирование размещения средств навигационного ограждения на подходах к побережью, в узкостях и подходах к портам.

6. Разработка компьютерной программы для расчетов погрешностей в определении широты и долготы места судна для навигационной проработки перехода, включая подбор навигационных объектов и светил для определения координат места судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
2. Standardization within NATO on the Methods of Expressing Navigational Accuracies. - Journal of Navigation / Volume 44 / Issue January, 01st 1991, The Royal Institute of Navigation, London. - 1991 - p.p. 133-139.

3. Руководство по навигационному оборудованию. МАМС. – Международная ассоциация морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС). - Сен-Жермен: 2006. – 190 с.
4. Бобыр В.А. Избыточность в системах динамического позиционирования / Бобыр В.А., Мусаев М.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 24. – Одесса: «ИздатИнформ», 2014. - С.15-25.
5. Бобыр В.А. Судовые эргатические функции: монография / Бобыр В.А. – К.: Кафедра, 2014. – 362 с.
6. Мизерницкий А.И. Навигация / Мизерницкий А.И. – М.: Издательство «Морской транспорт», 1963. – 527 с.
7. Черниев Л.Ф. Задачник по мореходной астрономии / Черниев Л.Ф., Лукин М.Г., Кондрашихин В.Т., Кирич Ю.П., Синяев В.А. – М.: Транспорт, 1977. – 288 с.
8. Красавцев Б.И. Мореходная астрономия: Учебник для вузов / Красавцев Б.И. – М.: Транспорт, 1986. – 255 с.
9. Бобир В.О. Напрямки фундаментальних досліджень астрономічного визначення місця / Бобир В.О. // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту ім. гетьмана П.Конашевича-Сагайдачного. – К.: КДАВТ, 2014. - №3(21). – С.36-44.

УДК 656.61.052.484

FORMALIZATION OF VESSELS' INTERACTION AT DANGEROUS APPROACH

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУДОВ ПРИ ОПАСНОМ СБЛИЖЕНИИ

R. Y. Buzshbetskiy, *senior lecturer*

Р. Ю. Бужбецкий, *старший преподаватель*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

It is shown that at dangerous approach of pair of vessels between them there is interaction which is detailed in the publication. Interaction is directed on indemnification of arising situation disturbance by the passing by vessels.

The system of binary coordination is briefly considered, regulative interaction of pair of vessels in part of their concerted maneuvering conducting to the increase of distance of the close range approach.

The fragment of the COLREG -72 formalization is resulted, as binary coordinator, for the situation of dangerous approach of vessels in the conditions of good visibility.

Key words: safety of navigation, interaction of vessels, binary coordination, the COLREG-72 formalization.

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

Значительная часть эксплуатационного времени морских судов приходится на работу в стесненных условиях, где движение судна ограничено интенсивным судоходством и навигационными опасностями. Маневрирование судна в таких районах затруднено, и плавание производится по единственно безопасным, нередко весьма стесненным путям. Стесненные воды являются сложнейшими по своим условиям районами плавания, где в наибольшей степени проявляется человеческий фактор. Так морское судно проводит в стесненных водах в среднем 5-10 % ходового времени, однако на эти районы приходится свыше 80 % всех навигационных аварий. Это свидетельствует не только о большой сложности условий плавания, но и о недостаточном совершенстве методов судовождения, применяемых в стесненных водах, их большую зависимость от личных и профессиональных качеств судоводителей.

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.

Вопросам взаимодействия судов при опасном сближении посвящены работы [3, 4], причем в работе [3] рассмотрены вопросы формализации взаимодействия пары судов в различных ситуациях опасного сближения, а взаимодействие в ситуации чрезмерного сближения освещено в работе [4].

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Целью публикации является формализация взаимодействия пары судов при опасном сближении и координации их маневров расхождения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.

После возникновения ситуационного возмущения ω , его компенсация может производиться одним из судов или обоими судами. Для обеспечения безопасности расхождения необходима согласованность маневров расхождения судов, т. е. координация маневров, позволяющая увеличивать дистанцию кратчайшего сближения.

Стратегия расхождения судна содержит два участка: участок уклонения судна с программной траектории для увеличения D_{\min} и участок возвращения на программную траекторию движения.

С появлением ситуационного возмущения ω между судами возникает взаимодействие Bz , которое трансформирует программный участок относительного движения с ситуационным возмущением (когда дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. $D_{\min} < D_d$) в относительную траекторию без ситуационного возмущения (в случае дистанции кратчайшего сближения на участке уклонения большей предельно-допустимой дистанции, т. е. $D_{\min} \geq D_d$). Взаимодействие Bz прогнозирует поведение судов при расхождении и предполагает выработку согласованных стратегий каждому из взаимодействующих судов.

Поэтому взаимодействие Bz формально может быть записано следующим образом [3]:

$$G = Bz(F),$$

где $F = (D, \alpha, V_1, K_1, V_2, K_2)$ - вектор состояния системы двух судов;

$G = (G_1, G_2)$ - стратегия расхождения судов.

Таким образом, взаимодействие судов Bz – оператор или отображение параметров состояния системы двух судов во множество параметров стратегии расхождения G , причем взаимодействие Bz состоит из двух операторов: Crd - координации маневров уклонения и Prm – процедуры расчета параметров стратегии расхождения.

Взаимодействие Bz , как механизм согласования по достижению общей цели предупреждения опасного сближения, определяющее поведение каждого из судов в процессе расхождения, и прогнозирующее изменение ситуации, является крайне важным фактором, влияющим на безопасность расхождения. Таким образом, процесс расхождения является процессом компенсации ситуационного возмущения, а стратегией расхождения G является алгоритм реализации процесса расхождения.

Реализация взаимодействия Bz производится с помощью системы бинарной координации или координатора c_o , на вход которого подается вектор состояния F , а выходом являются адресные сигналы судам β_1 и β_2 . В свою очередь, каждый из сигналов β_i содержит координирующий сигнал γ_i и сигнал связи μ_i . Координирующие сигналы γ_i предписывают подмножество курсов уклонения каждого судна, обеспечивающих согласованность маневров расхождения, а сигналы связи μ_i содержат информацию каждому судну о прогнозируемом поведении другого судна. Причем, $\mu_1 = \gamma_2$ и $\mu_2 = \gamma_1$.

Координирующий сигнал γ_i состоит из трех компонентов: сигнал q_{1i} содержит информацию для каждого из судов о наличии приоритета, предписываемого координатором, а сигналы q_{2i} и q_{3i} регламентируют взаимодействующим судам возможность уклонения соответственно вправо и влево. Приведенные сигналы имеют следующие значения:

$q_{1i} = 1$, при требовании маневра расхождения (активное судно);

$q_{1i} = -1$, в случае требования неизменного движения (пассивное судно);

$q_{2i} = 1$, если правилами поворот вправо разрешен;

$q_{2i} = -1$, если правила запрещают поворот вправо;

$q_{3i} = 1$, если правилами поворот влево разрешен;

$q_{3i} = -1$, если правила запрещают поворот влево.

С помощью адресного сигнала β_i и вектора состояния F каждое из пары судов производит выбор маневра расхождения G_i из допустимого подмножества курсов уклонения, которое регламентируется координирующим сигналом γ_i .

Формализация МППСС-72 рассмотрена в работе [4], в которой каждому правилу маневрирования соответствует ситуация опасного сближения и предложена процедура, определяющая условие ее возникновения. Также для

каждой ситуации указываются сигналы координатора для каждого из взаимодействующих судов. В табл. 1 приведен фрагмент формального описания МППСС-72 для ситуаций опасного сближения в условиях хорошей видимости. Таблица содержит перечень ситуаций, возникающих при опасном сближении в области стандартных взаимных ситуаций (первая часть Правила 17), условия их возникновения и соответствующего

Таблица 1. Фрагмент формализации бинарной координации МППСС-72

№ п/п	Ситуации, условия ее возникновения и соответствующее Правило	Сигналы координатора
1.	Чрезмерное сближение судов. $\{D < 0, \max(\min D) < \min D_{доп}\}$ Правило 17.	$q = (1,1,1)$ $\mu = (1,1,1)$
2.	Ситуация обгона, обгоняющее судно, $\sin(K_2 + 67,5 - \alpha) > 0, \sin(\alpha + 67,5 - K_2) > 0,$ Правило 13.	$q = (1,1,1)$ $\mu = (-1,-1,-1)$
3.	Ситуация обгона, обгоняемое судно, $\sin(\alpha - 112,5 - K_1) > 0, \sin(K_1 + 247,5 - \alpha) > 0.$ Правило 13.	$q = (-1,-1,-1)$ $\mu = (1,1,1)$
4.	Суда с различным статусом, Правило 18. $r_1 > r_2.$	$q = (-1,-1,-1)$ $\mu = (1,1,1)$
5.	Противоположные встречные курсы, $\cos(\alpha - K_1) \leq \cos 5,$ $\cos(\alpha + 180 - K_2) \leq \cos 5.$ Правило 14.	$q = (1,1,-1)$ $\mu = (1,1,-1)$
6.	Пересекающиеся курсы, цель справа, $\sin(\alpha - K_1) > 0,$ Правило 15.	$q = (1,1,-1)$ $\mu = (-1,-1,-1)$
7.	Пересекающиеся курсы, цель слева, $\sin(\alpha - K_1) < 0,$ Правило 15.	$q = (-1,-1,-1)$ $\mu = (1,1,-1)$

Правила МППСС-72. Для каждой из ситуаций приведены сигналы координатора: координационный сигнал q и сигнал связи μ , причем каждый из сигналов имеет три составляющих:

$$q = (q_1, q_2, q_3), \mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3),$$

где, как выше указывалось, первая составляющая каждого из сигналов характеризует признак активности судна и цели, вторая составляющая характеризует возможность поворота вправо, а третья составляющая – возможность поворота влево. В таблице обозначено r_1 и r_2 - статусы соответственно судна и цели. По результатам формализации системы бинарной координации МППСС-72 проводилось имитационное моделирование, которое позволило оценить корректность и эффективность МППСС-72 в части бинарной координации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения.

На рис. 1 показан интерфейс имитационной программы для ситуации опасного сближения судов с различным статусом (судно с механическим двигателем и судно, стесненное своей осадкой). Программой определяется правило, регламентирующее взаимодействие судов. В данном примере указывается Правило 18, а также определяются значения координирующих сигналов и сигналов связи судна и цели, которые выводятся на соответствующих информационных панелях, имеющих отношение к судну и к цели.

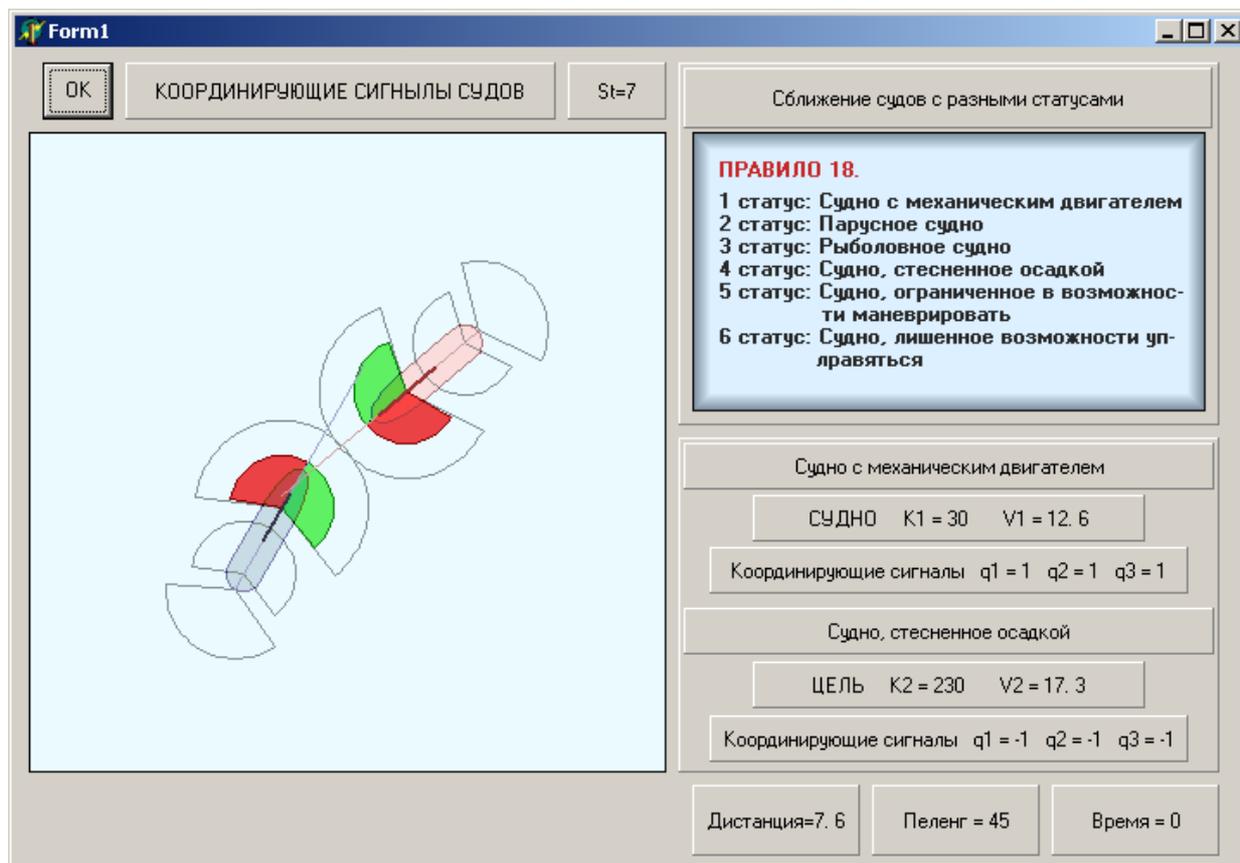


Рис. 1. Вывод координирующих сигналов и сигналов связи

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, в статье произведено аналитическое описание взаимодействия опасно сближающихся судов и предложена формализация МППСС-72 в части бинарной координации маневров расхождения судов, что создает предпосылки к разработке системы поддержки принятия решений судоводителем. В дальнейшем целесообразно формализовать МППСС-72 в части маневрирования для безопасного расхождения.

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. 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.
4. 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.

ДК 656.61.052.484

**CONDITION OF EXISTENCE OF MANOEUVRES OF
VESSEL'S PASSING BY SPEED VARIATION****УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ МНОЖЕСТВА МАНЕВРОВ
РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТЕЙ****I.A. Burmaka, PhD, associate professor****И.А. Бурмака, к.т.н., доцент***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

In the article the conclusion of condition of existence of unempty set of maneuvers of passing by pair of vessels is presented by the change of their speeds and analytical expressions of the created condition taking into account the chosen mode of braking vessels are resulted. The conclusion is finalised.

Key words: safety of navigation, maneuver of divergence of vessels by the change of speeds, great number of possible maneuvers.

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

Одной из важнейших проблем повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. Стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением в настоящее время оборудуются станциями управления движением судов, которые предназначены для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. В связи с этим разработка способов управления опасно сближающимися судами, в частности изменением их скоростей, является актуальным научным направлением.

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

Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов предлагается в статье [1], а принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения рассмотрены в работе [2].

Работы [3, 4] посвящены вопросам применения опасной области курсов судов для безопасного судовождения, причем в работе [3] рассмотрено использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения, а в работе [4] предложен маневр расхождения трех судов изменением их курсов.

Формулировка целей статьи

Данная статья посвящена определению условий существования множества маневров расхождения пары судов изменением скорости.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Первый из признаков возможного существования множества безопасных маневров расхождения изменением скоростей судов заключается в выяснении возможности изменения начального относительного курса при изменении скоростей сближающихся судов. Для этого следует рассмотреть первую производную начального относительного курса $K_{\text{отн}}$ по скорости судна V_1 .

Если первая производная $\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1}$ будет равна нулю, то изменить начальный относительный курс $K_{\text{отн}}$ маневром скорости невозможно. В противном случае следует еще убедиться, можно ли разойтись с целью в допустимой дистанции кратчайшего сближения.

Найдем выражение для $\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1}$, воспользовавшись полученной в работе [3]

зависимостью:

$$K_{\text{отн}} = \arcsin\left[\frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)}}\right].$$

Обозначим $X = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)}}$ и получим $K_{\text{отн}} = \arcsin[X]$.

Искомая производная $\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1}$ принимает вид [4]:

$$\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K}. \quad (1)$$

Для характеристики изменения относительного курса при изменении скоростей обоих судов необходимо найти производную от выражения (1) по переменной V_2 :

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = -\frac{\partial}{\partial V_2} \left(\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K} \right).$$

Дифференцируя правую часть равенства, получим:

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = - \frac{[(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K) - V_2 (2V_2 - 2V_1 \cos \Delta K)] \sin \Delta K}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^2}.$$

Обращаем внимание, что:

$$V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K - V_2 (2V_2 - 2V_1 \cos \Delta K) = V_1^2 - V_2^2 = \Delta V (V_1 + V_2),$$

где $\Delta V = V_1 - V_2$.

Следовательно:

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = - \frac{\Delta V (V_1 + V_2) \sin \Delta K}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^2}. \quad (2)$$

Анализ полученного выражения $\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2}$ показывает, что при значении $\Delta K = 0$ и

$\Delta K = 180$ числитель выражения обращается в ноль, что означает при следовании судов на контркурсах и параллельными курсами изменение скоростей судов не влияет на величину относительного курса. Поэтому в таких ситуациях маневр расхождения судов изменением скоростей невозможен, т. е. множество безопасных маневров расхождения является пустым.

Из выражения (2) также следует, что при равенстве текущих скоростей судов ($\Delta V = 0$) величина относительного курса $K_{\text{отн}}$ также не меняется. Поэтому в случае равенства начальных судовых скоростей при их одинаковом изменении маневр расхождения судов изменением скоростей невозможен.

В работе [5] показано, что область недопустимых скоростей пары судов имеет границы:

$$V_1^* = k^* V_2, \quad V_{1*} = k_* V_2,$$

$$\text{где } k^* = \frac{\sin(K_2 - \gamma^*)}{\sin(K_1 - \gamma^*)} \text{ и } k_* = \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)}.$$

Очевидно, возможное существование множества безопасных маневров расхождения имеет место при условии:

$$\infty > k^* > 0, \quad \infty > k_* > 0 \text{ и } k^* > k_*. \quad (3)$$

В противном случае множество безопасных маневров расхождения является пустым. В этом случае (3) область опасных скоростей имеет вид,

показанный на рис. 1. В данном примере параметры ситуации сближения имеют следующие значения:

$$\alpha_0 = 45^\circ, D_0 = 3 \text{ мили}, D_d = 1 \text{ мили}, K_1 = 90^\circ, K_2 = 180^\circ.$$

При начальных скоростях $V_1 = 18$ уз и $V_2 = 21$ уз дистанция кратчайшего сближения $D_{\min} = 0,23$ мили.

Если условие (3) справедливо, то учет инерционных характеристик судов при выборе безопасного маневра расхождения изменения их скоростей состоит в следующем.

С помощью области опасных скоростей определяется пара безопасных скоростей V_{1y} и V_{2y} . Из-за инерционности судов для достижения необходимых скоростей расхождения V_{1y} и V_{2y} требуется время τ_{1y} и τ_{2y} .

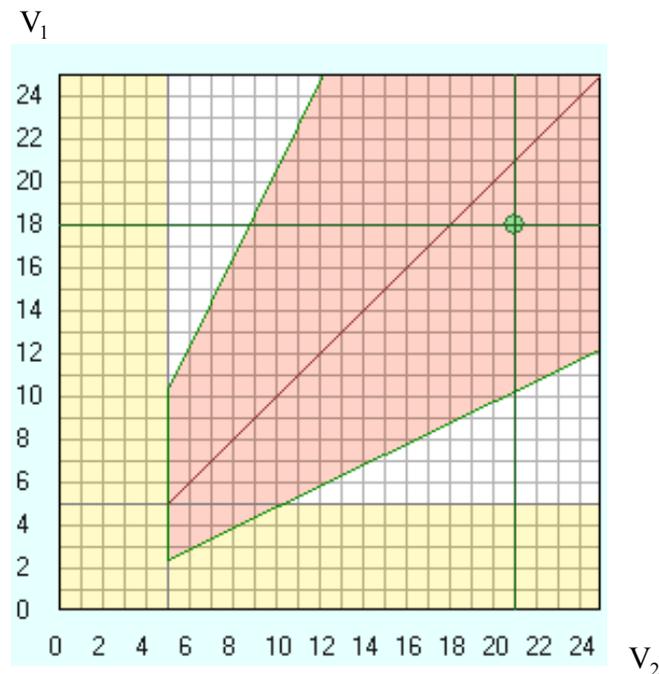


Рис. 1. Область опасных скоростей судов

В общем случае эти интервалы времени не равны между собой. Поэтому длительность переходного процесса t_p от начала изменения скоростей судов до выбранных значений V_{1y} и V_{2y} определяется большим из интервалов τ_{1y} и τ_{2y} , т. е. $t_p = \max(\tau_{1y}, \tau_{2y})$. Если в этот момент времени при неизменных курсах судов K_1 и K_2 , а также установившихся скоростях V_{1y} и V_{2y} дистанция кратчайшего сближения будет равна или больше предельно-допустимой дистанции D_d , то множество безопасных маневров расхождения существует.

Очевидно, значения скоростей V_{1y} и V_{2y} являются меньшими, чем их начальные значения V_1 и V_2 , т. е. маневр расхождения судов изменением скоростей выполняется их торможением, и суда с пониженными скоростями

следуют до момента времени кратчайшего сближения, после чего увеличивают скорости до начальных значений.

Допустим, начальная ситуация опасного сближения судов для начального момента времени $t_0 = 0$ характеризуется пеленгом α_0 и дистанцией D_0 . Так как пеленг α_0 задается с первого судна на второе, то для первого судна целесообразно принять начальные координаты $X_{10} = 0$ и $Y_{10} = 0$. Очевидно, начальные координаты второго судна имеют значения $X_{20} = D_0 \sin \alpha_0$ и $Y_{20} = D_0 \cos \alpha_0$.

С течением времени координаты судов X_{1t} , Y_{1t} , X_{2t} и Y_{2t} , а также текущие значения дистанции D_t и пеленга α_t изменяются. Обозначим через c_{mx} судно, переходной период которого больше и равный длительности общего переходного процесса t_p . Судно с меньшим переходным периодом обозначим c_{mn} . Если время начала маневра расхождения t_n превосходит начальный момент времени t_0 , то суда в течение переходного процесса t_p проходят следующие дистанции:

$$L_{mx} = V_{mx} t_n + S_{mx},$$

$$L_{mn} = V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn}),$$

где S_{mx} и S_{mn} - расстояния, которые проходят соответственно суда c_{mx} и c_{mn} за время переходного процесса изменения скоростей τ_{mx} и τ_{mn} .

К моменту времени окончания общего переходного процесса t_p координаты судов X_{mxp} , Y_{mxp} , X_{mnp} и Y_{mnp} определяются следующими выражениями:

$$X_{mxp} = L_{mx} \sin K_{mx} = (V_{mx} t_n + S_{mx}) \sin K_{mx};$$

$$Y_{mxp} = L_{mx} \cos K_{mx} = (V_{mx} t_n + S_{mx}) \cos K_{mx};$$

$$X_{mnp} = L_{mn} \sin K_{mn} = [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn})] \sin K_{mn};$$

$$Y_{mnp} = L_{mn} \cos K_{mn} = [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn})] \cos K_{mn}.$$

Значения пеленга α_p и дистанции D_p на момент времени t_p :

$$D_p = \sqrt{(X_{mxp} - X_{mnp})^2 + (Y_{mxp} - Y_{mnp})^2},$$

$$\alpha_p = \arcsin \frac{X_{mxp} - X_{mnp}}{D_p},$$

причем четверть, в которой находится пеленг α_p , определяется знаками выражений $(X_{mхр} - X_{mnp})$ и $(Y_{mхр} - Y_{mnp})$.

В момент времени t_p параметры движения обоих судов становятся неизменными, как и относительный курс $K_{отр}$. Поэтому дистанция кратчайшего сближения судов D_{min} рассчитывается с помощью формулы:

$$D_{min} = \Delta_p D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p),$$

где $\Delta_p = \text{sign}[\sin(K_{отр} - \alpha_p)]$.

Если полученное значение D_{min} равно или больше величины D_d , то существует множество допустимых маневров расхождения с помощью выбранных скоростей V_{1y} и V_{2y} . В противном случае следует выбрать другую пару скоростей V_{1y} и V_{2y} , которые не принадлежат области опасных скоростей, и повторить проверку существования множества допустимых маневров.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в данной статье получено условие существования непустого множества маневров расхождения скоростей опасно сближающихся судов с учетом их инерционности. В дальнейшем целесообразна разработка процедуры выбора оптимального маневра расхождения из полученного множества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюпиков Е.Е. Особенности расхождения с целью изменением скорости судна / Тюпиков Е.Е. // Судовождение: Сб. научн. трудов.- Вып.11/ ОНМА, – Одесса: ИздатИнформ, 2006. – С. 122 - 126.
2. Тюпиков Е.Е. Зависимость момента начала маневра расхождения изменением скорости от инерционных характеристик судна / Тюпиков Е.Е., Цымбал Н.Н. // Судовождение: Сб. научн. трудов.- Вып. 14/ ОНМА, – Одесса: Издатинформ, 2007 – С. 130 – 135.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
4. Пятаков Э.Н. Учет в автоматизированных системах принятия решений влияния изменения скорости судна на относительный курс / Пятаков Э.Н. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2013. № 4 . – С. 140 – 144.
5. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 70.

УДК 656.61.052

**PLANNING OF PASSING BY THE SHIPS BY REDACTION
WITH RETURN TO ITS FORMER VALUE****ПЛАНИРОВАНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ С СУДАМИ
УМЕНЬШЕНИЕМ СКОРОСТИ С ВОЗВРАЩЕНИЕМ К
ПРЕЖНЕМУ ЕЕ ЗНАЧЕНИЮ***A.A. Vagushchenko, 2nd Officer***A.A. Вагущенко, 2-й помощник капитана***SC «V.Ships (Ukraine)»**ДП «В.Шипс (Украина)»***ABSTRACT**

To ensure the safe passing by the ships in a number of situations, we propose a method of simplification of definition of three staged maneuver by speed, at which the time of the deviation from the voyage plan is minimal. This maneuver includes reduction of velocity, the movement with its reduced value, return to former speed. The elements of maneuver are calculated taking into account the dynamics of the own ship, using the model of its motion in the form of nonlinear differential equation. While assessing the results of the planned maneuver the special marks at the closest point of approach of the target with own ship are used.

Key words: collision avoidance, speed alteration, maneuvers planning, danger marks.

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

Совершенствование теоретических методов и разработка практических рекомендаций по повышению безопасности расхождения судов остается важным направлением научных исследований в области судовождения. Одним из актуальных вопросов в этом направлении является выбор с учетом требований МППСС72 стратегий для избегания столкновений с судами, обеспечивающих минимальные отклонения по времени от запланированного графика движения к порту назначения.

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

В практике судовождения встречаются ситуации, когда наилучшим для расхождения действием является уменьшение скорости. Это характерно для плавания в стесненных водах, в частности в системах разделения движения, где отклонения от курса являются нежелательными или опасными. Способы выбора изменения скорости в таких ситуациях рассмотрены во многих

источниках, например [2-4]. Основными недостатками этих методов является недостаточно корректный учет инерционности судна при прогнозе выполнения маневра с целью обеспечения, как безопасности расхождения в ситуациях с несколькими судами, так и минимизации потерь времени из-за отклонения от плана движения к порту назначения. Поэтому актуальным является разработка методов, позволяющих облегчить нахождение для расхождения с судами действий, включающих этап снижения хода, этап движения с пониженной скоростью и этап возвращения к прежней скорости. Назовем совокупность отмеченных действий W-маневром расхождения.

Формулировка целей статьи (постановка задачи).

Целью работы является разработка метода определения параметров эффективного W-маневра для расхождения с несколькими судами.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов.

W-маневр включает снижение и увеличение хода судна на выбранную величину ΔV . Эти процессы зависят от вида движительного комплекса судна. Ниже для определенности возьмем его наиболее распространенный вариант, включающий двигатель внутреннего сгорания и один гребной винт фиксированного шага (ВФШ). Обозначим частоту вращения винта и отвечающую ей установившуюся скорость соответственно:

F_0, V_0 – для движения судна перед маневром;

F_M, V_M – для хода выбранной пониженной скоростью;

F_F, V_F – для режима работы движительной установки, выбранного для изменения хода (F_{FT}, V_{FT} – для торможения; F_{FP}, V_{FP} – для разгона).

Таким образом, ΔV может быть представлено в виде $\Delta V = V_0 - V_M$.

Соответствующие частотам вращения винта значения установившихся скоростей судна можно найти в формуляре маневренных элементов судна.

Требования к изменению хода. Характеризуя требования к изменению хода при расхождении, следует отметить, что по возможности оно должно быть коротким по времени без значительного ухудшения управляемости судна по курсу. Поэтому при заблаговременном расхождении снижение скорости от V_0 до V_M целесообразно производить применением малого или, в крайнем случае, среднего заднего хода, так как использование полного заднего хода для этой цели неблагоприятно для главного двигателя и приводит к резкому ухудшению управляемости судна по курсу. Для уменьшения времени разгона от V_M до V_0 частоту F_{FP} вращения ВФШ в процессе разгона целесообразно брать, по возможности, на 5-10% большей F_0 . Согласно МППСС-72 применяемый для расхождения маневр должен быть решительным. Обычно считается, что снижение скорости должно составлять не меньше третьей части V_0 . Следует также учитывать, что при снижении хода уменьшается маневренность судна по курсу. При слишком малой скорости судно может стать неуправляемым, и если

ситуация начнет развиваться в опасную сторону, оно будет не в состоянии ее улучшить.

Метод определения параметров процессов торможения и разгона. Чтобы выбираемый для расхождения W-маневр был эффективным, нужно при его планировании применять адекватную математическую модель движения судна для описания процессов изменения хода. Наиболее приемлемым для рассматриваемой задачи, по нашему мнению, является использование для этой цели дифференциального уравнения[3]:

$$m_L \frac{dV}{dt} + R = P. \quad (1)$$

Здесь m_L - масса судна с учетом присоединенной массы; V - текущая продольная скорость судна; R – сила сопротивления воды движению судна; P - упор винта. Обычно удовлетворительная точность расчета процессов изменения скорости по модели (1) достигается при следующих допущениях:

- присоединенная масса в ходе маневра остается неизменной (обычно она берется равной $0.1D$, где D – водоизмещение судна);
- сопротивление воды пропорционально квадрату скорости $R = k_V V^2$, где k_V – коэффициент пропорциональности;
- частота вращения гребного винта в процессе изменения хода не зависит от скорости судна.

Для расчета P можно применить формулу [3]

$$P = k_V [c \cdot V_F^2 - (c - 1)V^2]. \quad (2)$$

Здесь $c \approx 1,2 \div 1,5$ отношение упора винта в швартовом режиме к упору винта при движении с установившейся скоростью V_F , соответствующей частоте вращения винта, используемой для изменения хода. Коэффициент k_V можно найти по формуле С.И. Демина [3]

$$k_V = 5,88 + 0,000654 \cdot S_{CM} \sqrt{\frac{B}{T}}. \quad (3)$$

В этом выражении B – ширина судна на миделе; T – средняя осадка судна; S_{CM} – площадь смоченной поверхности корпуса:

$$S_{CM} = D^{2/3} \left(4,854 + 0,492 \frac{B}{T} \right). \quad (4)$$

Определенные расчетным путем параметры модели (1) уточняются по данным натурных испытаний судна [2].

Таблица 1. Массивы значений параметров торможения

τ , сек.	V	S
0	V_0	0
1	V_1	S_1
2	V_2	S_2
...
i	V_i	S_i
...
τ_T	V_M	S_T

Таблица 2. Массивы значений параметров разгона

τ , сек.	V	S
0	V_M	0
1	V_1	S_1
2	V_2	S_2
...
j	V_j	S_j
...
τ_P	V_0	S_P

Если для расхождения выбраны параметры W-маневра V_M , F_{FT} , F_{FP} , то путем численного интегрирования уравнения (1) с шагом 1 с. можно получить значения скорости V_i и проходимого расстояния S_i в процессе торможения от V_0 до V_M и разгона от V_M до V_0 (табл. 1, 2, где τ_T , τ_P – время торможения и разгона; S_T , S_P – проходимое судном за это время расстояние) [1]. Время движения судна с пониженной скоростью при W-маневре обозначим τ_M , а проходимое за это время расстояние – S_M .

Принцип поиска эффективного W-маневра. Охарактеризуем вначале эту задачу для предупреждения столкновения с одним судном. В этом случае приближенно снижение хода ΔV для расхождения можно найти известным способом [2], пренебрегая инерционностью судна и прогнозируя маневр на 6-8 минут вперед по времени с учетом отмеченных выше требований к изменению хода. Когда ΔV , F_{FT} , F_{FP} известны, поиск W-маневра можно свести к определению задержки в движении собственного судна (OS- ownship), которую этот маневр должен вызвать, чтобы судно безопасно разошлось с «целями». Рассмотрим алгоритм решения в ситуации, показанной на рис. 1,а, где O – наше судно, J – «цель», d – расстояние кратчайшего сближения между судами (CPA), d_L – заданный предел безопасных значений CPA, K_0 – курс OS, K_J – курс «цели», k_j – курс «цели» относительно OS. Фрагмент рисунка 1,а около точки OS показан на рис. 1,б, где $\Delta d = d_L - d$. Считается, что если курс «цели» OS пересекает по корме, то d положительно, а если по носу – отрицательно.

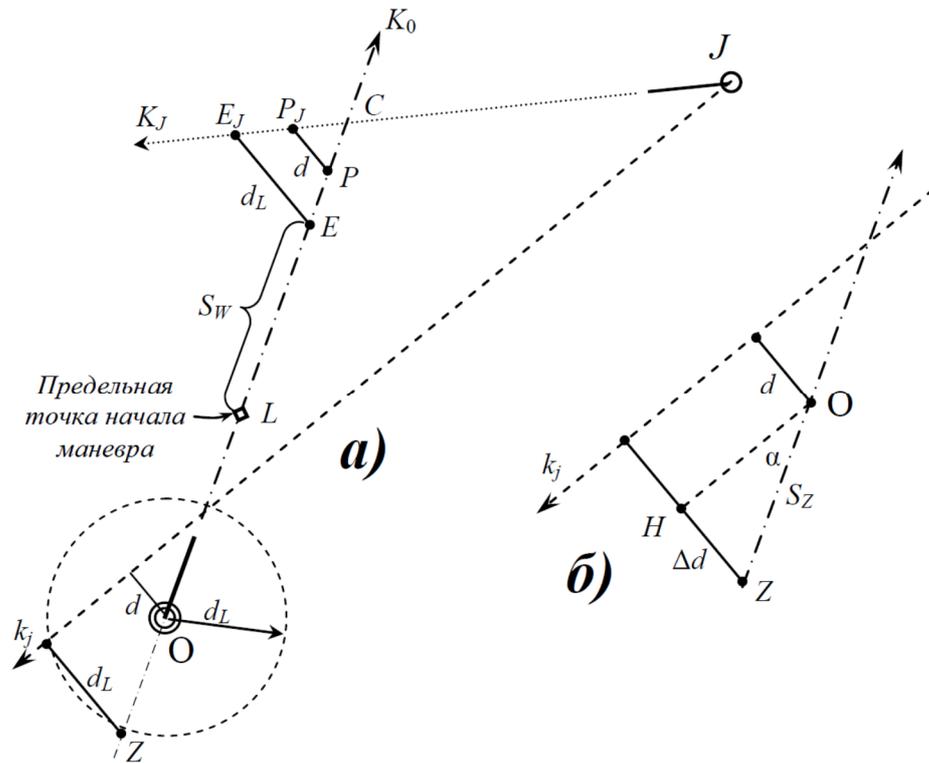


Рис. 1. К выбору W-маневра для расхождения с одной «целью»

Если не предпринимать никаких действий, то в момент кратчайшего сближения OS будет в точке P, а «цель» - в точке P_J. Если бы OS, двигаясь по этой линии пути с той же скоростью, запаздывало бы на время τ_Z, при котором CPA было бы равно d_L, то в момент кратчайшего сближения OS и «цель» находились бы соответственно в точках E, E_J. Отсюда можно сделать вывод – чтобы разойтись с «целью» на дистанции d_L с помощью W-маневра, он должен привести к запаздыванию от графика движения на величину τ_Z и заканчиваться не позже момента прихода OS в точку E. Значение τ_Z определяется по расстояние S_Z, находимому из прямоугольного ΔHOZ (см. рис. 1, б), в котором известна сторона HZ и угол α = k_j - K₀ ± 180°

$$S_Z = \Delta d / \sin \alpha; \quad \tau_Z = S_Z / V_0. \quad (5)$$

Затем по выбранным значениям F_{FT}, F_{FP} рассчитываются параметры торможения и разгона S_T, τ_T, S_P, τ_P. После этого поиск W-маневра, приводящего к запаздыванию S_Z, сводится к определению времени τ_M движения пониженной скоростью. Чтобы произошло такое запаздывание, должно выполняться условие:

$$V_0(\tau_T + \tau_P + \tau_M) = S_T + S_P + V_M \tau_M + S_Z. \quad (6)$$

Отсюда получаем искомое время τ_M и проходимое за это время расстояние S_M

$$\tau_M = \frac{S_T + S_P + S_Z - V_0(\tau_T + \tau_P)}{V_0 - V_M}; \quad S_M = V_M \tau_M. \quad (7)$$

Весь W-маневр займет время τ_W , за которое OS пройдет расстояние S_W

$$\tau_W = \tau_T + \tau_M + \tau_P; \quad S_W = S_T + S_M + S_P. \quad (8)$$

Если это расстояние отложить от точки E по направлению к OS , получим предельную точку L начала W-маневра (см. рис. 1,а), при котором расхождение безопасно и отклонение по времени от плана движения τ_Z минимально. Найденный W-маневр обеспечивает расхождение с «целью» J на дистанции d_L при начале его в любой точке отрезка OL .

Выбор W-маневра при нескольких «целях». При наличии в районе расхождения с наиболее опасным судном других судов выбираемый W-маневр не должен приводить к чрезмерному сближению с ними. Такой маневр может быть выбран в режиме диалога с электронной системой предупреждения столкновений, если обеспечить ей возможность осуществлять прогноз маневра с задаваемой точкой его начала и величиной отрезка S_M , с отображением на экране для прогнозируемого движения меток точек кратчайшего сближения (ТКС) «целей» с OS, по которым можно судить об опасности чрезмерного сближения с «целями» при маневре и после его окончания [1]. Соответствующие участкам изменения хода метки ТКС находятся с использованием массивов данных этих процессов (см. табл. 1, 2). Точка начала W-маневра (обозначим ее A) может указываться на экране курсором на линии будущего пути судна, а увеличение/уменьшение S_M производится нажатием правой/левой клавиши манипулятора либо другим образом. В случае отсутствия опасности столкновения в процессе маневра с таким началом и S_M (ни одна из меток ТКС «целей» не пересекает линию пути OS) план маневра принимается для реализации. Если же будет чрезмерное сближение с какой-нибудь «целью», то путем смещения точки A и/или изменения S_M подбирается вариант, при котором ни одна из меток ТКС «целей» не пересечет линию пути OS. Если такого варианта нет при принятой величине изменения хода, то он ищется при другом значении ΔV .

Для проверки предложенного метода нами в среде Delphi 5 была составлена специальная программа. Проведенные по ней расчеты подтвердили работоспособность и эффективность этого метода. Один из примеров выбора W-маневра характеризуется ниже. Ситуация сближения судов представлена на рис. 2, где OS присвоен номер 0, а «целям» - 1, 2, 3.

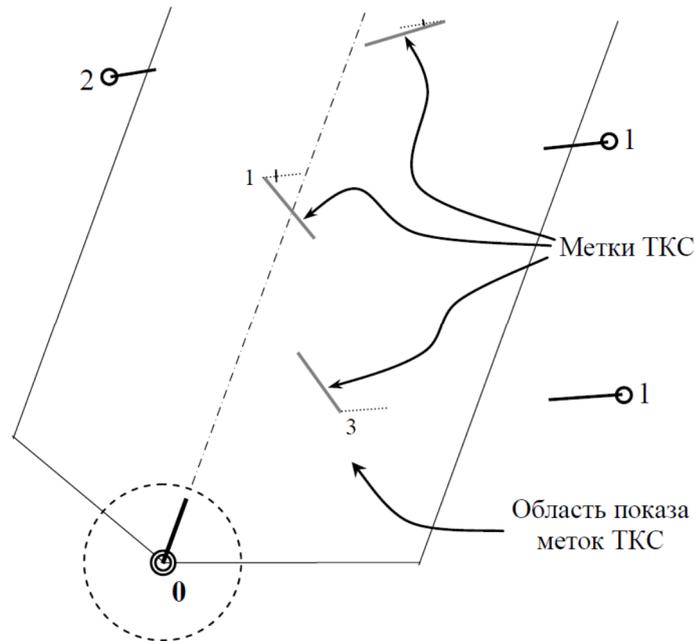


Рис. 2. Ситуация сближения судов с отображенными метками ТКС

Параметры взаимного расположения и сближения этих судов имеют следующие значения

$$K_0=20^0; V_0=18.8 \text{ узл.}; V_M=12.5 \text{ узл.};$$

$$K_1=264^0; V_1=17.3 \text{ узл.}; \Pi_1=46^0; D_1=78.0 \text{ кб}; d_1=5.6 \text{ кб}; T_1=15.2 \text{ мин};$$

$$K_2=80^0; V_2=11.5 \text{ узл.}; \Pi_2=354^0; D_2=62.3 \text{ кб}; d_2=12.1 \text{ кб}; T_2=22.4 \text{ мин};$$

$$K_3=266^0; V_3=19.4 \text{ узл.}; \Pi_3=70^0; D_3=73.0 \text{ кб}; d_3=19.9 \text{ кб}; T_3=13.1 \text{ мин};$$

В этом списке:

- K_0, V_0, V_M – курс, исходная и выбранная для расхождения скорость OS;
- $K_J, V_J, \Pi_J, D_J, d_J, T_J$ – курс, скорость, пеленг, дистанция, расстояние и время кратчайшего сближения «цели» J ($J=1, 2, 3$).

Пределы безопасных значений расстояний и времени кратчайшего сближения приняты равными $d_L=10$ кб; $T_L=16$ мин. Опасной является «цель» 1, так как ее метка ТКС пересекает линию пути OS.

При расчете расхождения с опасным судном получили:

$$\Delta d=4.4 \text{ кб}; S_Z=8,54 \text{ кб}; \tau_Z=2,7 \text{ мин};$$

$$\tau_T=1.2 \text{ мин}; S_T=3.0 \text{ кб}; \tau_P=1.5 \text{ мин}; S_P=3.8 \text{ кб};$$

$$\tau_M=6.6 \text{ мин}; S_M=13.7 \text{ кб}; \tau_W=9.3 \text{ мин}; S_W=20,5 \text{ кб};$$

На рис. 3 характеризуется отображение информации при указании курсором одного из положений точки A и немного увеличенным τ_W . Метки ТКС показывают, что такой W-маневр обеспечит расхождение с опасной «целью» 1, не вызывая чрезмерного сближения с «целями» 2 и 3.

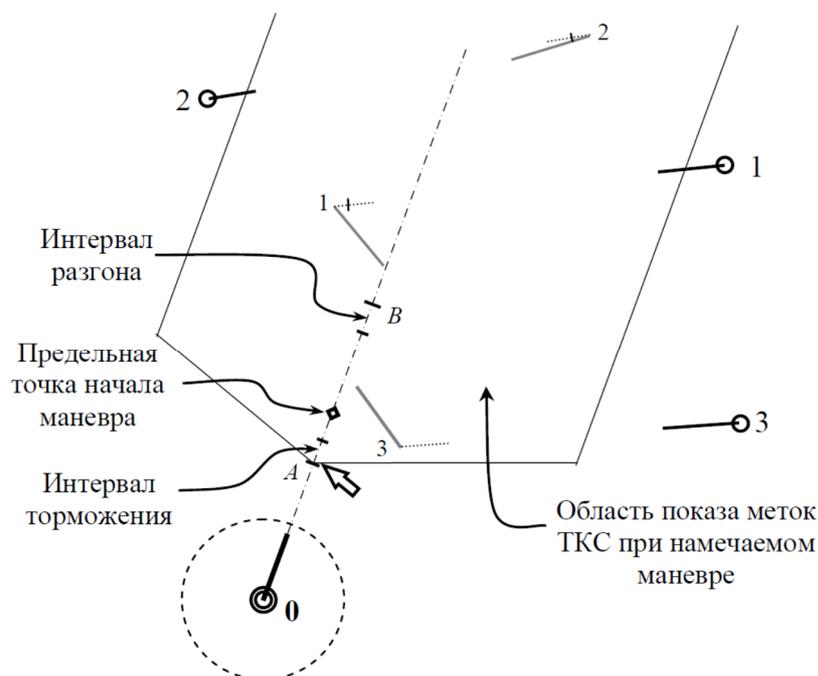


Рис. 3. Планирование маневра с помощью курсора

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению

Представленный метод облегчает выбор W-маневра при расхождении с несколькими судами, при котором отклонение по времени от плана движения минимально. Этот выбор производится с учетом динамики судна, что способствует повышению точности выбираемого маневра и улучшению оценки результатов его выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами /Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2010. – 296с.
2. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е. Е. Тюпиков, И. И. Ворохобин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
3. Управление судном / С. И. Демин, Е. И. Жуков, Н. А. Кубачев и др.: Под ред. В. И. Снопкова.: Учебник для вузов. – М.: Транспорт. 1991. – 359 с.
4. Шарлай Г. Н. Управление морским судном /Г. Н. Шарлай – Владивосток: «Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского», - 2011. – 543 с.

УДК 656.61.052

PREDICTION OF THE ZONE, REFLECTING RESTRICTIONS OF THE TARGET ON B-MANEUVER**ПРОГНОЗ ЗОНЫ, ОТРАЖАЮЩЕЙ ОГРАНИЧЕНИЕ «ЦЕЛИ» НА В-МАНЕВР**

A.L. Vagushchenko¹, *PhD, associate professor*, **A.A. Vagushchenko²**, *2nd Officer*
А.Л. Вагущенко¹, *к.т.н., доцент*, **А.А. Вагущенко²**, *2-й помощник капитана*

¹*National University Odessa Maritime Academy, Ukraine*

²*SC «V.Ships (Ukraine)»*

¹*Національний університет Одеська Морська Академія, Україна*

²*ДП «В.Шипс (Україна)»*

ABSTRACT

The technique for the prediction of the boundaries of dangerous zones, reflecting the limitations of targets on B-maneuver of the own ship, is offered in the article. Borders of these zones are obtained by projection of targets domains of danger from area of the relative motion to the field of the true movement. This task is considered with the examples of the circular domain and domain semicircle semi-ellipse. Depiction of the predicted dangerous areas facilitates the B-maneuvers planning for safe passing by several targets.

Key words: collision avoidance, B-maneuver, predicted dangerous area, domain of danger.

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

Обеспечение безопасного расхождения судов в море остается на протяжении многих лет актуальной проблемой судовождения. Вопросам ее решения посвящено много научных работ, в том числе и отечественных ученых [2, 3]. Для предупреждения столкновений с судами могут использоваться действия различных видов. Одним из них является В-маневр – смещение на параллельную линию пути.

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

Для облегчения расхождения с несколькими судами смещением на параллельную линию пути в работе [1] было предложено использовать упрощенные зоны опасности (РАД_В- predicted area of danger) или их метки, отражающие ограничения «целей» на этот маневр. Следует отметить, что возможности вычислительной техники позволяют определять и использовать при расхождении не только упрощенные, но и точные границы РАД_В.

Нахождение и отображение таких границ даст адекватное представление об опасных при В-маневре областях и позволит повысить уровень понимания ситуации и качество решения задачи расхождения.

Формулировка целей статьи (постановка задачи).

Целью работы является разработка процедуры для предсказания по домену опасности «цели» точных границ опасной зоны $PA_{DВ}$, отражающей ограничения этой «цели» на В-маневр судна оператора (OS – ownship) в области истинного движения.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов.

Судовым доменом опасности – СДО, называется водное пространство вокруг судна, ограниченное замкнутой линией, находясь внутри которой другое судно представляет для первого судна опасность. Такая зона жестко связана с судном и движется вместе с ним. При рассмотрении поставленной задачи СДО образуется у «цели». Это позволяет учесть особенности каждой «цели», используя при необходимости СДО разной формы и размеров. При исследовании проблемы безопасного расхождения судов рассматривались различные виды СДО: круговые, эллиптические, в виде полигонов и других фигур. Преобладающее применение в судовых системах для предупреждения столкновений нашел круговой домен. Поэтому он, прежде всего, рассматривается при решении поставленной задачи. Из других СДО, используемых в настоящее время, уделяется внимание только домену «полукруг-полуэллипс»[1].

$PA_{DВ}$ можно определить проектированием дискретного множества точек границы СДО «цели» из области относительного движения OS в область его истинного движения. Рассмотрим эту задачу на следующем примере (рис. 1).

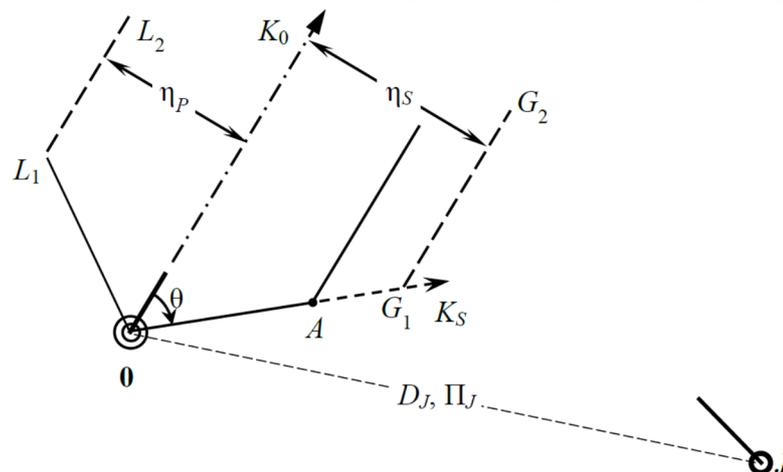


Рис. 1. Схема сближения двух судов

Допустим, судно оператора, которому присвоим номер 0, следует курсом K_0 со скоростью V . «Цель» J идет со скоростью V_J по курсу K_J . Расстояние от OS до «цели» равно D_J , а пеленг на нее - $П_J$. Предполагается для расхождения с

опасной «целью» (на рисунке не показана) применить В-маневр с углом отклонения от первоначального курса θ . Курс уклонения обозначим K_s , а точку возвращения к исходному курсу - A .

Требуется определить границы зоны PAD_B , отражающей ограничения «цели» J на начало этого маневра.

Область возможных В-маневров OS с углом уклонения θ лежит около намеченной линии пути этого судна. Такую область движения и маневров (ОДМ) определим в виде двух полос (η_p, η_s) с границами L_1L_2 и G_1G_2 , как показано на рис. 1. Боковые границы ОДМ должны отсекают опасные для OS глубины и запретные для движения районы. Правая полоса ОДМ рассматривается при выборе В-маневра вправо, а левая – влево. В нашем случае он планируется вправо.

Для определения границ PAD_B рассмотрим движение OS относительно «цели» J при В-маневре (рис. 2,а). Заданное расстояние кратчайшего сближения, определяющее СДО «цели», обозначим r . Соответствующие исходному курсу относительные курс и скорость перемещения OS обозначены k_0, v_0 , а курсу уклонения - k_s, v_s . Значения этих параметров определяются решением треугольников скоростей, показанных на рис. 2,б,в.

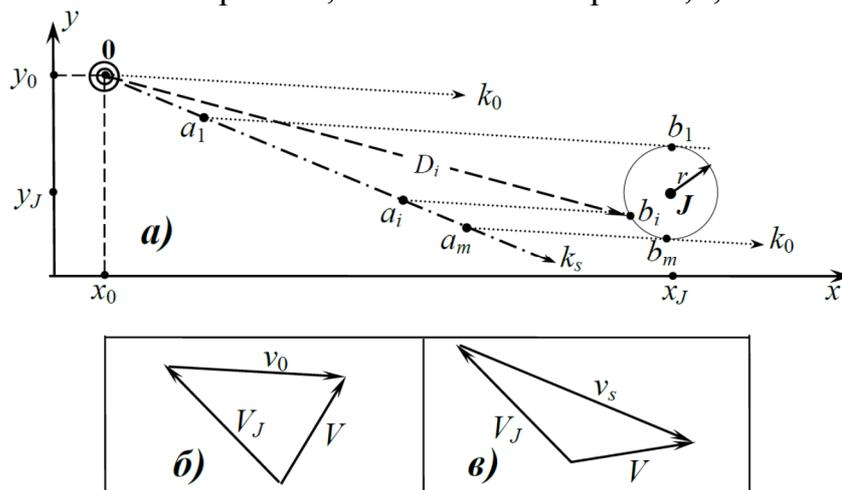


Рис. 2. Перемещение OS относительно «цели» при В-маневре

Прежде чем находить границу PAD_B , необходимо определить, попадает ли она в правую полосу ОДМ. Для этого получают проекции B_1, B_M (рис. 3) только двух точек b_1, b_m границы СДО (см. рис. 2). Если ни одна из этих проекций не попадает в правую полосу ОДМ, то «цель» не ограничивает В-маневр вправо с заданным углом θ и PAD_B не строится. В противном случае определяются границы PAD_B и показываются на экране. Для этого граница СДО представляется n равномерно распределенными на ней точками. Осветим операции проектирования этих точек на примере только одной b_i из них (см. рис. 2).

По известным координатам «цели», радиусу r ее домена опасности с учетом принятой для выбора на его границе точек процедуры, находятся координаты b_{ix}, b_{iy} точки b_i . По этим компонентам и координатам OS рассчитываются пеленг Π_i и дистанция D_i точки b_i . Затем рассматривается треугольник $0 a_i b_i$. Углы при его вершинах $0, a_i, b_i$ равны соответственно $k_s - \Pi_i,$

k_s-k_0 , Π_i-k_0 , а сторона $0b_i=D_i$. Другие стороны ($0a_i$, $a_i b_i$) названного треугольника находятся с помощью известных формул решения косоугольных треугольников. Время прохождения OS отрезков $0 a_i$ и $a_i b_i$ равно

$$\tau_s = 0a_i / v_s, \quad \tau_0 = a_i b_i / v_0. \quad (1)$$

По этим значениям в области истинного движения находятся координаты проекции B_i точки b_i (рис. 3)

$$\left. \begin{aligned} B_{iX} &= X_0 + V \cdot \tau_s \cdot \cos K_s + V \cdot \tau_0 \cdot \cos K_0 \\ B_{iY} &= Y_0 + V \cdot \tau_s \cdot \sin K_s + V \cdot \tau_0 \cdot \sin K_0 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

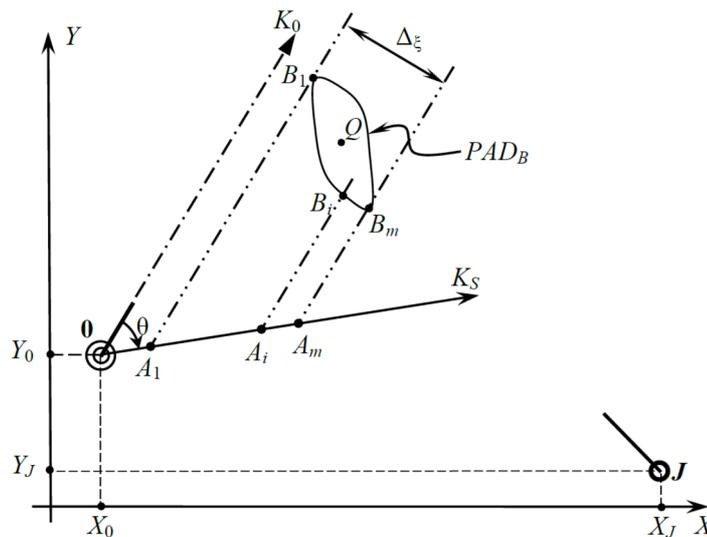


Рис. 3. PAD_B в области истинного движения

Подобным образом находятся и другие точки границы PAD_B . В представленной на рисунке точке Q суда столкнутся, если траектория В-маневра OS пройдет через эту точку.

Рассмотрим теперь получение границы PAD_B , когда в ситуации, показанной на рис. 1, домен опасности «цели» является «полукруг-полуэллипс». Этот домен определяется малой r и большой ρ полуосями полуэллипса. Представим схему движения OS относительно «цели» J с таким доменом при В-маневре на рис. 4.

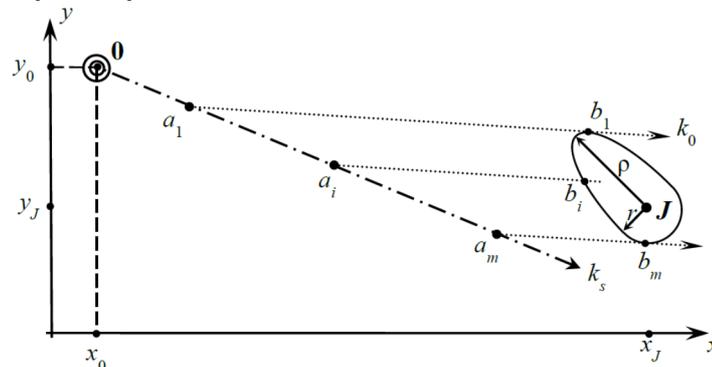


Рис. 4. Движение OS относительно «цели» при В-маневре

Вначале определяется, попадает ли PA_{D_B} в правую полосу ОДМ. Для этого находятся координаты точек b_1 , b_m . Координаты b_m получаются по формулам

$$\left. \begin{aligned} b_{mx} &= x_j - r \cdot \cos k_0 \\ b_{my} &= y_j - r \cdot \sin k_0 \end{aligned} \right\} (3)$$

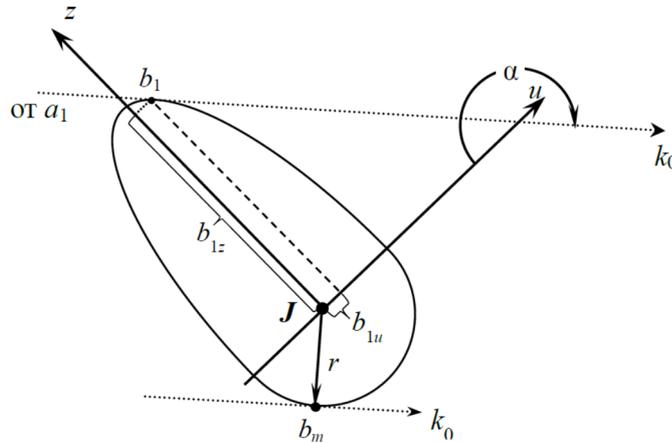


Рис. 5. К расчету b_{1u} , b_{1z}

Задачу определения координат b_{1x} , b_{1y} точки b_1 разделим на две части. Вначале получим координаты b_{1u} , b_{1z} этой точки во вспомогательной системе Juz , начало которой связано с местом «цели», ось Jz лежит в диаметральной плоскости «цели» и направлена в сторону ее носа, а ось Ju находится в плоскости мидель шпангоута и направлена в сторону правого борта (рис. 5). А затем координаты b_{1u} , b_{1z} пересчитаем в систему $хоу$.

Выведем формулы для расчета b_{1u} , b_{1z} . Для этого уравнение проходящей через точку b_1 линии относительного движения ОСв системе Juz представим так

$$z = h \cdot u + C. \quad (4)$$

В этом уравнении $h = \tan \alpha$, где α (см. рис. 5) находится по формуле

$$\alpha = k_0 - K_J - 90^\circ. \quad (5)$$

Передняя половина домена опасности является полуэллипсом. Его каноническое уравнение имеет вид

$$\frac{z^2}{\rho^2} + \frac{u^2}{r^2} = 1, \quad (6)$$

где $z \geq 0$.

Из этого выражения можно получить уравнение касательной к эллипсу и представить его в виде

$$z = h_E \cdot u + C_E, \quad (7)$$

где $C_E = \rho^2 / b_{1z}$; $h_E = -b_{1u} \cdot \rho^2 / (b_{1z} \cdot r^2) = -\lambda \cdot \rho^2 / r^2$; $\lambda = b_{1u} / b_{1z}$;
 b_{1u}, b_{1z} - координаты точки касания.

Так как рассматривается касательная (4), то h_E должно быть равным h .
 Отсюда следует, что

$$\lambda = \left| -h \cdot r^2 / \rho^2 \right|. \quad (8)$$

Подставляя $b_{1u} = \lambda b_{1z}$ в (6) и преобразуя, получим

$$b_{1z} = \rho \cdot r \sqrt{1 / (r^2 + \lambda^2 \rho^2)}. \quad (9)$$

Вторая координата точки b_1 будет $b_{1u} = \lambda b_{1z}$.

Координаты b_{1x}, b_{1y} точки b_1 находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} b_{1x} &= x_j + b_{1u} \cdot \cos K_J + b_{1z} \sin K_J \\ b_{1y} &= y_j - b_{1u} \cdot \sin K_J + b_{1z} \cos K_J \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Используя координаты b_{1x}, b_{1y} и b_{mx}, b_{my} , по методике, примененной при проектировании границ кругового домена, найдем в области истинного движения проекции B_1, B_M (рис. 6) точек b_1, b_m (рис. 4). Если хоть одна из этих проекций попадает в правую полосу ОДМ, строится PAD_B , соответствующая домену полукруг-полуэллипс. Для этого граница домена представляется определенным множеством точек b_i , находятся соответствующие им проекции B_i в области истинного движения по выше охарактеризованной методике и, путем соединения этих точек прямыми отрезками, либо использованием сплайнов, получается граница PAD_B (см. рис. 6).

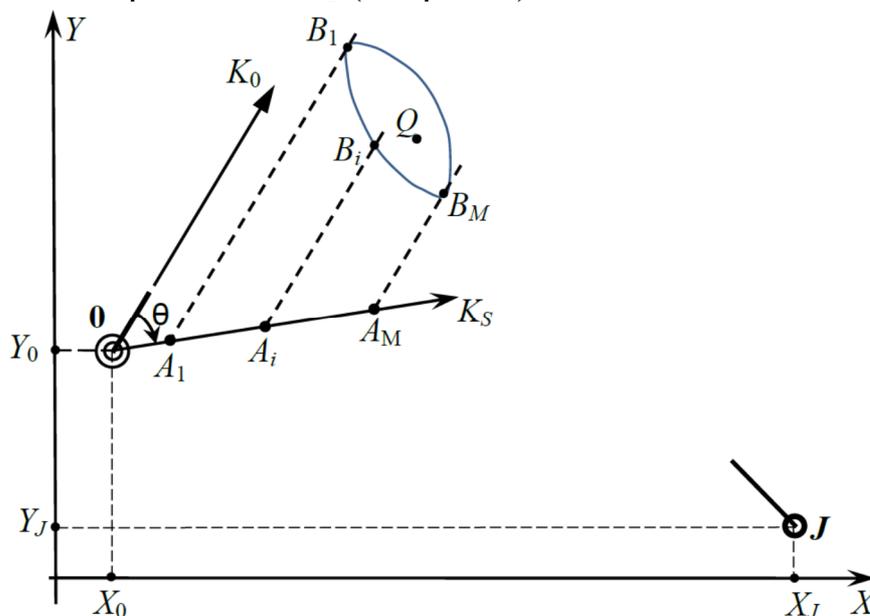


Рис. 6. PAD_B в области истинного движения

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.

Представленные методы позволяют определять и использовать при расхождении точные границы зон РAД_B, соответствующих доменам опасности «целей» в виде круга и полукруга-полуэллипса, и отражающих ограничения «целей» на В-маневр. Нахождение и отображение таких границ даст адекватное представление об опасных при В-маневре областях, позволит повысить уровень понимания ситуаций и качество решения задач расхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути /Л.Л.Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
2. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е.Е. Тюпиков, И.И. Ворохобин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

УДК 656.61.052

PREVENTION OF COLLISION AT EXCESSIVE APPROACH**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ПРИ
ЧРЕЗМЕРНОМ СБЛИЖЕНИИ**

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*

²*SC «V.Ships (Ukraine)»*

¹*Національний університет Одеська Морська Академія, Україна*

²*ДП «В.Шипс (Україна)»*

ABSTRACT

The method of selecting measures to evade the dangerous target in situations of excessive approach, based on the graphic model for forecasting the results of own ship actions. Generalized recommendations for actions in such situations are presented. Reaction of the own ship to the operating influence is predicted by means of her nonlinear differential model considering interdependence of kinematic parameters of this ship.

Keywords: collision avoidance, excessive approach, maneuvers planning.

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

Одной из сложных задач судовождения является определение действий для предупреждения столкновения в ситуациях чрезмерного сближения двух судов. Сам факт такого сближения говорит о серьезном нарушении МППСС-72 обоими судами, или об ошибках в выбранных для расхождения действиях одного из них. Несмотря на редкость таких коллизионных ситуаций, они должны исследоваться с целью определения путей и рекомендаций для их эффективного разрешения.

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

Определению срочных мер для расхождения судов в ситуациях чрезмерного сближения посвящен ряд работ, например, [2-5]. Многосторонне эта задача рассмотрена в монографии [1]. Тем не менее, остаются не полностью проработанными вопросы корректного учета в рассматриваемых ситуациях динамических свойств судов, их размеров, а также выбора рациональных мер для предотвращения столкновения и возвращения к программной линии пути.

Формулировка целей статьи (постановка задачи).

Целью статьи является определение, на основе применения специальной изобразительной модели коллизионных ситуаций чрезмерного сближения, путей их разрешения с корректным учетом динамики и размеров судов.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов.

Ниже коллизионной для двух судов считается ситуация, развитие которой при отсутствии действий этих судов приводит к столкновению. Коллизионную ситуацию в условиях чрезмерного сближения судов будем называть экстремальной. Из-за дефицита времени на разрешение таких ситуаций целесообразна информационная помощь судоводителю со стороны компьютера. Она возможна при обмене данными между судами по линии АИС. Выбор действий в экстремальной ситуации зависит от ее особенностей (размеров судов, величины и соотношения их скоростей, расстояния между ними, геометрии сближения, навигационных условий) и целей, которые хотят достичь в результате этих мер. Здесь, по возможности, стараются:

- уменьшить на начальном этапе расхождения скорость сближения судов;
- не пересекать курс «цели» по носу;
- учесть вероятное действие «цели»;
- обезопасить себя на случай неблагоприятного маневра «цели»;
- разойтись с «целью» на максимально возможной дистанции.

Важными в экстремальных ситуациях оказываются любые дополнительные данные о действиях другого судна, в том числе обеспечиваемые компьютерным контролем АИС информации, а также сигналы об инициации изменения курса и/или скорости. По увеличению частоты посылки «целью» АИС данных и анализу их изменения могут быть установлены предпринимаемые ей меры, в частности – сторона поворота. Можно выделить два вида задач в экстремальной ситуации: определение мер, когда «цель» еще не начала своих действий; и выбор маневра при установлении отклонения «цели» от своего курса. Ниже уделено внимание решению только первой из этих задач с помощью сильных маневров курсом.

При обнаружении экстремальной ситуации собственному судну (OS – ownship) нужно выбрать начальный вариант маневра, незамедлительно начать его выполнение с обязательным оповещением другого судна об этом возможными способами. В процессе поворота необходим непрерывный анализ значений параметров движения «цели», получаемых по линии АИС, чтобы во время выявить ее маневр и скорректировать свои действия. Этот анализ может выполняться компьютером с выработкой сигнала об обнаружении маневра «цели».

Для анализа расхождения в экстремальных ситуациях нами была разработана программа имитации таких процессов. В ней для описания движения судов применена стандартная нелинейная модель в виде взаимосвязанной системы дифференциальных уравнений [3]. Она была

приведена к разностному виду и дополнена алгоритмами выработки сигналов управления для выполнения обоими судами следующих операций:

- стабилизации курса;
- поворотов на заданный угол вплоть до 360^0 вправо и влево;
- удержания другого судна на заданном курсовом угле.

Отображение моделируемых процессов сближения судов выбрано таким, чтобы обеспечить, по возможности, быстрое понимание экстремальных ситуаций и оперативный выбор действий для расхождения. Для оценки ситуаций сближения судов разработаны основная и дополнительная формы отображения. Первая позволяет установить, какой маневр (торможение, уклонение вправо или влево) даст лучший результат при отсутствии действий цели. На этой форме (рис. 1) показываются прогнозы траекторий трех маневров OS: циркуляций вправо и влево с максимальной перекладкой руля и торможения работой машины на полный задний ход. На траекториях отмечаются участки роста и уменьшения дистанции между OS и «целью», выделяются точки (W_P , W_S - на циркуляциях, W_Z - на пути торможения), при окончании маневров в которых расстояние кратчайшего сближения (CPA) при расхождении будет максимальным.

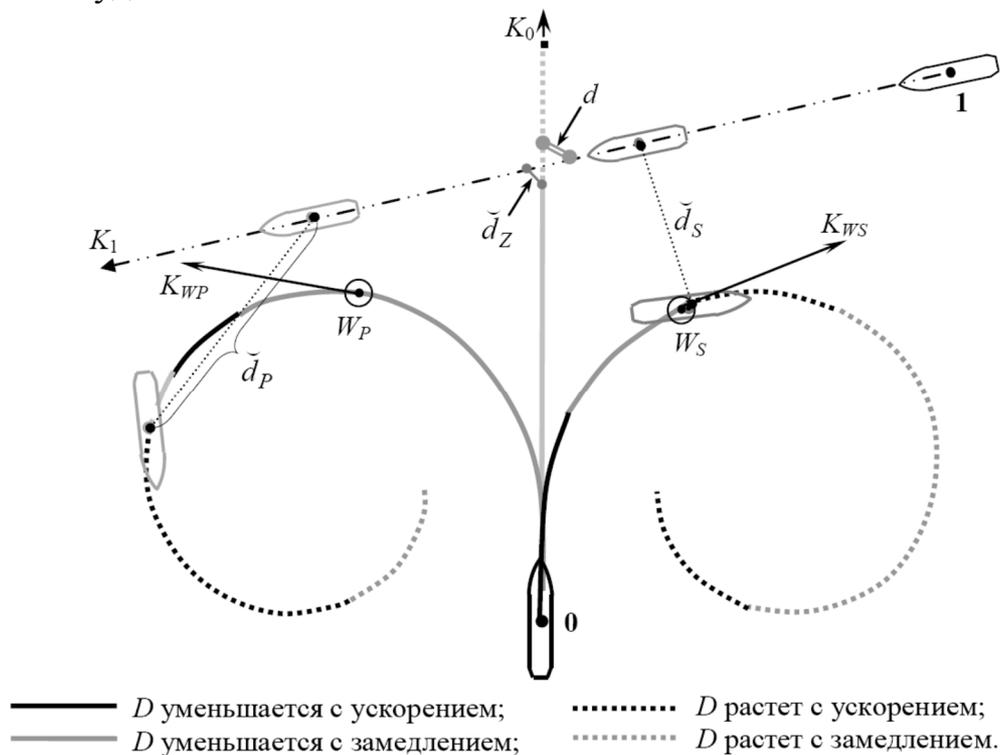


Рис. 1. Схема, поясняющая основную форму отображения данных

В цифровом виде представляются:

K_0 , V_0 и K_1 , V_1 - курс, скорость OS и «цели», отвечающие планам их перехода;
 d , τ - CPA, ТСПА при плановых значениях параметров движения судов;
 Π , D – пеленг и дистанция «цели»;

$\check{d}_Z, \check{d}_P, \check{d}_S$ и $\check{t}_Z, \check{t}_P, \check{t}_S$ - минимальное расстояние между OS и «целью» и время до его момента от начала маневра при торможении, циркуляции влево, вправо;

θ_{WP}, θ_{WS} и t_{WP}, t_{WS} - углы поворота с окончанием в точке W_P, W_S и время поворота OS на эти углы;

K_{WP}, K_{WS} - курсы OS относительно грунта в точках W_P, W_S ;

d_{WP}, τ_{WP} и d_{WS}, τ_{WS} - CPA, TCPA на курсах K_{WP} и K_{WS} .

Для учета размеров судов на прогнозируемых траекториях OS и «цели» в точках минимального расстояния между судами показываются их контуры в масштабе отображения. Следует отметить, что данные основной формы соответствуют текущему моменту и в процессе движения судов меняется.

Для выбора конкретного изменения курса или скорости с прогнозом его результатов, в том числе и с учетом предполагаемого действия «цели», служит дополнительная форма отображения информации. Она появляется при указании курсором точки конца намечаемого маневра на одной из трех траекторий основной формы. На дополнительной форме для выбираемого курсором маневра OS представляется прогноз истинного движения судов и перемещения «цели» относительно OS. Предусмотрена возможность отображения этой формы: для поворотов вправо или влево на 360^0 ; на угол, при котором (когда «цель» не предпринимает мер) дистанция расхождения максимальна; и на угол, чтобы лечь на курс, параллельный курсу «цели».

Для определения рационального поведения судов в экстремальных ситуациях с целью уменьшения вероятности их противоречивых действий, с помощью имитационной программы были смоделированы и проанализированы многочисленные примеры срочного расхождения изменением курса. Их результаты позволили рекомендовать следующее.

В ситуациях (отнесем их к первой категории), в которых угол пересечения линий курсов, на сторонах которого находятся суда, больше 12 румбов (приблизленно), или курсы противоположны, обоим судам, по возможности, следует избегать изменения курса влево. Для пояснения обоснованности этого предложения приведем упрощенную основную форму отображения двух типичных ситуаций (обозначим их *A* и *B*) такой категории (рис. 2, 3, где OS имеет номер 0, а «цель» - 1).

В ситуации *A*, по нашему мнению, целесообразнее OS изменить курс вправо, так как это соответствует практике заблаговременного расхождения и не приводит к возможному пересечению курса «цели» по носу, как это может произойти при повороте влево. В ситуации *B* (см. рис. 3) по этим же причинам более вероятно, что «цель» повернет вправо. Поэтому и для OS в ней предпочтителен поворот вправо.

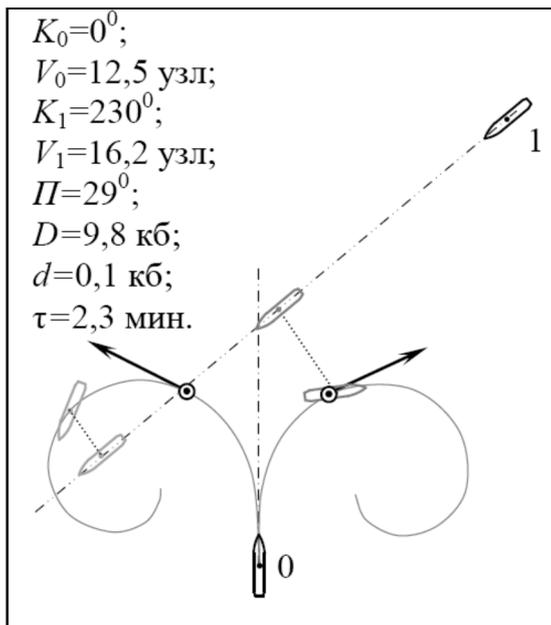


Рис.2. Основная форма отображения ситуации А

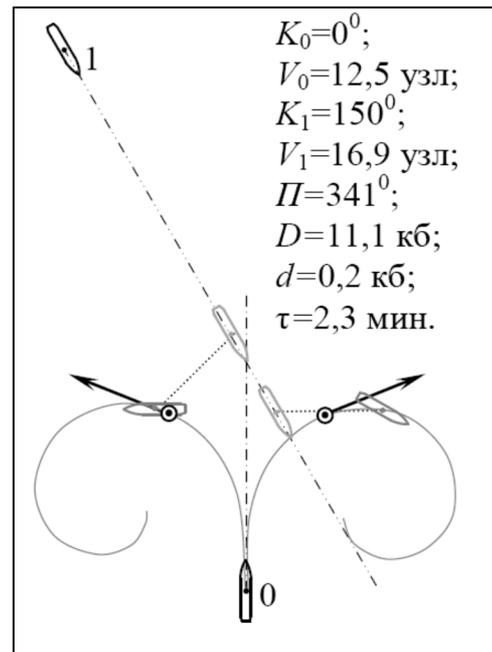


Рис.3. Основная форма отображения ситуации В

Чтобы в ситуациях первой категории разойтись на максимально возможной дистанции и быстро возвратиться к программному курсу/траектории для каждого из судов предлагается вариант действий, названный КУ90. Он состоит в изменении курса вправо с приведением другого судна на курсовой угол (КУ) $90-110^{\circ}$, удержания его на этом КУ, и, после перехода на изменение курса влево, возвращения к курсу/траектории плана перехода. Примеры такого маневрирования с возвращением к плановому курсу для ситуации А представлены на рис. 4 и 5. В первом случае «цель» не изменила параметры своего движения, а во втором, как и OS, выполнила маневр КУ90. Кратчайшее расстояние в первом случае между судами составило 2.0 кб, а во втором – 4.6 кб.

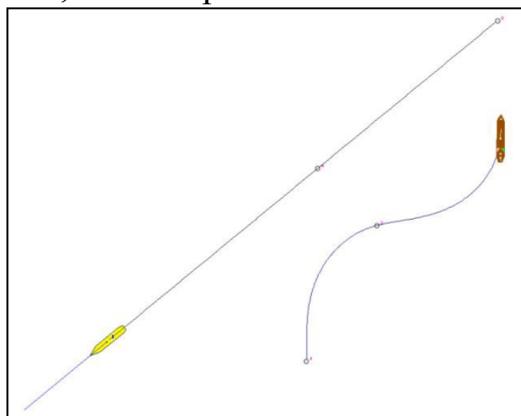


Рис. 4. Уклонение OS от «цели» в ситуации А

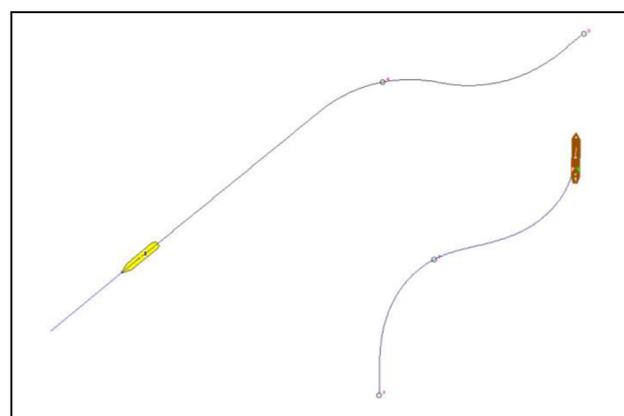


Рис. 5. Совместное разрешение судами ситуации А

Для других экстремальных ситуаций с пересекающимися курсами (отнесем их ко второй категории) здесь в общем случае, как и в работе [1], рекомендуется обоим судам, по возможности, изменять курс в сторону от

направления на другое судно. Так как дальнейшие действия другого судна неизвестны, целесообразно вначале привести и удерживать судно на курсе, равном обратному пеленгу на другое судно (назовем этот вариант действий КУ180), а затем с учетом поведения «цели», соотношения скоростей судов и других факторов, выбирать вариант возвращения к курсу/траектории плана перехода. Когда поворот от направления на другое судно опаснее поворота в противоположную сторону, можно курс изменить и в сторону другого судна. В этом случае можно применить маневр КУ90. Так, например, в ситуации (обозначим ее С), упрощенная основная форма которой показана на рис. 6, поворот OS в сторону от «цели» приведет к столкновению с ней, если она не предпримет мер. Поворот OS в другую сторону с реализацией варианта КУ90⁰ обеспечивает расхождение с «целью» (рис. 7). Отметим, что содействующим мерам OS в этом случае является маневр «цели» КУ90⁰ в сторону от направления на OS.

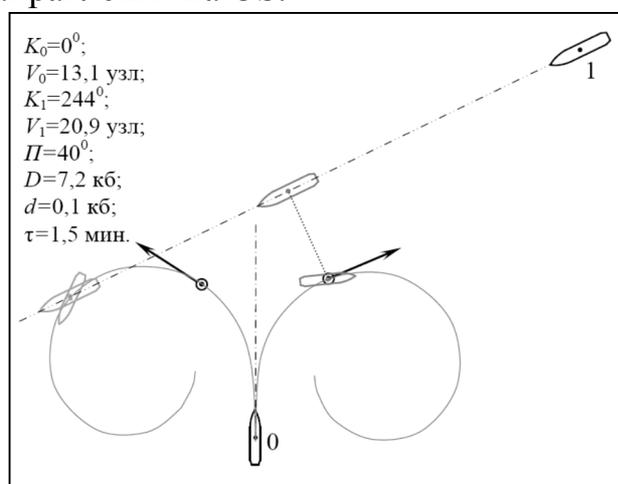


Рис. 6. Основная форма отображения ситуации С

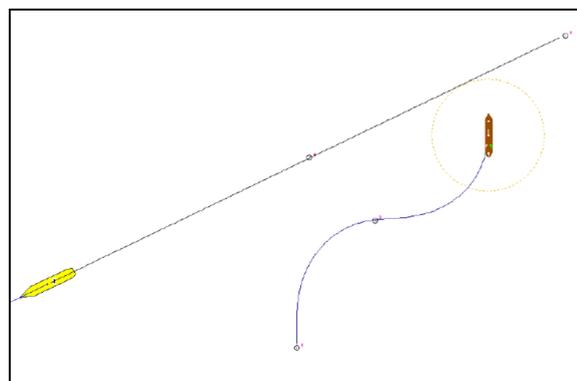


Рис. 7. Уклонение OS от «цели» в ситуации С

В вышеприведенных рекомендациях оговорка «по возможности» означает обязательность проверки безопасности выбираемого действия, так как встречаются случаи, когда следование обобщенной рекомендации может привести к столкновению или к посадке на мель.

Как было отмечено выше, в ситуациях второй категории при выборе OS отворота от «цели» и маневра КУ180, меры OS по возвращению к плану перехода выбираются с учетом поведения «цели», соотношения скоростей судов и других факторов. Ввиду многовариантности дальнейшего развития ситуации в этом случае требуется индивидуальный подход к определению дальнейших мер OS. Ниже рассмотрим эту задачу только в ситуациях, в которых скорость OS меньше скорости «цели», и «цель» либо не маневрирует, или выбирает в ответ на меры OS поворот в сторону OS.

Действия OS на случай отсутствия мер «цели» можно прогнозировать по общей форме отображения ситуации сближения судов. Для ситуаций второй категории, в которых $V_0 < V_1$ и угол между линиями курсов, на сторонах которого находятся суда, больше 90^0 , рациональным действием OS обычно является циркуляция. В качестве примера можно привести ситуацию

(обозначим ее D), по общей форме отображения которой (рис. 8) легко установить целесообразность циркуляции для возвращения к плановому курсу при непринятии мер «целью» в процессе совершения OS маневра КУ180 от направления на «цель».

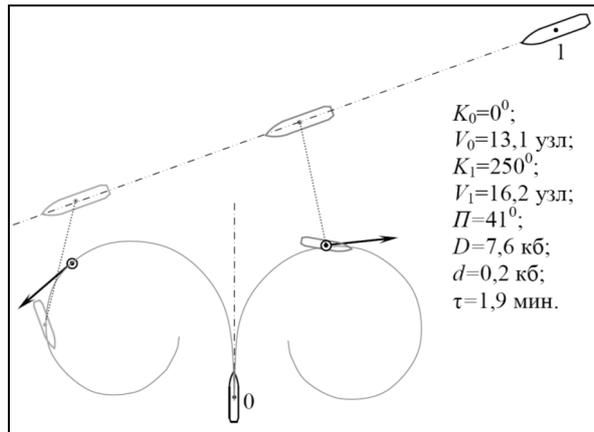


Рис. 8. Основная форма отображения ситуации D

Если угол между линиями курсов, на сторонах которого находятся суда, меньше 90^0 , то нередко более быстрое, чем при циркуляции, возвращение к плану перехода достигается при определенном уходе OS от линии курса «цели» с помощью маневра КУ180 с последующим поворотом в противоположную сторону для возвращения на плановый курс или на плановую траекторию под небольшим углом к ней. В качестве примера приведем ситуацию (обозначим ее E), обобщенная форма отображения которой показана на рис. 9. Возможный вариант расхождения в ней представлен на рис. 10.

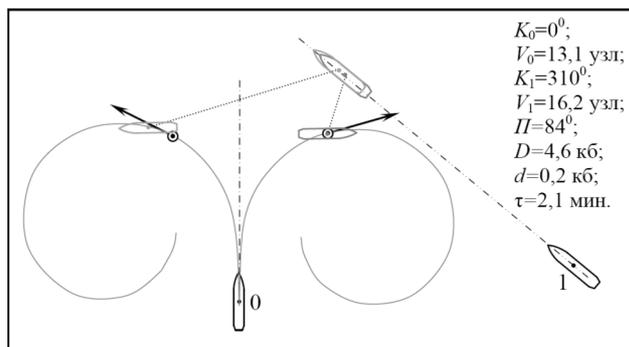


Рис. 9. Основная форма отображения ситуации E

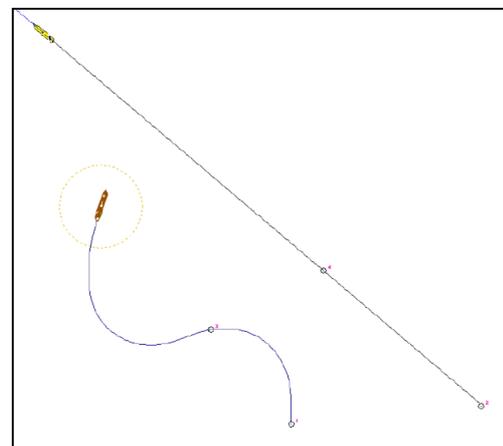


Рис. 10. Вариант расхождения в ситуации E

Если в ситуациях второй категории после начала OS маневра КУ180 в сторону от направления на «цель», она по какой-либо причине выбрала изменение курса в сторону OS, то в процессе выполнения своего маневра OS после изменения стороны поворота может возвратиться к прежнему курсу. Это иллюстрируется на примере расхождения в ситуации, обозначенной F (рис. 11, 12), в которой «цель», после начала OS маневра КУ180 уклонения от нее, для расхождения с OS применила маневр КУ90 в сторону OS.

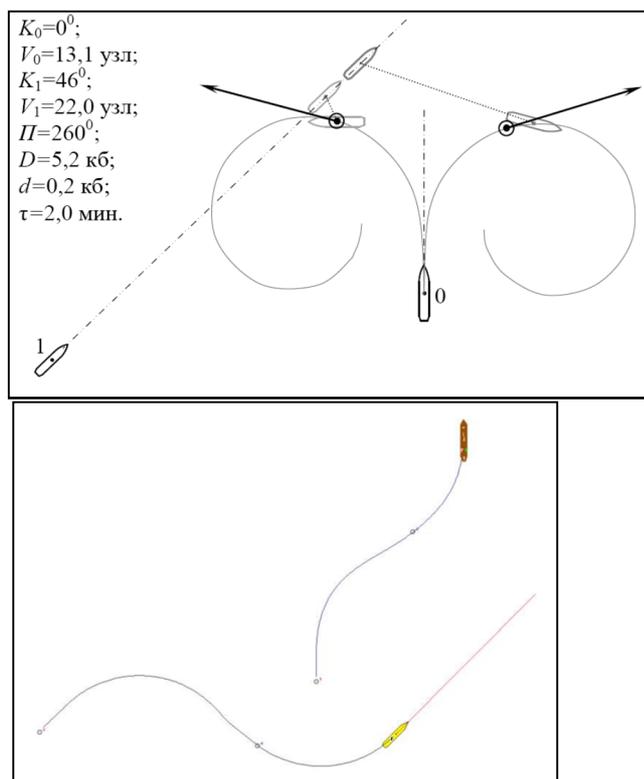


Рис. 11. Основная форма
отображения ситуации F

Рис. 12. Один из способов
разрешения ситуации F

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.

В результате проведенной работы предложены рациональные меры по уклонению от опасной «цели» в рассмотренных видах экстремальных ситуаций. Созданная изобразительная модель таких ситуаций облегчает определение начального действия для их разрешения. Разработка моделей отображения для упрощения коррекции выбранного маневра в процессе его осуществления и для выбора мер возвращения к программной траектории перехода в нерассмотренных в этой статье видах экстремальных ситуаций является дальнейшей работой по данному направлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмака А.И. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / А. И. Бурмака, И. А. Бурмака, Р. Ю. Бужбецкий – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
2. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами /Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2010. – 296 с.
3. Гофман А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна / А. Д. Гофман - Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.

4. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е. Е. Тюпиков, И. И. Ворохобин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
5. Таратынов В.П. Расчет момента «критического положения» судов и понятие «района непосредственной близости» //Судовождение. – 1975. – №16. – С. 68-75.

УДК 656.61:519.673

MODELLING OF THE VESSELS ASSIGNED TO THE ROUTE SCHEMES**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СУДОВ ЗА СХЕМАМИ ДВИЖЕНИЯ****D. Vishnevskiy¹, assistant, O. Vishnevskaya², senior lecturer****Д.О. Вишневский¹, ассистент, О.Д. Вишневская² старший преподаватель,**¹ ONMU 1, Ukraine¹ ОНМУ 1, Украина**ABSTRACT**

Universal (multipurpose) vessels - are among the most important types of specialized vessels in the world merchant fleet. The constructional specificity of this category of vessels - availability of its own cargo handling equipment, stipulates the multifunctionality and versatility of these vessels within the range of maritime transportation of a wide nomenclature of goods, including those between the ports and port stations, where there is no specialized handling equipment.

Nowadays, the sizes of universal vessels are varying from 3,000 - 35,000 tons of deadweight or more. To replace tween-deck vessels, new vessels with movable decks are coming - such a variety of sizes and designs enable to utilize such vessels in carrying general cargoes in small batches, and oversized cargoes intended for large-scale construction projects.

Despite the considerable volumes of containerization and the development of container lines, analysis of the market of maritime transportation has shown that the demand of universal vessels is sufficiently stable both in the tramp and the linear section of carriages.

Keywords: containerization, universal and tween-deck vessels, tramp and linear transportation, deadweight, cargo handling equipment, general cargo.

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

Практически все современные научные исследования, посвященные организации работы судов на международных линиях, не рассматривают универсальные суда. Существующая теоретическая и методическая база советского периода, когда универсальные суда составляли значительный сегмент в структуре морского торгового флота, ориентирована на плановую экономику. Поэтому она требует развития и адаптации к рыночным условиям.

Таким образом, вопросы, связанные с организацией работы универсальных судов на международных линиях, являются актуальными.

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

Одним из первых фундаментальных трудов, в котором исследовались вопросы, связанные с эффективностью контейнерных линий, является труд [1] Кендалла П.

Теоретическая база организации работы судов в линейной форме судоходства сформулирована в трудах Панарина П.Я. [2-4], в частности, составлена классификация линий; определены минимально допустимые объемы грузопотоков, для организации линии; сформулирован методический подход к составлению расписания и др.

Среди современных публикаций, посвященных вопросам работы судов на международных линиях, следует отметить работы Кирилловой Е.В. [5,6,8], и Кириллова Ю.И. [7], в которых рассмотрена организация работы судов типа ро-ро, паромов и контейнеровозов как элементов соответствующих транспортно-технологических систем.

Отдельным вопросам, связанным с обеспечением эффективности контейнерных линий, посвящены публикации [9,10].

Организация работы универсальных судов является многоэтапной проблемой, один из элементов которой – закрепление судов за сформированными схемами движения [11-13]. Работы, которые были посвящены данному вопросу ориентированы на балкерные суда, поэтому не учитывают специфику грузовой базы универсальных судов.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

В связи с вышесказанным, целью данной статьи является формирование инструментария в виде экономико-математической модели решения задачи закрепления универсальных судов за схемами движения с учетом специфики их грузовой базы.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В научной литературе советского периода для отечественного морского флота были разработаны экономико-математические модели, которые позволяли выбирать оптимальные схемы и закреплять за ними суда, но данные модели ориентированы на плановую экономику, и могут применяться для «рынка продавца», то есть при превышении спроса над провозной способностью флота, причем, при определенной адаптации и доработки.

Те модели, которые разрабатывались в тот же период для «рынка потребителя», отличались лишь знаками ограничений без учета сущности работы линейного сервиса в условиях «рынка потребителя». Так, например, не учитывалась неполная загрузка судов при работе по схемам и возможности ее дальнейшего уменьшения под влиянием рыночных изменений. При этом полагалось, что суда совершают столько рейсов, сколько для этого представлено груза к перевозке.

Тем не менее, специфика современного линейного сервиса состоит в том, что суда работают по расписанию в рамках указанной схемы вне зависимости от того – полная загрузка судна или нет. Естественно, что при весьма значительном падении спроса линейный сервис перестает функционировать, или переходит на меньшее количество судов, а, следовательно, уменьшается частота отправок (например, от раз в неделю, до раз в две недели), или же корректировке подлежит схема линейного сервиса (множество портов захода).

Учитывая все вышесказанные замечания и условия, сформируем экономико-математическую модель выбора оптимальных схем линейного сервиса и расстановки по ним судов.

На базе результатов анализа грузопотоков и отбора перспективных направлений перевозок, формируются возможные варианты схем работы судов по сложившимся правилам.

С учетом портов захода для каждой схемы может быть сформировано множество $\{ Q_r^j, r \in G_j \}$, где r – вид груза, Q_r^j – прогнозируемое количество груза, предъявляемого к перевозке, G_j – множество видов груза, актуальных для схемы $j = \overline{1, n}$.

На этапе формирования состава флота для рассматриваемого региона работы сформировалось множество судов $\{ K \}$, при этом, $K = K^c \cup K^{t-ch}$, то есть суда принадлежат компании K^c или взяты в тайм-чартерную аренду K^{t-ch} . Присвоим каждому судну порядковый номер $i = \overline{1, m}$.

Взаимосвязь основных факторов, влияющих на эффективность работы универсального судна на линии, представлены на рис.1.

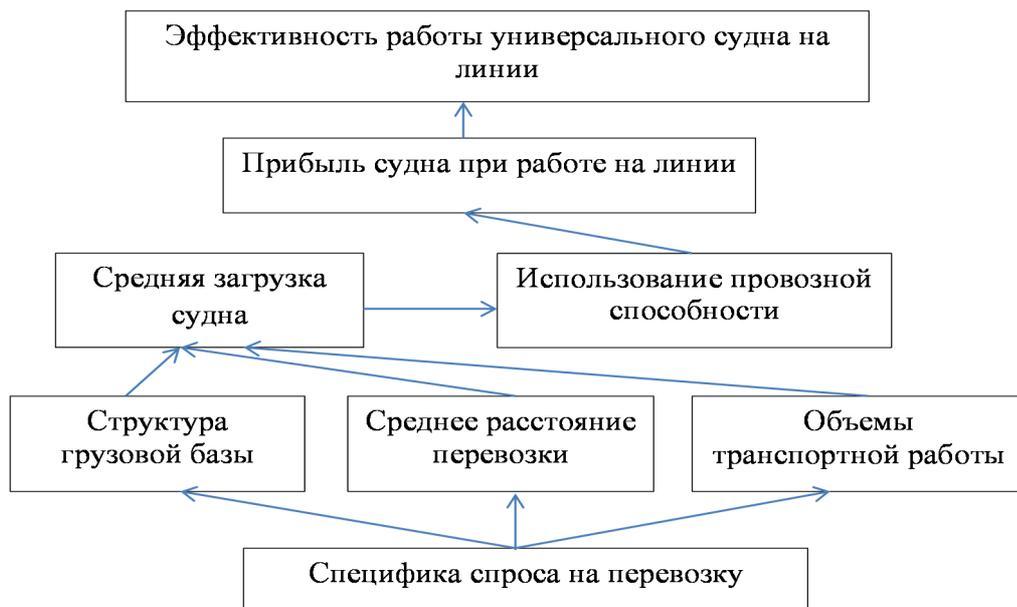


Рис.1. Взаимосвязь основных факторов, влияющих на эффективность работы универсального судна на линии

При однородной загрузке судна (одним видом груза), которая, как правило, использовалась в большинстве существующих моделей по планированию работы флота, величина загрузки определяется по известным формулам – по грузоподъемности или грузовместимости на базе сопоставления транспортной характеристики груза и удельной грузовой вместимости судна.

Однако, для универсального судна работа на линии предполагает комбинированную загрузку, при этом пропорцию различных видов груза можно оценить усреднено, используя в качестве базы объемы спроса на перевозки различных видов груза Q_r^j . Также, оценивая загрузку судна, следует учесть, возможность превышения провозной способности судна P_i^j над суммарным

спросом на рассматриваемой схеме $\sum_{r \in G_j} Q_r^j$, что соответствует сегодняшней ситуации на рынке морских перевозок. В качестве «усредненной» провозной способности P_i^j (то есть без учета конкретного вида груза) можно использовать провозную способность, вычисленную для «среднестатистического» груза со средневзвешенной транспортной характеристикой – удельно-погрузочным объемом:

$$u^j = \sum_{r \in G_j} u_r^j \cdot \frac{Q_r^j}{\sum_{r \in G_j} Q_r^j}, j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

u_r^j - удельно-погрузочный объем груза r . Или же P_i^j может быть вычислена следующим образом:

$$P_i^j = \sum_{r \in G_j} P_{ir}^j \cdot \frac{Q_r^j}{\sum_{r \in G_j} Q_r^j}, (j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}), \quad (2)$$

где P_{ir}^j - провозная способность i -го судна по j -ой схеме с r -ым грузом.

Все вышесказанное позволяет в качестве оценки «среднестатистической» загрузки судна на схеме использовать следующую величину:

$$q_i^j = I^{c-n} \cdot \alpha_i^j \cdot \overline{q_i^j}, \quad (3)$$

где $\overline{q_i^j}$ - загрузка судна «среднестатистическим» грузом с учетом полного использования грузоподъемности (для тяжелого груза) или грузовой вместимости (для легкого груза):

$$\overline{q_i^j} = \sum_{r \in G_j} q_{ri}^j \cdot \frac{Q_r^j}{\left(\sum_{r \in G_j} Q_r^j\right)} \quad (4)$$

q_{ri}^j - загрузка судна i -ым грузом с учетом полного использования грузоподъемности или грузоместимости. Отметим, что в (1)-(4) $\frac{Q_r^j}{(\sum_{r \in G_j} Q_r^j)}$ -

доли конкретного вида груза в общем объеме перевозимых (прогнозируемых для перевозки) грузов - выступают в качестве весов для нахождения средневзвешенных величин;

I^{c-n} - коэффициент, отражающий соотношение спроса и провозной способности судна:

$$I^{c-n} = \begin{cases} \frac{P_i^j}{(\sum_{r \in G_j} Q_r^j)}, \text{ если } P_i^j \geq (\sum_{r \in G_j} Q_r^j) \\ 1, \text{ если } P_i^j < (\sum_{r \in G_j} Q_r^j) \end{cases}; \quad (5)$$

α_i^j - коэффициент, учитывающий соотношение среднего расстояния перевозки грузов на схеме к протяженности схемы, - аналог коэффициента использования грузоподъемности судна:

$$\alpha_i^j = \frac{\sum_{r \in G_j} Q_r^j \cdot l_r^j}{P_i^j \cdot L^j} \quad (6)$$

l_r^j - средняя дальность перевозки груза r на схеме j , L^j - протяженность схемы j .

Отметим, что предлагаемый подход базируется на обобщенных и усредненных характеристиках в виду невозможности на данном этапе планирования оперировать более точной информацией.

Также подход не акцентирует внимание на участках схем, учет участков осуществляется на этапе подготовки информации о средней дальности перевозки груза l_r^j . Кроме того, в дальнейшем информация по участкам схем используется для нахождения эксплуатационных расходов и вычисления движущей и стояночной составляющей тарифов.

Расчетный пример представлен в приложении.

После оценки усредненной загрузки судов на схеме, формируем экономико-математическую модель выбора оптимальных схем и расстановки судов.

Параметр управления $x_{ij} = \{0, 1\}$ - булева переменная - работа i -го судна на j -ой схеме. В качестве критерия оптимизации в задачах подобного рода

традиционно используется прибыль от работы судов на схемах линейного сервиса, которая в данном случае будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - r_{ij}^{\text{эксн}}) \cdot x_{ij} - (\xi_i \cdot r_i^{t-ch} \cdot T_i^{t-ch} - \delta_i \cdot r_i^{\text{носм}}) \cdot \sum_{j=1}^n x_{ij} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где $r_{ij}^{\text{эксн}} = N_{ij} \cdot r_{ij}^{\text{экспл-р}}$ - переменные эксплуатационные затраты i -го судна на j -ой схеме, N_{ij} - количество круговых рейсов i -го судна на j -ой схеме, $r_{ij}^{\text{экспл-р}}$ - эксплуатационные переменные расходы судна за рейс;

r_i^{t-ch} - ставка тайм-чартера i -го судна, T_i^{t-ch} - период тайм-чартера i -го судна;

$r_i^{\text{носм}}$ - годовые постоянные затраты по i -му судну;

Вспомогательные параметры:

$$\xi_i = \begin{cases} 1, i \in K^{t-ch} \\ 0, i \in K^c \end{cases}, \quad \delta_i = \begin{cases} 1, i \in K^c \\ 0, i \in K^{t-ch} \end{cases}$$

позволяют учесть в структуре затрат те позиции, которые соответствуют судам из двух рассматриваемых множеств;

f_{ij} - прогнозируемый доход от работы i -го судна на j -ой схеме. Определение f_{ij} предлагается основывать на вычисленной ранее среднестатистической оценке загрузки судов (3):

$$f_{ij} = I^{c-n} \cdot \alpha_i^j \cdot \overline{f_{ij}} \cdot N_{ij}, \quad (8)$$

$$\overline{f_{ij}} = \sum_{r \in G_j} f_r^j \cdot q_{ri}^j \cdot \frac{Q_r^j}{\left(\sum_{r \in G_j} Q_r^j \right)}, \quad (9)$$

где f_r^j - усредненная плата за перевозку r -го груза на j -ой схеме; f_r^j может быть оценена, исходя из среднего расстояния перевозки r -го груза на j -ой схеме l_r^j , на базе движенческой $f_r^{j-\text{дв}}$ и стояночной $f_{rg}^{j-\text{см}}$ составляющих тарифа, что может быть выражено следующим образом:

$$f_r^j = f_r^{j-\text{дв}} \cdot l_r^j + \sum_{g \in j} f_{rg}^{j-\text{см}}, \quad (10)$$

g - порты, принадлежащие j -ой схеме. Таким образом, величина f_{ij} наиболее адекватно, по сравнению с существующими подходами, отражает прогнозируемый доход судов по схемам, так как основана на усредненной загрузке и усредненном тарифе.

Величина $(\xi_i \cdot r_i^{t-ch} \cdot T_i^{t-ch} - \delta_i \cdot r_i^{nocm}) \cdot \sum_{j=1}^n x_{ij}$ можно исключить из целевой функции, потому что она отвечает за расходы, которые не связаны с распределением судов по схемам, кроме того, а количество судов считаем установленным на предыдущем этапе. Так как i - номер судна, то $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$ для каждого i . В рамках рассматриваемой задачи осуществляется только расстановка уже сформированного флота. Поэтому в качестве критерия оптимизации можно использовать откорректированное следующим образом выражение (10):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - r_{ij}^{эксн}) \cdot x_{ij} \rightarrow \max, \quad (11)$$

а остальные виды затрат расходы будем использовать в рамках ограничения по финансовому результату работы судов:

$$\sum_{j=1}^n (f_{ij} - r_{ij}^{эксн}) \cdot x_{ij} - (\xi_i \cdot r_i^{t-ch} \cdot T_i^{t-ch} - \delta_i \cdot r_i^{nocm}) \cdot \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq \Pi_i^{\min}, (i = \overline{1, m}), \quad (12)$$

где Π_i^{\min} - минимально допустимая прибыль для судна.

После учета минимально допустимых границ финансового результата, формирование экономико-математической модели завершается ограничениями по спросу на схемах линейного сервиса:

$$\sum_{i=1}^m P_i^j \cdot x_{ij} \leq \sum_{r \in G_j} Q_r^j, (j = \overline{1, n}). \quad (13)$$

С учетом знака в (12), если суммарная провозная способность судов выше чем объем транспортной работы, то «лишние» суда не будут участвовать в обслуживании схем, что позволит откорректировать полученные на предыдущем этапе данные.

Таким образом, экономико-математическая модель (11), (12), (13), позволяет выбрать из множества вариантов схем линейного сервиса оптимальные и одновременно закрепить за ними суда.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Состав флота и набор перспективных направлений являются базой для выделения участков перевозок, из которых формируются альтернативные схемы работы судов. Поэтому возникает необходимость закрепления судов за схемами. В качестве инструментария решения данной задачи разработана экономико-математическая модель. Спецификой ее является учет «усредненной» загрузки универсальных судов по схемам, и на ее основе – финансового результата. Представленный подход учитывает композитную загрузку универсальных судов с учетом структуры спроса, превышения предложения над спросом, а также дальность перевозки каждого вида груза, что наиболее адекватно, по сравнению с существующими подходами, отражает сущность и условия работы универсальных судов на международных линиях.

Представленные результаты являются элементом методической базы процессов организации работы универсальных судов в линейном секторе судоходства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kendall P. M. H. A theory of optimum ship size / P. M. H. Kendall // *Journal of Transport Economics and Policy*. – 1972. – № 1 (2). – P. 128-146.
2. Панарин П. Я. Организация работы линейного флота / П. Я. Панарин. – М.: Трансп., 1980. – 192 с.
3. Панарин П. Я. Система моделей оптимизации линейного судоходства / П. Я. Панарин // *Экономика и эксплуатация морского транспорта: сб. науч. тр. Одес. ин-та инженеров мор. флота*. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1978. – Вып. 14. – С. 14-18.
4. Панарин П. Я. Международное линейное судоходство / П. Я. Панарин, Я. А. Горшков // *Методи та засоби управління розвитком транспортних засобів: зб. наук. пр. – О.: ОДМУ, 2003. – Вип. 5. – С. 238-252.*
5. Кириллова Е. В. Обоснование оптимального количества грузов в загрузке судна / Е. В. Кириллова // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. пр. – О.: ОНМУ, 2006. – Вип. 11. – С. 142-153.*
6. Кириллова Е. В. Организация и управление работой морских судов в ролкерной транспортно-технологической системе: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Е. В. Кириллова; ОНМУ. – О., 2004. – 184 с.
7. Кириллов Ю. И. Організація та управління роботою суден в контейнерній транспортно-технологічній системі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 / Ю. И. Кириллов; Одес. нац. мор. ун-т. – О., 2013. – 24 с.
8. Кириллова Е. В. Формализация и систематизация критических и оптимальных величин показателей работы судна / Е. В. Кириллова, Ю. И. Кириллов // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. пр. – О.: ОНМУ, 2008. – Вип. 13. – С. 165-198.*
9. Лапкина И.А. Определение оптимальной эксплуатационной скорости судов-контейнеровозов при изменении объемов перевозок на линии // *Зб. наук. праць Одеського національного морського університету. Серія «Методи та засоби управління розвитком транспортних систем»: зб. наук. праць: статті / И.А. Лапкина, О.В. Акимова. – Одеса, 2011. № 18. – С. 165 – 181.*
10. Савельева И. В. Анализ тенденций роста контейнеризации как важного фактора развития мировой торговли / И. В. Савельева // *Ринкова економіка: Сучасна теорія і практика управління: зб. наук. пр. – О.: ОНУ, 2009. – Вип. 25. – Т. 12. – Ч. 1. – С. 204-218.*

11. Appelgreen L. H. Column Generation Algorithm for Vessel Scheduling Problem / L. H. Appelgreen // *Transportation Sci.* – 1969. – Vol. 3. – № 1. – P. 53-88.
12. Brown G. Scheduling ocean transportation of crude oil / G. Brown // *Management science.* – 1987. – № 33. – P. 335-346.
13. Johnson S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included / S. M. Johnson. – *Naval Res. Log. Quart.* – 1954. – P. 61-68.

УДК 656.61.052

TRANSFORMATION OF VECTOR ERROR TO ERROR OF LATERAL DEVIATION**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВЕКТОРИАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ В ПОГРЕШНОСТЬ БОКОВОГО ОТКЛОНЕНИЯ****I.I. Vorohobin, PhD associate professor, V.V. Severin, PhD student****И.И. Ворохобин, к.т.н., доцент, В. В. Северин, аспирант,***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

In the case of distributing random error terms of the navigation measurings by the law of Gauss the method of transforming the system of two dependent errors in the system of independent errors by the ortogonal matrix of transformation is offered by calculating the angle of turn, inverting the second mixed moment in a zero.

In order to keep to the law procedure of achieving closeness of distributing error of lateral deviation from the closeness of probability distribution of position vector error is offered.

Key words: navigation accident rate, system of dependent and independent random error terms, closeness of distributing.

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

Одной из наиболее актуальных является проблема обеспечения безопасности судовождения в стесненных районах плавания, для которых характерно наличие навигационных опасностей в виде мелей, навигационного ограждения и т. п.

Решению этой проблемы способствует снижение числа аварий, возникающих по причине посадок судов на мель и навалов на причал, чего возможно достичь, во-первых, повышением точности определения места судна. Во-вторых, это достигается 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

Вопросы по оценке надежности судовождения в случае, когда судно следовало мимо выделяющихся (точечных) навигационных опасностей и в

узкости впервые рассматривались в работах [1] и [2], а работа [3] посвящена обоснованию критерия навигационной безопасности.

В работе [4] рассмотрены два подхода к оценке вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе и показана их эквивалентность, а количественная оценка навигационной безопасности поворота судна в стесненных условиях плавания, выраженная в вероятностной мере, предложена в работе [5]. Работа [6] посвящена разработке алгоритма формирования оптимальной системы навигационного оборудования стесненного района, в котором в качестве критерия оптимальности выбрана априорная вероятность безопасного плавания, а влияние структуры радиолокационной системы обращенного типа на величину критерия точности рассмотрено в работе [7]. Разработке процедуры оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах посвящены работы [8, 9].

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является рассмотрение процедуры преобразования двумерной позиционной погрешности в одномерную погрешность бокового отклонения судна от программной траектории движения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Одной из причин навигационной аварийности судов в процессе судовождения являются посадки на мель и навалы, возникающие из-за позиционных погрешностей.

В работе [8] рассмотрена процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных условиях по выбранному маршруту и показано, что вероятность зависит от основных существенных факторов: характеристики стесненности допустимой области плавания; характеристик точности, обеспечиваемой системой навигационного оборудования, выражающихся в параметрах плотности двумерного распределения векториальной позиционной погрешности; выбора программной траектории в допустимой области плавания и длины программной траектории.

В работе [4] показано, что для оценки вероятности безаварийного плавания судна по выбранному маршруту целесообразно применение математической модели с одномерной плотностью распределения бокового отклонения судна от программной траектории движения. Однако векториальная позиционная погрешность характеризуется двумерной плотностью распределения. Следовательно, следует найти выражение одномерной плотности $f_b(z)$ бокового отклонения z при заданной двумерной плотности распределения вероятностей позиционной траекторной погрешности $f(x, y)$. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

В общем случае двумерная плотность распределения Гаусса для центрированных составляющих векториальной погрешности имеет вид [11]:

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

где σ_x и σ_y - средние квадратические отклонения векториальной погрешности соответственно по осям x и y , причем:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad \sigma_y = \sqrt{D_y} \quad \text{и} \quad \sigma_{xy} = \sqrt{D_{xy}}.$$

Ковариационная матрица $K(x, y)_{\min}$ векториальной погрешности выражается через центральные и смешанные моменты второго порядка следующим образом [11]:

$$K(x, y)_{\min} = \begin{vmatrix} D_x & D_{xy} \\ D_{yx} & D_y \end{vmatrix},$$

Для исключения недиагонального элемента D_{xy} ковариационной матрицы $K(x, y)_{\min}$ при известных элементах D_x , D_y и D_{xy} , необходимо рассчитать угол поворота γ , который определяется условием [10]:

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2D_{xy}}{D_x - D_y}.$$

При повороте на этот угол изменяются значения дисперсий D_x и D_y , характеризующие диагональную ковариационную матрицу, которую обозначим $K(x, y)_{\min 1}$, а новые значения дисперсий обозначены D_{x1} и D_{y1} , т.е.:

$$K(x, y)_{\min 1} = \begin{vmatrix} D_{x1} & 0 \\ 0 & D_{y1} \end{vmatrix}.$$

Матрицу $K(x, y)_{\min 1}$ и, следовательно, ее элементы D_{x1} и D_{y1} находятся с помощью соотношения [10]:

$$K(x, y)_{\min 1} = GK(x, y)_{\min} G^T,$$

где G – матрица преобразования, элементы которой, как показано в [10], определяются следующими формулами:

$$g_{11} = g_{22} = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{(D_x - D_y)}{\sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}} \right] \right\}^{1/2},$$

$$g_{21} = -g_{12} = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \frac{(D_x - D_y)}{\sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}} \right] \right\}^{1/2}.$$

Новые значения дисперсий рассчитываются по формулам:

$$D_{x1} = \frac{1}{2} [D_x + D_y + \sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}];$$

$$D_{y1} = \frac{1}{2} [D_x + D_y - \sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}].$$

После указанных преобразований выражение двумерной плотности $f(x, y)$, учитывая, что для нормального распределения некоррелированность случайных величин означает их независимость, принимает следующий вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right].$$

Таким образом, двумерная плотность $f(x, y)$ при нормальном законе распределения может быть представлена системой независимых составляющих x и y , второй смешанных момент которых равен нулю, а ковариационная матрица содержит дисперсии σ_{x1}^2 и σ_{y1}^2 .

Следуя работе [12], рассмотрим связь плотности погрешности бокового отклонения и с двумерной плотность. На рис. показана зависимость бокового отклонения z от составляющих x и y векториальной позиционной погрешности, а также курса судна K . Из рис. следует:

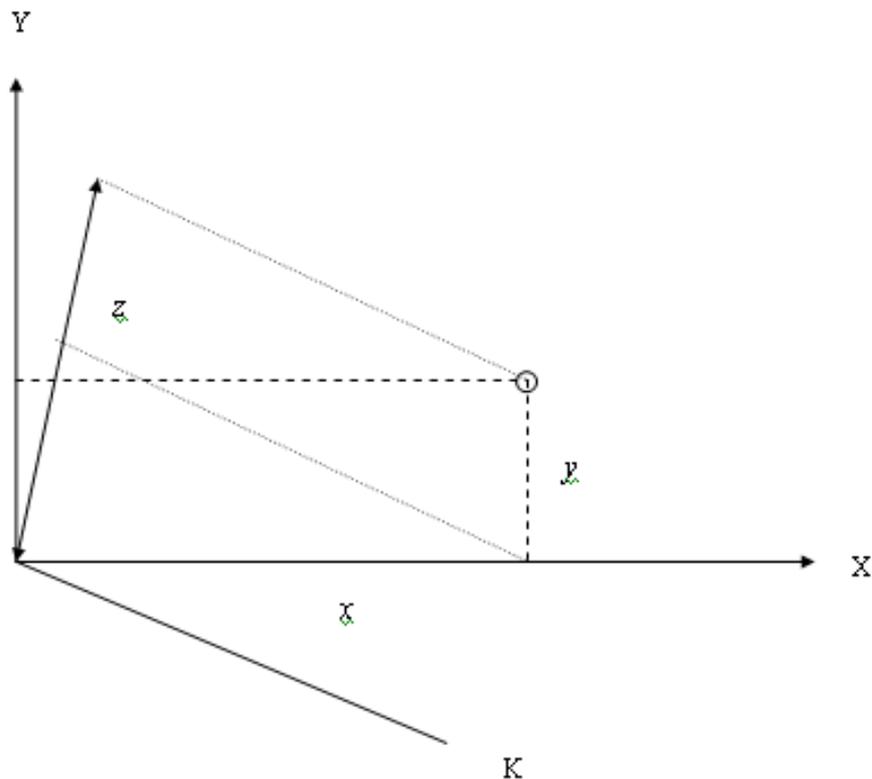


Рис. Зависимость бокового отклонения z от составляющих x и y

$$z = x \sin\left(K - \frac{\pi}{2}\right) + y \cos\left(K - \frac{\pi}{2}\right), \text{ или}$$

$$z = y \sin K - x \cos K.$$

В этом случае боковое отклонение z также будет подчиняться нормальному закону с параметрами [11]:

$$m_z = m_y \sin K - m_x \cos K,$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_{x1}^2 \cos^2 K + \sigma_{y1}^2 \sin^2 K,$$

где m_z и σ_z^2 - соответственно математическое ожидание и дисперсия бокового отклонения;

m_x и m_y - математические ожидания составляющих x и y векториальной погрешности.

Поэтому:

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(z - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right], \text{ или}$$

$$f_b(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{x1}^2 \cos^2 K + \sigma_{y1}^2 \sin^2 K)}} \exp\left\{-\frac{[z - (m_y \sin K - m_x \cos K)]^2}{2(\sigma_{x1}^2 \cos^2 K + \sigma_{y1}^2 \sin^2 K)}\right\}.$$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в случае распределения случайных величин по закону Гаусса рассмотрена процедура замены системы двух зависимых величин системой независимых величин с помощью ортогональной матрицы. Также предложено преобразование двумерной плотности распределения вероятностей позиционной векториальной погрешности в одномерную плотность погрешности бокового отклонения.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть погрешности, возникающие по причине 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. Алексишин В.Г. Общий алгоритм формирования оптимальной системы навигационного оборудования стесненного района/ В.Г. Алексишин // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 3 -11.
 7. Бузовский Д.А. Зависимость точностного критерия радиолокационной системы обращенного типа от ее структуры / Д.А. Бузовский // Судовождение. – 2006. - № 11. – С. 14 – 19.
 8. 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.
 9. 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.
 10. Корн Г. Справочник по математике/ Г. Корн, Т.Корн - М.: Наука, 1984. - 832 с.
 11. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель - М.: Наука, 1969. - 576 с.
 12. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения /И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 56-59.

УДК 656.61.052.484

**ANALYTICAL DESCRIPTION OF VESSEL LOADING USING
THE THEORY OF OPERATIONS RESEARCH****АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАГРУЗКИ СУДНА
МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ***A.V. Gaychenya, senior lecturer**А.В. Гайченя, старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

The article presents the requirements of the theory of operations research to the analytical description of the bulk cargo operations and versatile vessels. And in the beginning stages of the given research from the standpoint of theory, operations research, and then shown their application to the problem of developing a method of database input vessel for bulk cargo program and versatile vessels.

Key words: ship loading, analytical description, theory of operations research.

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

Проблема обеспечения мореходной безопасности морских судов в значительной мере определяется их загрузкой. Спецификой грузовых операций навалочных судов являются повышенные требования к обеспечению общей продольной прочности, что обуславливает особенности технологии их проведения. При загрузке универсальных судов также имеется ряд особенностей, связанных с ротацией грузов, их укладкой и креплением, а также совместимостью партий груза. Поэтому аналитическое описание грузовых операций навалочных и универсальных судов может быть произведено методами теории исследования операций, чему и посвящена данная работа.

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

В работе [1] приведены общие требования к грузовым операциям навалочных судов, а вопросы формирования оптимальной загрузки навалочных судов рассмотрены в работе [2]. Метод оптимизации загрузки судна тарно-штучными грузами предлагается в работе [3].

Формулировка целей статьи

Целью данной статьи является анализ требований теории исследования операций к аналитическому описанию грузовых операций судов.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Теория исследования операций [4, 5] изучает и объясняет явления связанные с функциональными системами, разрабатывает модели, предназначенные для объяснения данных явлений, использует эти модели для описания того, что произойдет при изменении условий, и проверяет предсказания новыми наблюдениями.

Исследованию операций присущи следующие основные этапы:

1. Определение целей, которые следует формулировать, исходя из сущности решений, на получение которых ориентирована исследовательская работа. Следует обратить особое внимание на то, чтобы формулировка цели работы не была слишком узкой. Нельзя ставить и слишком широкие цели, что зачастую приводит к безуспешной попытке сразу решить все проблемы в рамках одного всеобъемлющего исследования.

2. Составление плана разработки проекта, подразумевая под планированием установление реперных точек, т. е. временных координат, соответствующих необходимым срокам завершения определенных видов работ.

3. Формулировка проблемы, - это один из самых важных этапов исследования, в результате которого формируется четкое понимание следующих моментов: в чем состоит существо проблемы, что имело место в прошлом, чего следует ожидать в будущем и каков характер соотношения между переменными исследуемой задачи. На основе полученных результатов формируется общая схема построения модели для изучаемой проблемы и определяется направление всей дальнейшей работы. Основным вопросом, связанный с формулировкой проблемы заключается в том, чтобы определить, имеется ли возможность представить всю проблему в виде отдельных, более частных подпроблем, которые можно исследовать независимо одну от другой.

Разрабатывая общий подход к анализу крупномасштабных проблем, исследование операций рекомендует в общем случае придерживаться следующей принципиальной схемы:

- вначале рассмотреть центральную задачу исследования;
- определить, какие входные и выходные данные требуются для формирования модели центральной задачи, что поможет определить подмодели, разработка которых потребуется в дальнейшем;
- установить, существуют ли средства для получения необходимой входной информации или использования результирующей выходной информации. Если такие средства есть, то их следует применить. В противном случае должны быть определены вспомогательные модели;
- выяснить, что должно быть разработано применительно к каждой из дополнительных моделей: вся модель, быстрый и грубый способ расчета или новые методы ручных расчетов.

Второй вопрос, подлежащий решению на стадии формулировки проблемы, связан с определением степени детализации разрабатываемой модели, причем не следует смешивать степень детализации с адекватностью модели. Более важно, чтобы разрабатываемая модель не оказалась «смещенной», т. е. такой, в

которой не учтен тот или иной существенный и постоянно действующий фактор.

После разделения проблемы на соответствующие части и определения желаемой степени детализации модели процесс формулировки проблемы достигает фазы определения области применения и размерности разрабатываемой модели. При рассмотрении этой фазы необходимо решить пять следующих вопросов:

- определение размерности задачи, что, в принципе, является первым этапом построения модели, подразумевает определение переменных исследуемой задачи, которые необходимо учесть;

- определение управляемых переменных, являющееся вторым этапом построения модели, и заключается в определении переменных, которые могут изменяться управляющим органом. Некорректное разделение переменных на управляемые и неуправляемые может повести к «смещенной» модели;

- определение неуправляемых переменных, - это третий вопрос, подлежащий решению на стадии формулировки проблемы, когда определяются параметры, которые не могут быть изменены управляющим органом, но оказывающие влияние на моделируемую деятельность. Необходимо отметить, что при игнорировании влияния внешних факторов построенная модель может оказаться неадекватной реальной ситуации и, что еще хуже, ее использование может привести к выработке ошибочной стратегии;

- определение технологических параметров системы, является четвертым вопросом, который нужно решать на стадии формулировки проблемы. Технология описывается совокупностью констант и параметров, определяющих предельные значения переменных и соотношения между ними, которые необходимо учесть по замыслу решаемой задачи;

- определение показателей эффективности, которые служат основой для оценки конкретных решений рассматриваемой проблемы. В большинстве случаев при исследовании операций используется несколько показателей эффективности. Наиболее важные из них следует выявить уже на стадии определения целей исследования.

4. Построение модели. Модель выражает взаимосвязь между управляемыми переменными, неуправляемыми переменными, технологическими параметрами и показателями эффективности. Приступая к разработке модели, нужно, прежде всего, решить вопрос о возможности использования в рамках модели тех или иных требуемых показателей и соотношений. Нередко адекватность модели зависит от правильного решения этого вопроса.

Существует несколько различных типов соотношений, формирующих модель:

- соотношения, вытекающие из определений, - это аналитические выражения физических законов или общепринятых правил учета хозяйственной деятельности. Соотношения такого рода обычно выводятся достаточно просто и не требуют анализа данных;

- эмпирические соотношения, характеризующие взаимосвязи между переменными, выводятся на основе изучения данных за прошлый период, анализа технических аспектов, экспериментальных данных. Построение и использование эмпирических соотношений может быть затруднено следующими двумя обстоятельствами. Во-первых, имеющиеся данные ретроспективного анализа могут оказаться непредставительными для вывода соотношений, характеризующих рассматриваемую систему в изменившихся условиях текущего периода или в предполагаемых условиях будущего периода. Эти новые условия функционирования системы должны найти отражение либо в изменении числовых значений соответствующих параметров, входящих в рассматриваемые соотношения, либо в изменениях структуры и характера самих зависимостей. Вторая трудность заключается в том, что эмпирические соотношения могут выводиться на основе данных, которые относятся к характеристикам функционирования системы, не отвечающим требуемому уровню эффективности. В этом случае решения, получаемые с помощью модели, не будут стимулировать повышение эффективности системы и не отразят те потенциальные возможности, которые могут быть реализованы при совершенствовании управления;

- нормативные соотношения, - это такие соотношения, которые устанавливают, как переменные должны быть связаны между собой, а не то, как они были связаны в прошлом. Эти соотношения могут быть результатом тех требований, которые предъявляет управляющий орган к качеству функционирования системы.

5. Разработка вычислительного метода. Одновременно с проведением работ по построению модели необходимо выбрать или разработать численный метод решения, причем необходимо выяснить следующие вопросы:

- следует ли использовать имитационное моделирование или какой-либо из имеющихся методов оптимизации;

- должна ли модель учитывать, что некоторые переменные являются случайными величинами, или же следует использовать детерминированный подход;

- нужно ли учитывать нелинейность некоторых соотношений или достаточно ограничиться их линейной аппроксимацией;

- можно ли использовать существующие методы решения или требуется разработать новый метод.

На этапе разработки вычислительного метода приходится определять, допустимо ли в данном конкретном случае использование оптимизационного метода решения или необходимо разработать некоторый эвристический алгоритм. Всегда, когда в рамках анализа операций необходима разработка некоторого вычислительного метода, необходимо вначале дать исчерпывающую формулировку задачи, если даже вполне очевидно, что в такой постановке она не поддается решению.

Зачастую возникает дилемма выбора одного из двух вариантов:

- найти оптимальное решение упрощенной задачи;

- найти приближенное решение точно сформулированной задачи.

Практический опыт убедительно свидетельствует о предпочтительности второго варианта.

6. Разработка технического задания на программирование, программирование и отладка. Составление программ для ЭВМ во многих случаях является составной частью проводимого исследования. При этом следует подчеркнуть особую важность и значение составления ориентированных на пользователя входных и выходных данных. В этом случае выполнение трудоемких функций, связанных с подготовкой данных, возлагается на ЭВМ, а не на пользователя.

7. Сбор данных. На этом этапе осуществляется сбор и анализ данных, необходимых для проверки правильности модели и практического использования результатов исследования операций.

8. Проверка модели, которая включает две фазы: определение способов проверки модели и осуществление этой проверки. На первой фазе выбираются аналитические и экспериментальные методы для проверки непротиворечивости, чувствительности, реалистичности и работоспособности модели.

Сформулируем задачу разработки метода ввода базы данных грузовой программы судна в рамках приведенных основных требований исследования операций, давая характеристику рассматриваемой задачи по каждому из этапов исследования операций.

Прежде всего, произведем определение целей исследования. В общем виде, целью исследования является разработка метода ввода базы данных грузовой программы судна.

Для достижения поставленной цели необходимо вначале определить требования к возможностям результирующей компьютерной грузовой программы, из чего определяется структура необходимой базы данных. Специфика проводимого исследования не требует учета второго этапа - составления плана разработки проекта.

Рассмотрим третий этап - формулировку проблемы. База данных грузовой компьютерной программы, прежде всего, определяется требованиями к возможностям грузовой программы, которая должна синтезироваться из формирующей базы.

Необходимыми требованиями, которым должна удовлетворять грузовая программа, являются:

- расчет и вывод информации о посадке судна;
- определение параметров остойчивости судна и сравнение их с допустимыми значениями;
- расчет характеристик общей продольной прочности корпуса судна и местной прочности.

Укажем дополнительное требование к грузовой программе универсального судна, могущего перевозить генеральные грузы. Очень существенным для указанной ситуации является требование отображать укладку генерального груза с учетом архитектуры грузовых помещений судна. Необходимо также,

чтобы грузовая программа позволяла производить отображение распределения запасов в танках.

Таким образом, в исследовании выделяется пять указанных требований к грузовой компьютерной программе, которая представляется сформированной базой данных. Для определения входных и выходных переменных исследуемой задачи следует учесть параметры, которые соответствуют сформулированным требованиям. Причем для формирования базы данных грузовой программы следует учитывать только неизменные параметры, характеризующие каждое из требований.

Для реализации грузовой программы конкретного судна следует произвести дополнительный модуль, позволяющий производить оптимизацию загрузки судна заданным грузом.

Оптимизационная задача, описывающая процесс проведения грузовых операций судна, в общем виде может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} K(u_0) = \text{extr} \{K[(u: u \in U)]\} \\ m_s \in M_s, \\ m_p \in M_p, \end{aligned} \quad (1)$$

где K - критерий оптимальности;

m_s , M_s - соответственно параметры остойчивости, посадки, прочности судна, и множество их допустимых значений;

m_p , M_p - соответственно производственные параметры и множество их допустимых значений;

u и U - соответственно стратегия оптимизационной задачи и множество допустимых стратегий.

В выражении (1) первое равенство показывает, что при оптимальной стратегии загрузки u_0 , принадлежащей допустимому множеству U , критерий оптимальности K достигает требуемого экстремального значения. Одновременно должны соблюдаться ограничения по параметрам мореходности судна (вторая строка выражения (1)) и ограничения по производственным параметрам (третья строка того же выражения).

В качестве альтернативных стратегий u , из которых выбирается оптимальная u_0 , обеспечивающая экстремум критерия оптимальности K , рассматривается возможный процесс загрузки судна (предварительный грузовой план), который характеризуется следующими основными параметрами, подлежащими численному определению:

- число этапов загрузки судна, которое обозначим N_s ;
- совокупность трюмов и танков на каждом из этапов, которые задействованы в грузовых и балластных операциях и количество подлежащего обработке груза для каждого из трюмов, а также балласта для каждого из танков;
- скорости изменения груза и балласта на каждом из этапов.

Первые два пункта характеризуют структуру стратегии u , а последний – ее переменные характеристики. Решение упомянутые оптимизационные задачи предполагается осуществить методами исследования операций [4]. Множество

возможных состояний судна S с точки зрения проведения грузовых операций определяется пространством, размерность которого является суммой $m_s + m_p$ параметров мореходности и производственных параметров. Конкретное состояние s ($s \in S$) является точкой пространства (множества) S . Причем граничные значения допустимого множества M определяются предельными значениями параметров m_s и m_p , которые регламентируются как требованиями ИМО и классификационных обществ, так и реальными физическими ограничениями.

Стратегия u является операцией, которая характеризуется не только процессом изменения количества груза W_c и балласта W_b , но и значениями статических моментов M_x , M_y и M_z , при этом также происходят изменения перерезывающих сил SF и изгибающих моментов BM . Поэтому как стратегии проведения грузовых операций u , так и водоизмещение судна, количество груза и балласта, моменты, перерезывающие силы и изгибающие моменты являются процессами, т. е. справедливы обозначения u_t , D_t , W_{ct} , W_{bt} , M_{xt} , M_{yt} , M_{zt} , SF_t , BM_t . Следовательно, существуют аналитические зависимости указанных переменных от стратегии u_t , которые в общем виде можно записать с помощью следующих формальных зависимостей:

$$\begin{aligned} D_t &= f_d(u_t), & W_{ct} &= f_c(u_t), & W_{bt} &= f_b(u_t), \\ M_{xt} &= f_x(u_t), & M_{yt} &= f_y(u_t), & M_{zt} &= f_z(u_t), \\ SF_t &= f_F(u_t), & BM_t &= f_B(u_t). \end{aligned}$$

Параметры m , подлежащие ограничению по условиям задачи, зависят от перечисленных переменных, т.е.

$$m = F_o(D_t, W_{ct}, W_{bt}, M_{xt}, M_{yt}, M_{zt}, SF_t, BM_t)$$

или $m = F(u_t)$.

Задаваясь граничными значениями m^* параметров m , фигурирующих в ограничениях оптимизационной задачи, используя обратное преобразование F^{-1} , можно найти граничные значения u^* параметров стратегии u_t , что позволит задать множество допустимых стратегий загрузки U .

Критерий оптимальности K также зависит от параметров стратегии загрузки u_t , причем аналитический вид такой зависимости $K = F_k(u_t)$ необходимо определить для каждой постановки оптимизационной задачи. Получение оптимальной стратегии загрузки u_{ot} , при которой достигается экстремум критерия K , сводится к использованию одного из методов математического программирования, адекватно описывающего исходную постановку задачи. При этом процесс смены состояний судна в многомерном пространстве состояний представляет собой траекторию, не выходящую за допустимые пределы в течение всего периода проведения грузовых операций судна.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

В статье рассмотрены требования теории исследования операций к аналитическому описанию грузовых операций навалочных и универсальных судов. В дальнейшем целесообразно разработать общий алгоритм формализации загрузки судов, учитывающий общие требования и особенности разных типов судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павленко Л.В. Особенности эксплуатации балкеров/ Л.В. Павленко, Л.А. Козырь – Одесса: Латстар, 2002. – 78 с.
2. Цымбал Н.Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов/ Н.Н. Цымбал, Ю.Ю.Васьков // Судовождение. – 2004. - № 7. – С. 3 - 10.
3. Чепок А.О. Оптимизация загрузки судна тарно-штучными грузами в автоматизированных системах / А.О. Чепок // Проблемы техники: Научно-производственный журнал / ОНМУ, ХНУ – 2013. – № 4. – Одесса: Одесский национальный морской университет, 2013. – С. 44–51.
4. Исследование операций. Т. 1. Методологические основы и математические методы. Под редакцией Дж. Моудера. – М.: Мир, 1981. – 712 с.
5. Таха Х. Введение в исследование операций / Таха Х. – М.: Мир, 1985. – 478 с.

УДК 629.123.03

THE CONTROL SYSTEM OF ROTARY MULTISECTION SAILING ENGINE

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОТОРНИМ БАГАТОСЕКЦІЙНИМ ВІТРОРУШІЄМ

S. Zaichko, professor, A. Sandler, assistant professor, O. Karpilov, senior lecturer
С.І. Заїчко, професор, А.К. Сандлер, доцент, О. Ю. Карпілов, старший
викладач

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

ABSTRACT

For ensuring the navigation safety of moving vessels with sailing engines necessary to effectively manage the sail propulsion system as an element. Existing control systems do not fully answer by their specification and technical characteristics the control tasks of multisecti on sailing engines. Possibilities of existing well-known systems are limited in the amount of use and compensation for the effect of navigation and metrological performance factors.

A new circuit solution of the Power Management system concerns multiple units of rotary sailing engines.

The designed system is implemented on the basis of managing the most important factors affecting the efficacy and safety of vessels with auxiliary sails.

Keywords: sail, the control system, navigational factors.

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

Останні тридцять років з'явилася тенденція використання альтернативних нафти джерел енергії, особливо екологічно чистої енергії вітру і сонця, що обумовлено обмеженістю запасів нафти, їх неухильним виснаженням і постійним зростанням витрат на видобуток нафти. На флоті проблема скорочення споживання палива може бути вирішена шляхом використання енергії вітру для руху суден, що вимагає розробки і встановлення на транспортних судах вітрорушіїв різних типів.

У цих умовах ефективність управління багато в чому обумовлена повнотою використання пропульсивних, навігаційних та гідрометеорологічних чинників для просторової орієнтації сегментів вітрорушіїв [1, 2].

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

У той же час, аналіз існуючих систем керування вітрорушієм показав, що можливості більшості використовуваних систем не дозволяють задіяти для роботи всі експлуатаційні чинники. Для виявлення причин проблеми, що склалася, проаналізовані склад та функціонал конструкції найпоширеніших систем керування.

Відома система керування вітрильним вітрорушієм, що містить блок моніторингу положення вітрорушія, блок керування на основі релейної техніки, блок контролю напрямку та швидкістю вітру, пульт дистанційного керування, блок керування силовими сервоприводами, блок виконавчих приводів (рис. 1) [3].

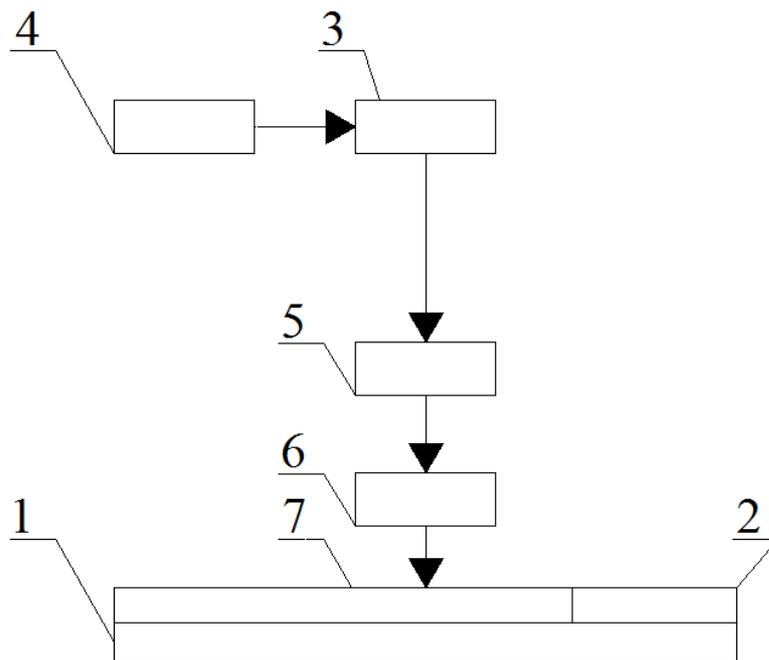


Рис. 1. Система керування вітрорушієм: 1 – вітрорушій (жорстке сегментне вітрило); 2 – блок моніторингу положення сегментів вітрорушія; 3 – блок керування на основі релейної техніки; 4 – блок контролю напрямку та швидкістю вітру; 5 – пульт дистанційного керування; 6 – блок керування силовими сервоприводами; 7 – блок виконавчих приводів

Недоліки пристрою, які обумовлені здійснення керування вітрорушієм тільки на підставі інформації з блоку контролю напрямку та швидкості вітру:

- відсутній контроль навігаційних та гідрометеорологічних чинників;
- відсутність корегування станом вітрорушія від навантаження головної енергетичної установки, навігаційних та гідрометеорологічних чинників;
- неможливість керування окремими сегментами вітрорушія для ефективного використання енергії вітру на різних висотах щогли;
- недостатня швидкість реагування релейної техніки на швидкі зміни повітряного тиску вітру у штормових умовах.

Більш досконалою є система керування вітрорушієм, яка складається з блоку моніторингу положення вітрорушія, блок керування на основі мікроконтролерної техніки, блоку азимутального контролю вітру, блоку контролю крену судна, пульта дистанційного керування, блоку керування

силовими сервоприводами, локального пульта керування, блоку виконавчих приводів (рис. 2) [4, 5].

Недоліки пристрою, які обумовлені які обумовлені здійснення керування вітрорушієм тільки на підставі інформації з блоків контролю напрямку та швидкості вітру крену судна та зв'язку блоку моніторингу положення вітрорушія безпосередньо з блоком керування силовими сервоприводами:

- відсутній контроль навігаційних та гідрометеорологічних чинників;
- відсутність корегування станом вітрорушія від навантаження головної енергетичної установки, навігаційних та гідрометеорологічних чинників;

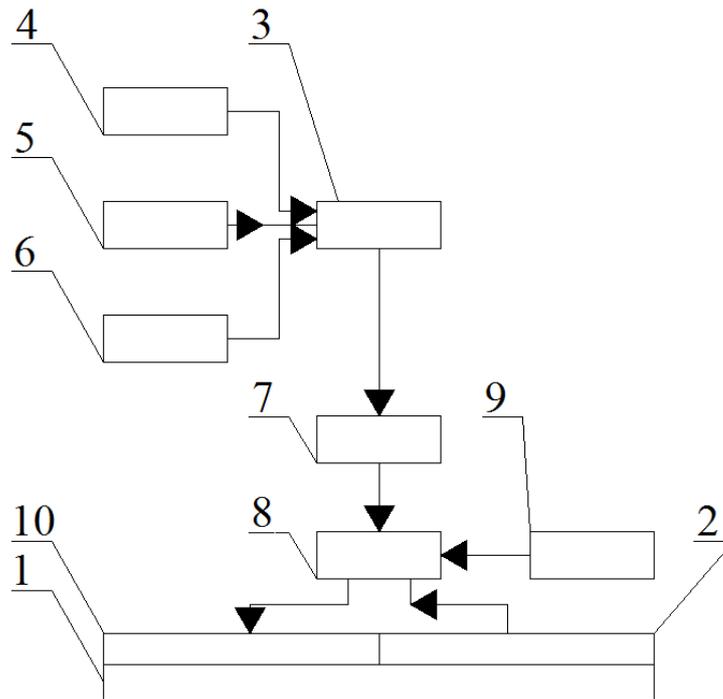


Рис. 2. Система керування вітрорушієм: 1 – вітрорушій (жорстке сегментне вітрило); 2 – блок моніторингу положення сегментів вітрорушія; 3 – блок керування на основі мікроконтролерної техніки; 4 – блок азимутального контролю вітру; 5 – блок контролю крену судна; 6 – блок контролю становища доколишнього середовища; 7 – пульт дистанційного керування; 8 – блок керування силовими сервоприводами; 9 – локальний пульт керування; 10 – блок виконавчих приводів

- неможливість керування окремими сегментами вітрорушія для ефективного використання енергії вітру на різних висотах щогли;
- неможливість внесення необхідних поправок керування, що ураховують стан поверхні вітрорушія (зволоження, обмерзання, тощо).

Формулювання мети статі (постановка задачі)

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення системи керування вітрорушієм. Передбачалося, що функціонал системи повинен забезпечити:

- контроль всіх навігаційних та гідрометеорологічних чинників;
- можливість корегування стану вітрорушія від навантаження головної енергетичної установки;

- керування окремими сегментами вітрорушія для ефективного використання енергії вітру на різних висотах щогли;
- урахуванням стану поверхні вітрорушія;
- збереженість високого рівня чутливості, простоти та надійності схемотехнічних рішень систем відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована доопрацьована схема системи керування.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 3), де зображено система керування вітрорушієм, що складається з вітрорушія 1, блоку моніторингу положення сегментів вітрорушія 2, блоку керування на основі мікроконтролерної техніки 3, блоку азимутального контролю вітру 4, блоку гіроскопів для контролю просторового положення судна 5, пульта дистанційного керування 10, блоку керування силовими сервоприводами 11, локального пульта керування 12 та блоку виконавчих приводів 13.

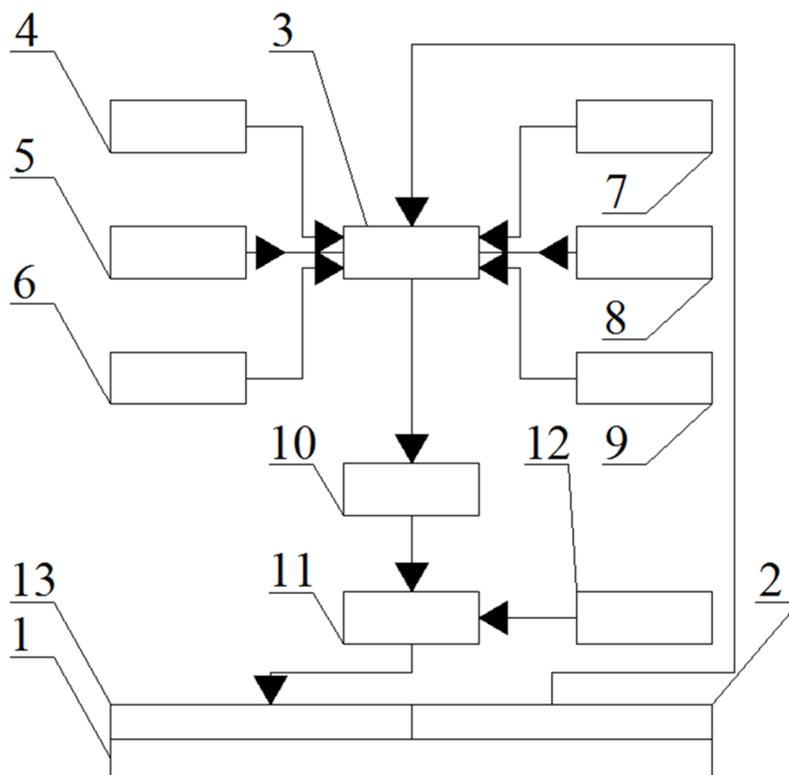


Рис. 3. Система керування вітрорушієм: 1 – вітрорушія (жорстке сегментне вітрило); 2 – блок моніторингу положення сегментів вітрорушія; 3 – блок керування на основі мікроконтролерної техніки; 4 – блок азимутального контролю вітру; 5 – блок гіроскопів для контролю просторового положення судна (крен та диферент); 6 – блок контролю становища доводилинського середовища; 7 – блок контролю навантаження головної енергетичної установки; 8 – блок розподіленого контролю хвильового навантаження на корпус судна; 9 – блок контролю осадки судна; 10 – пульт дистанційного керування; 11 – блок керування силовими сервоприводами; 12 – локальний пульт керування; 13 – блок виконавчих приводів

Крім того, до складу системи залучені блок контролю становища довколишнього середовища 6, блок контролю навантаження головної енергетичної установки 7, блок розподіленого контролю хвильового навантаження на корпус судна 8, блок контролю осадки судна 9.

Інформація до блоку азимутального контролю вітру та блоку моніторингу положення сегментів вітрорушії надходить від розгалуженої мережі розподілених за довжиною щогли та сегментами вітрорушії датчиків. На блок гіроскопів просторового положення судна покладена задача контролю не тільки крену, але й диференту судна. А інформація, стосовно положення сегментів вітрорушії (відповідний блок моніторингу), надходить безпосередньо до блоку керування на основі мікроконтролерної техніки.

Команди на корегування положення сегментів вітрорушії генеруються як наслідок багатofакторного аналізу стану головної енергетичної установки, навігаційних та гідрометеорологічних чинників [5, 6, 7].

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію блоків контролю стану головної енергетичної установки, навігаційних та гідрометеорологічних чинників.

У статичному режимі (судно ошвартоване до причалу перед виходом у море) ґрунтуючись на даних щодо вологості та температури повітря, а також крену та диференту судна, блоком контролерної техніки створюються первинні поправки та корегується первинне просторове положення сегментів вітрорушії.

У динамічному режимі (режим повного ходу) основний керуючий сигнал для корегування просторового положення сегментів вітрорушії кожного ярусу генерується в блоках контролю навантаження головної енергетичної установки, азимутального контролю вітру, гіроскопів для контролю просторового положення судна, розподіленого контролю хвильового навантаження на корпус судна та контролю осадки судна. У цих блоках опрацювання вхідної інформації та корегуючих сигналів виключно в масштабі реального часу.

У динамічному режимі (аварійний режим) коригуючий сигнал на зміну кута сегментів вітрорушії або повного згортання вітрорушії генерується після фіксації блоками азимутального контролю вітру, гіроскопів для контролю просторового положення судна та розподіленого контролю хвильового навантаження на корпус судна значень, перевищення яких може створити безпеку для подальшої експлуатації судна [8].

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що до складу системи залучені блок контролю становища довколишнього середовища, блок контролю навантаження головної енергетичної установки, блок розподіленого контролю хвильового навантаження на корпус судна, блок контролю осадки судна. До складу блоку азимутального контролю вітру та блоку моніторингу положення сегментів вітрорушії залучені розподілені за довжиною щогли та сегментами вітрорушії датчики. Блок гіроскопів для контролю просторового положення судна контролює також диферент судна. Блок моніторингу

положення сегментів вітрорушія зв'язаний з блоком керування на основі мікроконтролерної техніки.

Очікуваний технічний ефект забезпечить:

- більш адекватне перетворення параметрів тиску вітрового поля у швидкість ходу судна;
- врахування й компенсацію впливу гідрометеорологічних та навігаційних чинників судноводіння;
- підвищення коефіцієнту корисної дії вітрорушія за рахунок пошарового керування сегментами вітрорушія;
- можливість внесення необхідних поправок керування, що ураховують стан поверхні вітрорушія (зволоження, обмерзаня, тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Заичко С. И. Совершенствование методов управления судами с ветродвижителями: автореферат дис. канд. тех наук: 05.22.16/ Одесская национальная морская академия. – Одесса, - 2004. – 16 с.
2. Обоснование эффективности судовых ветрогенераторных установок / Бурмакин О. А., Малышев Ю. С., Варечкин Ю. В., Сычушкин И. В. // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева / НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – № 2 (104). – С. 160 – 166.
3. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна. / Л. Вагущенко, Н. Цымбал – 3–е изд., перераб. и доп.– Одесса: Феникс, 2007. – 328 с.
4. Масанори И. Система автоматического управления парусами грузового судна со вспомогательным парусным вооружением/ Масанори И.: КР ВЦП. – КЛ-73716. – 27 с. Кейсоку то сейге. – 1984. – 23. №2. – С. 190 – 197.
5. Миусов М.В. Режимы работы и автоматизации пропульсивного комплекса теплохода с ветродвижителями / Михаил Валентинович Миусов – Одесса: Одесская государственная морская академия; ОКФА, 1996. – 256 с.
6. Карпилов А.Ю., Сандлер А.К. Волоконная оптика в системах управления ветровыми движителями. // Научно–практична конференція "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 12 – 18 грудня 2012 р.: матеріали конференції – Одеса: ОНМА, 2012. – С. 30 – 32.
7. Сандлер, А.К., Карпилов А.Ю. Повышение точности управления ветродвижителем // Энергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково–технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2014. – С. 120 – 122.
8. Волоконно-оптический ги́рометр. Декларацийний патент України МПК (2013.01) G02B 6/00 G01N 25/56 (2006.1). / Сандлер А.К., Цюпко Ю.М., Сандлер О.А., Цюпко К.Ю.; заявники та володарі патенту Сандлер А.К., Цюпко, Ю.М., Сандлер О.А., Цюпко К.Ю. – № 79525. – заявл. 24.10.2012. – опубл. 25.04.2013, бюл. № 8.

УДК 378.016:811.811

TEACHING FUTURE NAVIGATORS INTERNATIONAL REGULATIONS FOR PREVENTING COLLISIONS AT SEA IN ENGLISH VIA THE USE OF MNEMONIC TECHNIQUES

**НАВЧАННЯ МАЙБУТНІХ СУДНОВОДІВ
МІЖНАРОДНИХ ПРАВИЛ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ
СУДЕН У МОРІ АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ ЧЕРЕЗ
ВИКОРИСТАННЯ МНЕМІЧНИХ ПРИЙОМІВ**

A. Ivanova, senior teacher, Candidate of Pedagogic Sciences

A.C. Іванова, старший викладач, кандидат педагогічних наук

*Azov Maritime Institute National University "Odesa Maritime Academy",
Ukraine*

*Азовський морський інститут Національного Університету "Одеська
Морська Академія", Україна*

ABSTRACT

The article deals with teaching future navigators International regulations for preventing collisions at sea in English using mnemonic techniques. The difficulties in learning specific professional texts by students have been described. The necessity of using mnemonic techniques, namely the sequence of images for visual support, for keeping large amounts of information in memory has been substantiated. Recommendations on how to implement mnemonic techniques in the teaching process have been compiled.

Key words: learning specific professional texts, mnemonic techniques, sequence of images for visual support, implementation of mnemonic techniques into teaching process

Постановка проблеми у загальному виді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.

Соціально-економічні зміни у сучасному суспільстві диктують необхідність якісної і всебічної підготовки майбутніх судноводіїв, основними вимогами до яких виступають їхня фахова компетентність і мобільність. При цьому майбутні судноводії в умовах роботи у змішаних екіпажах мають оволодіти вмінням спілкування англійською мовою (АМ) з іноземними колегами для вирішення професійних питань як на борту суден, так і з представниками адміністрації порту, екологічних інспекцій, екіпажами інших іноземних суден під час швартування або бункерування суден, під час лоцманської проводки, при оформленні суднової документації, при вивченні технічної документації, при заході до іноземного порту, при проведенні ремонтних робіт та при проведенні спільних пошуково-рятувальних операцій на морі, тощо. [1]

Часті переміщення суден у умовах інтенсивного морського руху вимагають від судноводіїв знання Міжнародних Правил Попередження Зіткнень Суден у морі (МППЗС). Комунікація на містку в умовах змішаного екіпажу та між суднами відбувається засобами АМ, перед майбутніми судноводіями постає завдання оволодіти правилами МППЗС англійською мовою.

Оскільки успішність іншомовного спілкування, крім інших чинників, значною мірою визначається рівнем сформованості лексичної навички, перед викладачами постає проблема, як допомогти курсантам ефективно запам'ятовувати великі за обсягом специфічні тексти МППЗС АМ та вільно використовувати фахову лексику у ситуаціях іншомовного спілкування, пов'язаних з попередженням зіткнень суден у морі.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато вирішення даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Аналіз досліджень показав, що такі вчені як В.Д. Борщовецька, Е.В. Мірошніченко, Н.С. Саєнко, О.П. Петращук, D. Nunnan, C.Riemer та ін., досліджували психологічні особливості студентів, що суттєво впливають на успішність оволодіння лексичними навичками та пропонували шляхи підвищення ефективності навчання фахової лексики студентів немовних спеціальностей (економісти, лікарі, юристи). У вітчизняній сфері викладання англійської мови майбутнім морякам існують численні роботи Н.О. Івасюк, Л.В. Ліпшиць, О.І. Літікової, О.І. Монастирської, Ю.В.Петровської та ін. Візуалізації як освітній стратегії присвячено низку праць американських та європейських науковців. Загальні засади візуалізації висвітлені у зарубіжних дослідників К. Гілберта, та Е. Тафте [2, 3]. Практичні рекомендації щодо застосування окремих виявів стратегії візуалізації представлені у праці Р. Мак Кіма [4]. Проте питання навчання з використанням мнемічних прийомів поки що не викликало значного інтересу українських освітніх теоретиків і практиків.

Формулювання цілі статті

Метою цієї статі є обґрунтувати доцільність використання мнемічних прийомів у процесі навчання майбутніх судноводіїв та описати етапи навчання з використанням карт з зоровими опорами на заняттях з англійської мови.

Викладення матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих результатів.

Аналіз спілкування з курсантами молодших курсів по виявленню труднощів при оволодінні МППЗС АМ та знаходженню оптимальних прийомів навчання показав, що більшість курсантів відчують страх, який вони пояснюють наявністю “занадто важких для запам'ятовування лексичних одиниць (ЛО) з важким вимовлянням, великим обсягом інформації, яку необхідно запам'ятати”. Курсанти зізнавалися, що втрачали мотивацію до навчання, що негативно впливало на якість навчання — курсанти вчили

напам'ять великі блоки інформації, не аналізуючи її, при цьому їм бракувало часу перевірити правильне вимовляння незнайомих ЛО, і, як результат, виконана розумова робота зводилась нанівець. Досить поширеними питаннями до викладачів були питання “Як вивчити ці правила?” та “Як запам'ятати ці слова?”

Необхідність вирішення даної проблеми привела до ідеї спробувати використати мнемонічні прийоми під час навчання студентів фахової лексики АМ.

Мнемонічні прийоми (мнемотехніки) — це сукупність спеціальних методів, які полегшують запам'ятовування необхідної інформації і збільшують обсяг пам'яті шляхом утворення асоціацій (зв'язків): заміна абстрактних об'єктів і фактів на поняття і уявлення, які мають *візуальне, аудіальне* або *кінестетичне* уявлення, зв'язування об'єктів з уже наявною інформацією в пам'яті різних типів для спрощення запам'ятовування [5, 6, 7]. Знання і використання спеціальних методів і прийомів дозволяє краще запам'ятовувати різні типи інформації (цифрову інформацію, специфічні тексти і терміни, імена, особи та прізвища, іноземні слова, тощо). Також термін «мнемоніка» (аналог піктограми) вживається як позначення візуалізації (у вигляді зображення, набору символів або предметів) якогось об'єкта, суб'єкта або явища, досить повно описує його і полегшує його запам'ятовування або ідентифікацію.

Психологами доведено, що зорові аналізатори володіють більш високою пропускнуою здатністю, ніж слухові: 90% відсотків всієї інформації, яка сприймається людиною, припадає саме на зір, тому зорове сприймання (visual perception) більш осмислене і краще зберігається в пам'яті.

З метою відбору найбільш повторюваних ЛО було проаналізовано повний текст МППЗС. Були виділені найбільш уживані ЛО, окремі словосполучення, фрази для заміни їх на зорові опори у формі спеціальних позначок. Наведемо приклади словосполучень та фраз з Правил 19 МППЗС ‘Conduct of the vessels in restricted visibility’: *not in sight of one another, navigate in or near an area of restricted visibility, prevailing circumstances and conditions of restricted visibility, avoiding actions, when complying with the rules of ..., immediate manoeuvre, if the risk of collision exists, if a close-quarters situation is developing*, тощо.

У якості прикладу зорових опор розглянемо мал.1, наведений нижче.

	not in sight of one another		when complying with the rules of ...
	navigate in or near an area of restricted visibility		immediate manoeuvre
PC and 	prevailing circumstances and conditions of restricted visibility		if the risk of collision exists
	avoiding actions		forward of the beam
	if a close-quarters situation is developing		alteration of the course

Мал.1. Зорові опори для словосполучень та фраз з Правил 19 МППЗС.

Навчання майбутніх судноводіїв МППЗС АМ з використанням мнемонічних прийомів складалося з трьох етапів.

На *першому етапі* викладач пропонує курсантам закодувати запропоновані ЛО, окремі словосполучення і фрази для відпрацювання їхнього коректного вимовляння у спеціальні позначки. Діяльність закодовування є спільною для всієї групи і за тривалістю є найдовшою. Зазначимо, що значки кодування можуть дещо варіювати в різних групах, тому викладачеві доцільно доводити кожен ЛО, словосполучення або фразу до якоїсь однієї спільної позначки з метою уникнення плутанини між паралельними групами курсантів. Зауважимо, що на цьому етапі доцільно спиратися на знання курсантів МППЗС рідною мовою.

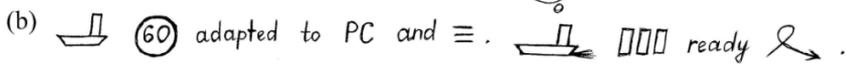
На *другому етапі* курсанти кодують окремі речення Правила, поєднуючи погоджені на попередньому етапі позначки у послідовність. Метою цього етапу є багаторазове промовляння складних речень. За ціллю цей етап є репродуктивно-продуктивним: при сприйманні зорові опори трансформуються у свідомості курсантів у словесну форму та продукуються усно.

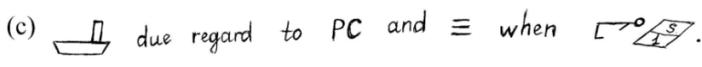
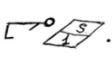
На *третьому етапі* викладач пропонує курсантам карту для Правила у закодованій формі. Курсанти змагаються в усному “розкодуванні” позначок, результатом чого є багаторазове промовляння правила. Курсанти формують свої портфолію з такими картами та таким чином мають можливість самостійно повторювати правила, працюючи з картами вдома. На навчальних заняттях з АМ з метою повторення правил МППЗС викладач може пропонувати курсантам варіації карти, в яких замість певних позначок залишено вільне місце або є тільки закодований початок кожного речення.

У якості прикладу такої карти розглянемо мал.2:

RULE 19. Conduct of the vessels in restricted visibility

(a) Rule → 

(b)  adapted to PC and \equiv .  ready \curvearrowright .

(c)  due regard to PC and \equiv when .

(d)  which  ! if \rightarrow \leftarrow and $\bullet\bullet$.
 If so,  provided that when  \nearrow , $\text{stop} \Rightarrow$ be Red:
 (i)  other than .
 (ii)  or .

(e) $<$ ^{has been} _{ed} that $\bullet\bullet$,  which ? ∇ \equiv  or can't γ \circ ∇ ,
 shall $\frac{60}{\text{min}}$ at which $\frac{\text{kept}}{\text{on course}}$  and in any event \rightsquigarrow !!!
 until $\frac{\text{danger}}{\text{over}}$.

Мал.2. Карта Правила 19 МППЗС

Висновки та перспектива подальшої роботи у цьому напрямку

Застосування мнемічних прийомів при навчанні курсантів фахової лексики та МППЗС англійською мовою протягом двох семестрів 2015-2016 навчального року показало, що застосування такої форми роботи на заняттях з АМ сприяє засвоєнню майбутніми судноводіями великих за обсягом специфічних текстів МППЗС. Відмінність запропонованої форми роботи від традиційної сприяла підвищенню зацікавленості курсантів та їхньої вмотивованості до засвоєння навчального матеріалу, сприяла засвоєнню фахової лексики з МППЗС, покращенню їхньої уваги та розвитку асоціативної пам'яті.

Перспективу подальшої роботи у цьому напрямку ми бачимо у розробці методичних рекомендацій з навчання майбутніх судноводіїв фахових ЛО з МППЗС з використанням мнемічних прийомів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Model Course 3.17 Maritime English / International Maritime Organisation. – 2nd edition. – London, 2009. – 210 p.
2. Gilbert K. Visualization in Science Education / John K. Gilbert. Dordrecht: Springer, 2005. – 354 p.
3. Tufte E. R. The visual display of quantitative information. – 2nd edition. – Cheshire CT: Graphics Press, 2001. – 197 p.
4. McKim R. Experiences in visual thinking / Robert H. McKim. – Brooks/Cole Pub. Co., 1972. – 171 p.
5. Волков Д.С. Индивидуально-типологические особенности моторных компонентов в мнемической переработке информации: дис. ... канд. психол. наук : 19.00.01 – Днепропетр. нац. ун-т . – Днепропетровск, 2008. – 181 с.
6. Изюмова С.А. Природа мнемических способностей и дифференциация обучения / С. А. Изюмова ; РАО, Психологический ин-т. – М. : Наука, 1995. – 382 с.
7. Кузнецов М. А. Эмоциональная память в мнемической системе личности: дис... д-ра психол. наук: 19.00.01 - Харьковский национальный педагогический ун-т им. Г.С.Сковороды. – Х., 2008. – 490 с.

УДК 656.61.052.484

INFLUENCING THE ERROR OF HELM CHANGE OVER ON EXACTNESS OF SHIP'S TURN**ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕКЛАДКИ ПЕРА РУЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОВОРОТА СУДНА***Y.V. Kazak, PhD student***Ю.В. Казак, аспирант***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

Procedure of estimation of change over arising up at ship's turn is considered in the article. It is shown that the error depends both on the error of change over the helm and from the model of ship turning ability.

Analytical expressions of error depending on description of inertia of ship at a turn are obtained.

Keywords: safety of navigation, vector error of ship's turn, substantial factors of vector errors.

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

Одной из наиболее актуальных проблем является проблема обеспечения безопасности судовождения в стесненных районах плавания. Ее решение способствует снижению числа навигационных аварий, которые возникают из-за посадок судов на мель. Число навигационных аварий можно снизить, повысив точность управления судном при выполнении им поворотов, т. е. минимизацией векториальных погрешностей, возникающих после завершения поворота.

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 переключке пера руля и момента начала поворота.

К обсуждаемой теме также имеют отношение вопросы по оценке надежности судовождения в случае, когда судно следует мимо точечных навигационных опасностей, которые рассмотрены в работе [2], а критерий навигационной безопасности предложен в работе [3].

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является исследование влияния погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [1] показано, что при повороте судна векториальная погрешность $S^{(\beta)}$ относительно прогнозируемой точки выхода судна на новый курс может возникать по причине появления погрешности 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 MN между прогнозируемой и реальной 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 M при наличии погрешности $\Delta\beta_k$;

x_N и y_N - координаты точки N при отсутствии погрешностей.

В работе [4] показано, что динамическая модель вращательного движения судна описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$T_1 \ddot{K} + \dot{K} = k_\omega \beta_k,$$

где T_1 - постоянная времени, характеризующая инерционные свойства судна;

β_k - угол кладки руля;

k_ω - коэффициент эффективности руля.

Решение приведенного дифференциального уравнения имеет следующий вид:

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

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.

Найдем выражения для текущего значения курса судна на первой и второй фазах его поворота. На первой фазе поворота, длительность которой составляет интервал времени Δt_k , начальное ω_0 и установившееся ω_r значения угловой скорости выражаются следующим образом:

$$\omega_0 = 0 \quad \text{и} \quad \omega_r = k_\omega \beta_k = a_\omega.$$

В этом случае выражение (1) приобретает следующий вид:

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

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:

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

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) первое уравнение системы (4) принимает вид:

$$\begin{aligned} \Delta K = a_\omega \{ \Delta t_k - T_1 [1 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] \} + a_\omega \{ T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] \times \\ \rightarrow [1 - \exp(-t/T_1)] - \Delta t \}, \end{aligned}$$

которое позволяет записать выражение для расчета Δt_k методом простых итераций [5 74]:

$$\Delta t_k = T_1 [1 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] + \Delta t - T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] [1 - \exp(-\Delta t/T_1)] + \Delta K / a_\omega \quad (5)$$

с начальным приближением $\Delta t_k = \Delta K / a_\omega$.

В данном выражении для простых итераций следует величину Δt выразить через Δt_k . Для этого воспользуемся вторым уравнением системы (4) и начальными значениями угловой скорости на второй фазе поворота:

$$\omega_o = a_\omega [1 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] , \quad \omega_r = -a_\omega ,$$

что даст:

$$[2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)]^{-1} = \exp(-\Delta t / T_1) .$$

Логарифмируя обе части последнего уравнения, получим:

$$\Delta t = T_1 \ln [2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] .$$

Последнее полученное уравнение позволяет связать переменные Δt_k и Δt , чем обеспечивается итерационное вычисление длительностей каждой из фаз поворота судна, а также длительности поворота τ с одного заданного курса судна на другой.

Координаты точки М определяются выражениями:

$$x_M = \int_0^{\Delta t_k} V_o \sin[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \sin[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt , \quad (6)$$

$$y_M = \int_0^{\Delta t_k} V_o \cos[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \cos[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt , \quad (7)$$

причем в выражениях (2), (3) и (5) 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 (6) и (7) значение $a_\omega = k_\omega (\beta_k + \Delta \beta_k)$. При расчете координат с помощью (6) и (7) определенные интегралы, которые входят в эти формулы, не выражаются в элементарных функциях и их значения находятся численными методами, например, используется метод Симпсона.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, рассмотрена оценка векториальной погрешности, которая возникает в результате поворота судна. Показано, что величина векториальной погрешности зависит от модели поворотливости судна.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть аналитическое выражение погрешности для других моделей поворотливости судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворохобин И.И. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна/ И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С.

2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т. Кондрашихин - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
3. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Е.Ф. Мельник // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.
4. Вагущенко Л.Л. Судно как объект автоматического управления/ Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОГМА, 2000. – 140 с.

УДК 621.396.969.3

ANALYSIS APERIODIC COMPOUND MULTIPHASE SIGNALS WITH ADDITIONAL MODULATION**АНАЛИЗ АПЕРИОДИЧЕСКИХ СОСТАВНЫХ МНОГОФАЗНЫХ СИГНАЛОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ****V.Koshevyy, DSc, professor, O.Pashenko, PhD student****В.М. Кошевой, д.т.н., профессор, Е.Л. Пашенко, аспирант***National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

In this paper we explored the signals with an additional amplitude modulation with controlling pick-factor. Results were obtained for different pick factors of signals. This type of signals can reduce a side-lobes level of the ambiguity function around a central pick. Thus, they have good range and velocity resolution. Compound multiphase signals without an additional amplitude modulation after weighting processing were compared with compound multiphase signals with an additional amplitude modulation after matched processing.

Keywords: ambiguity function, cross ambiguity function, compound signal, additional amplitude modulation.

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

Одной из важных задач морской радиолокации является разработка судовых радиолокационных станций (РЛС), характеризующихся пониженной пиковой мощностью излучения. Это важно как для обеспечения электромагнитной совместимости, так и для уменьшения вредного воздействия высокочастотного поля на экипаж судна. Решение указанной задачи во многом зависит от выбора соответствующего зондирующего сигнала и методов его обработки. Для этих целей целесообразно применять широкополосные сигналы с большой базой, разновидностью которых являются составные многофазные сигналы [1].

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

В работе [1] были определены параметры функции неопределенности (ФН), при которых обеспечивается максимум отношения площади области, свободной от пиков (ближайших к центральному пику (ЦП)), к площади топографического сечения (по нулевому уровню) самого ЦП ФН. Были

найжены значения параметров сигнала, при которых, за счет некоторого уменьшения указанного выше отношения площадей, достигается уменьшение уровня боковых лепестков (БЛ) по всей длине автокорреляционной функции (АКФ)[2]. В работе [3] были рассмотрены методы синтеза дискретных сигналов с гребнеобразной формой ФН. В работах [1,3,4,5] были изложены основные принципы обработки таких сигналов, а также показано положительное влияние на их взаимную функцию неопределенности (ВФН) и проведены исследования по уменьшению БЛ ВФН за счет весовой обработки. Показано что за счет весовой обработки удается уменьшить уровень БЛ ВФН внутри свободной области (СО), однако, при этом неизбежно возникают потери в отношении сигнал/шум. В работе [6] рассмотрены составные многофазные сигналы с дополнительной амплитудной модуляцией (АМ), позволяющие уменьшить уровень БЛ внутри СО, в отсутствие потерь в отношении сигнал/шум. Рассмотрено влияние различных законов дополнительной амплитудной модуляции составных многофазных сигналов на их структуру и проведен сравнительный анализ их ФН с ВФН составных многофазных сигналов с весовой обработкой.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью данной работы является изучение эффективности использования составных многофазных сигналов с дополнительной АМ. Анализ эффективности обработки и использования рассматриваемых сигналов.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В соответствии с работой [1], составной многофазный сигнал представляет собой сигнал с квадратичным изменением фаз составляющих последовательность. Выражения комплексных амплитуд базовой (s_n^b) и внешней (s_n^v) последовательностей составного многофазного сигнала имеют следующий вид:

$$s_n^b = \exp\left[j\frac{\pi}{4}\alpha' \left(2 \left((n+1) - E\left[\frac{n}{N_B}\right] N_B \right) - (N_B + 1) \right)^2\right] \quad (1)$$

$$s_n^v = \exp\left[j\frac{\pi}{4}\beta' \left(2 \left(E\left[\frac{n}{N_B}\right] + 1 \right) - (N_V + 1) \right)^2\right], \quad (2)$$

где $n = \overline{0, N-1}$; $\alpha' = \alpha T_0^2$; $\beta' = \beta (T_0 N_B)^2$; α, β – параметры определяющие заданное направление гребней ФН базовой и внешней последовательности соответственно; T_0 – длительность элементарного импульса сигнала; N_B – число импульсов базовой последовательности; N_V – число импульсов внешней последовательности; N – количество импульсов в сигнале; $E[x]$ – целая часть x .

Выражение для расчета апериодической ФН в дискретных точках можно записать в виде:

$$\chi_{ss}(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n^* \cdot s_{n+k} e^{i2\pi l \Delta f n T_0}, \quad (3)$$

где k - дискретные значения задержки и l - дискретные значения частоты с выбранным шагом соответственно T_0 и $\Delta f = 1/4NT_0$.

Рассмотрены два аperiodических составных многофазных сигнала длиной $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) со следующими значениями коэффициентов:

1) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$. В работе [1] показано, что сигнал с такими параметрами имеет максимальное значение отношения площади СО вокруг ЦП ФН к площади топографического сечения ЦП по нулевому уровню.

2) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$. За счет применения данного набора коэффициентов уровень БЛ в центральной области увеличивается, но при этом он самый низкий по всей длине АКФ (рис.2). Также следует отметить, что уменьшается СО вокруг ЦП ФН[2].

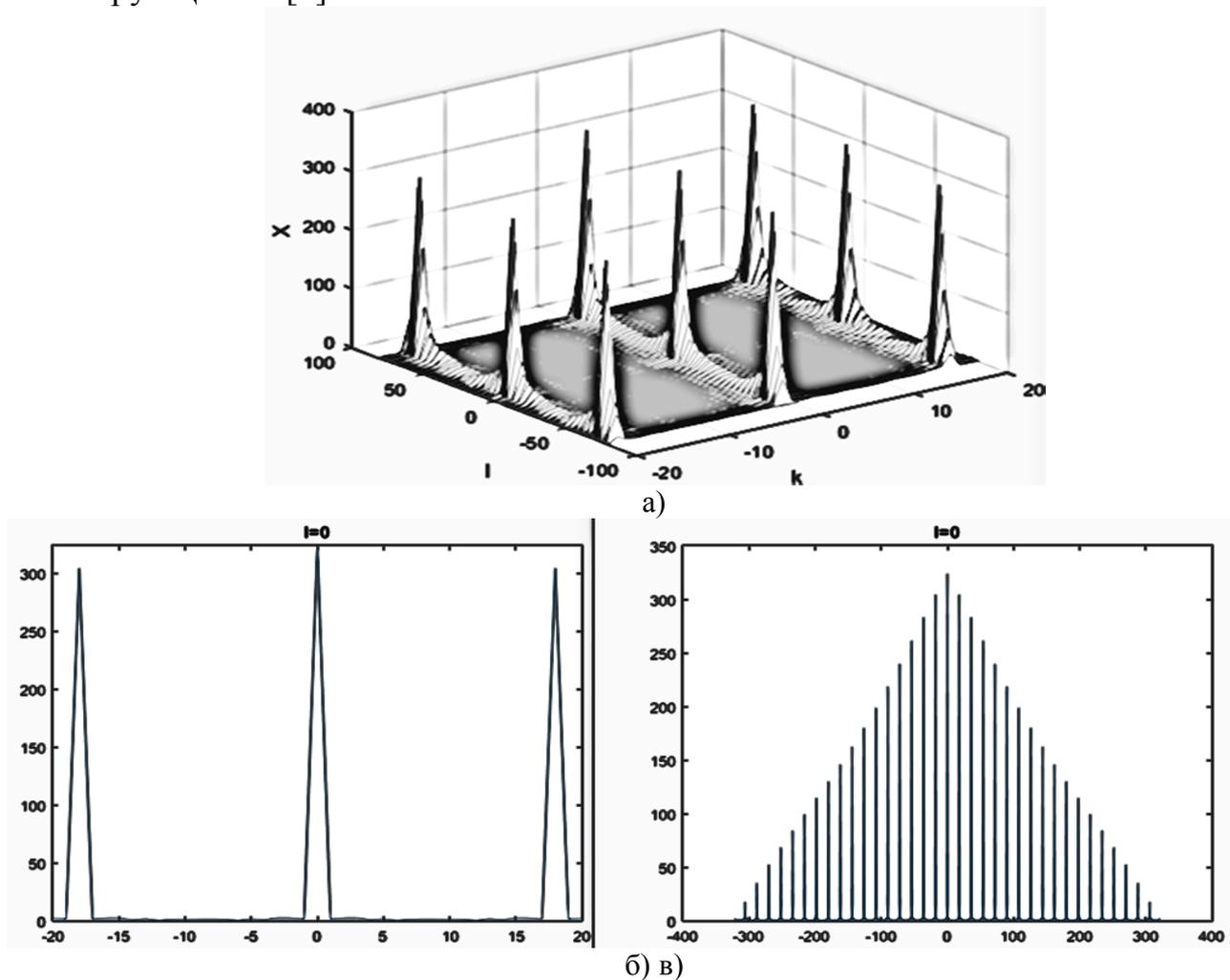


Рис. 1. а) Тело ФН аperiodического составного многофазного сигнала $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$ (согласованная обработка); б) сечение АКФ в центральной области ФН; в) сечение АКФ по всей длине

На рис.1,2 приведены ФН и АКФ двух рассматриваемых аperiodических многофазных сигналов. На рис.1 отношение уровня ЦП к уровню БЛ в СО ФН составляет 49 дБ, а на рис. 2 26 дБ.

Уменьшить уровень БЛ ВФН составного многофазного сигнала (1), (2) можно за счет весовой обработки.

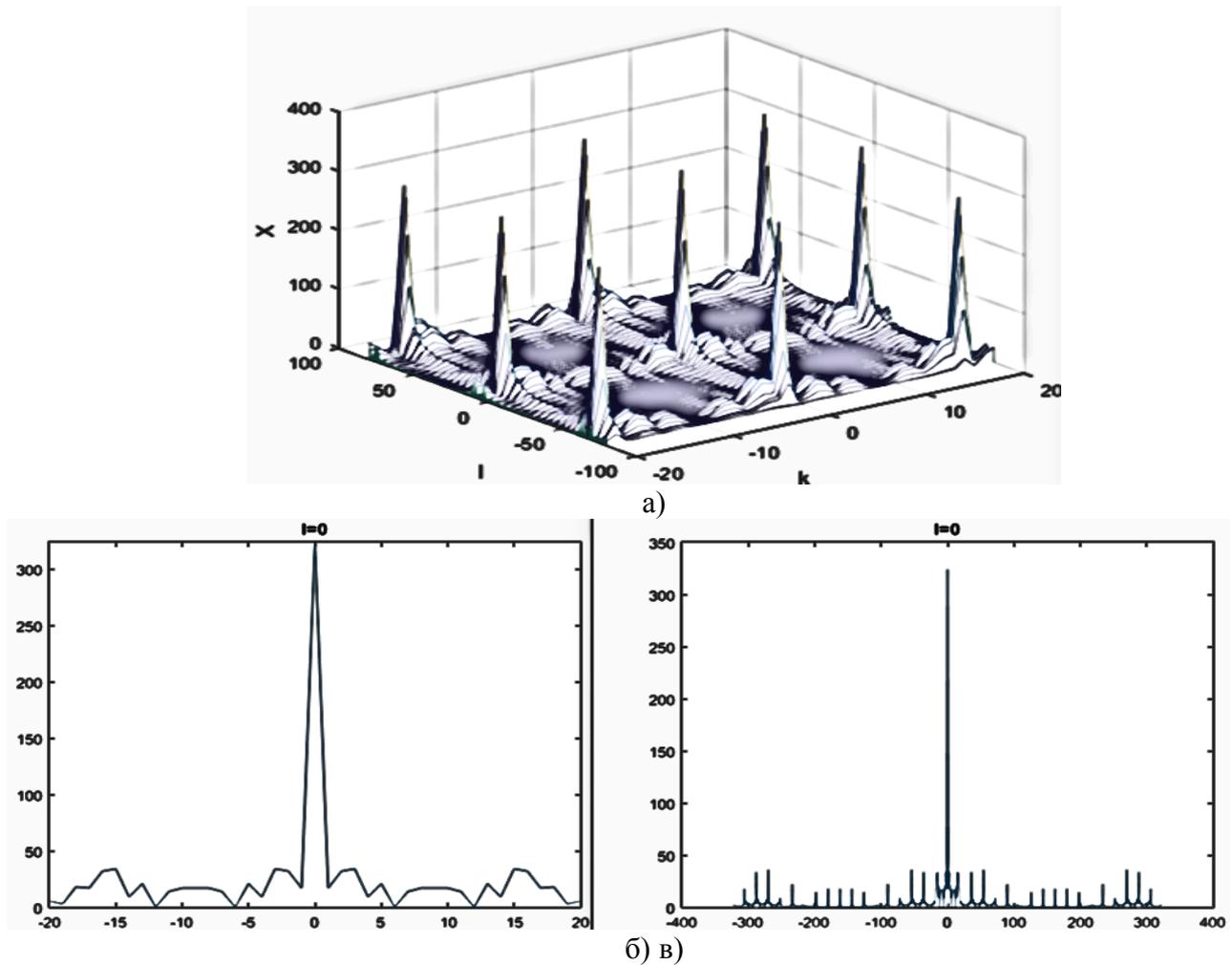


Рис. 2. а) Тело ФН апериодического составного многофазного сигнала $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$ (согласованная обработка); б) сечение АКФ в центральной области ФН; в) сечение АКФ по всей длине

Весовая функция рассогласованной обработки составного многофазного сигнала без дополнительной АМ может быть записана в виде:

$$w_n = s_n \cdot v_n$$

$$v_n = v_{n-E[n/N_B]N_B}^B v_{E\left[\frac{n}{N_V}\right]+1}^V, \quad n = \overline{0 \div N-1}, \quad (4)$$

где $v_{n-E[n/N_B]N_B}^B$ – весовые коэффициенты для базовой последовательности; $v_{E\left[\frac{n}{N_V}\right]+1}^V$ – весовые коэффициенты для внешней последовательности[1].

В качестве одного из критериев для оценки результатов и сравнительного анализа используем показатель потерь в отношении сигнал/шум:

$$\rho = \frac{|\chi_{sw}(0,0)|^2}{\sum_{n=0}^{N-1} |s_n|^2 \sum_{n=0}^{N-1} |w_n|^2}, \quad (5)$$

где ρ – потери в отношении мощности сигнала к мощности шума; s_n - комплексные огибающие сигнала; w_n - комплексные огибающие фильтра;

$\chi_{sw}(0,0)$ - значение ВФН при отсутствии частотного и временного сдвига ($l=0$, $k=0$).

Рассмотрено несколько разновидностей возможных весовых функций. В качестве одной из возможных рассмотрена весовая функция \sin :

$$\begin{aligned} v_n^B &= \sin \left[\pi \left(\frac{y_B}{N_B+1} + \frac{n}{N_B+z_B} \right) \right], n=0 \div N_B-1 \\ v_n^V &= \sin \left[\pi \left(\frac{y_V}{N_V+1} + \frac{n}{N_V+z_V} \right) \right], n=0 \div N_V-1, \end{aligned} \quad (6)$$

где y_B, y_V - натуральное число для базовой и внешней последовательности соответственно, изменяется в пределах $1 \leq y_B < \frac{N_B+1}{2}, 1 \leq y_V < \frac{N_V+1}{2}$; z_B, z_V - переменные для базовой и внешней последовательности соответственно, $z_B = \frac{2y_B N_B - (N_B+1)}{N_B+1-2y_B}, z_V = \frac{2y_V N_V - (N_V+1)}{N_V+1-2y_V}$.

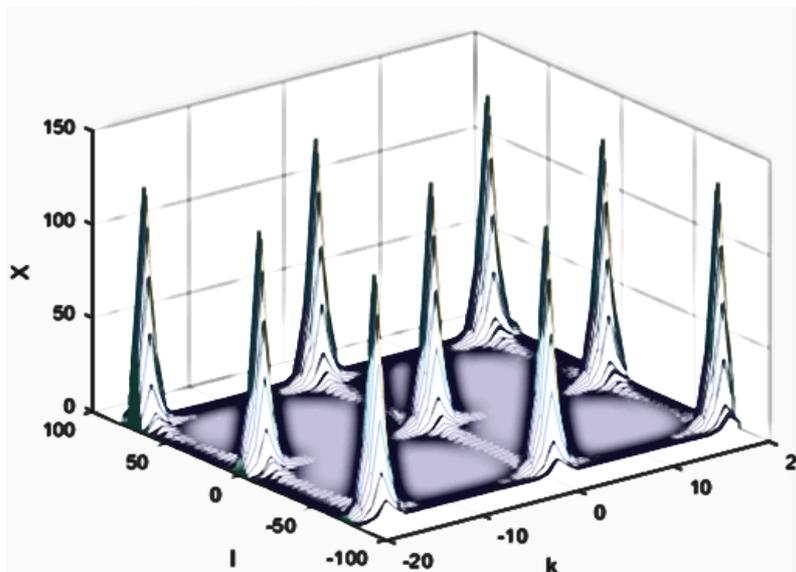


Рис. 3. Тело ВФН аperiodического составного многофазного сигнала с прямоугольной огибающей при $N=324$ ($N_B=18, N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B^2, y_V=y_B=1$ (рассогласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin

На рис. 3,4 приведен случай рассогласованной обработки составных многофазных сигналов, весовые коэффициенты фильтра для которых рассчитаны по формуле (6). Отношение уровня ЦП к уровню БЛ в СО ВФН при $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B^2$ (рис.3) составляет 60 дБ, а при $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B$ (рис.4) 30дБ. Потери в отношении сигнал/шум составляют $\rho=0,73$ (-1,4дБ).

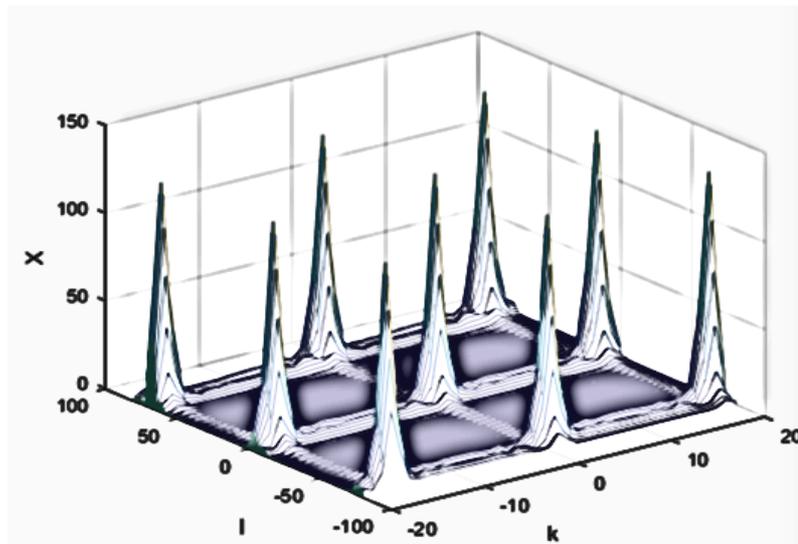


Рис. 4. Тело ВФН аperiodического составного многофазного сигнала с прямоугольной огибающей при $N=324$ ($N_B=18, N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B, y_v=y_B=1$ (расогласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin

Преобразуя формулу (6) получена новая весовая функция. Назовём ее весовой функцией \sin^2

$$v_n^B = \left[\sin\left(\pi\left(\frac{y_B}{N_B+1} + \frac{n}{N_B+z_B}\right)\right) \right]^2, n=0 \div N_B-1 \quad (7)$$

$$v_n^V = \left[\sin\left(\pi\left(\frac{y_V}{N_V+1} + \frac{n}{N_V+z_V}\right)\right) \right]^2, n=0 \div N_V-1$$

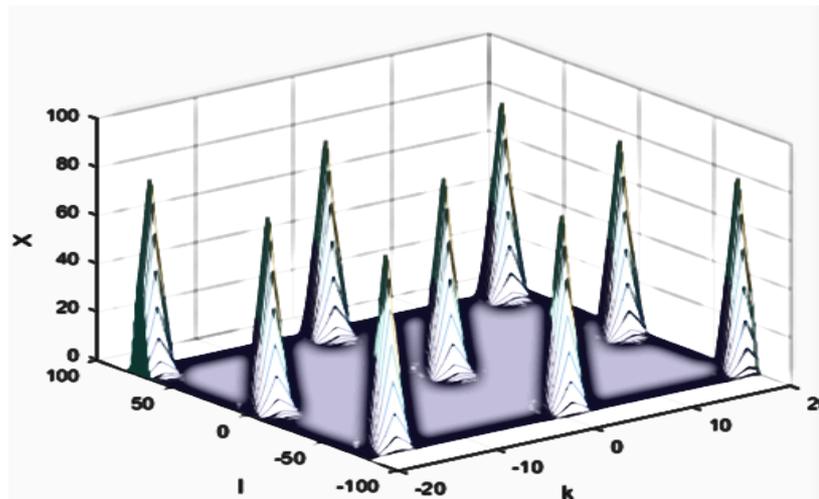


Рис. 5. Тело ВФН аperiodического составного многофазного сигнала с прямоугольной огибающей при $N=324$ ($N_B=18, N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B^2, y_v=y_B=1$ (расогласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin^2

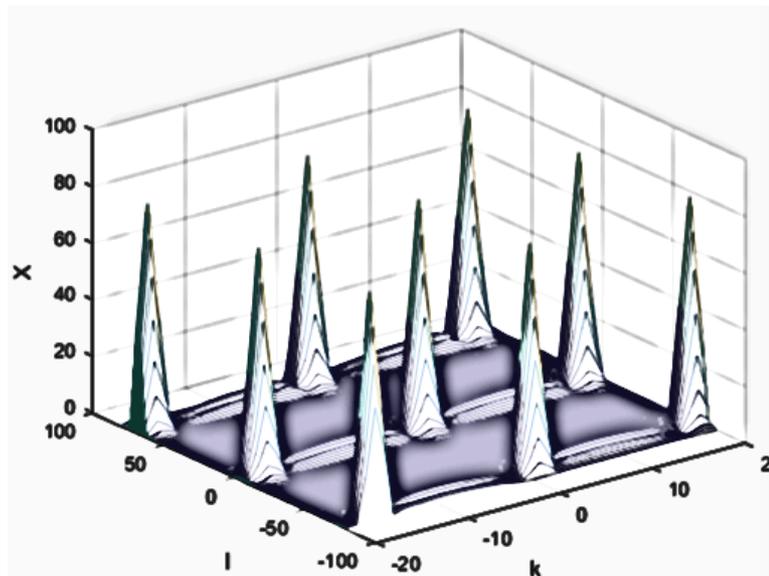


Рис. 6. Тело ВФН аperiodического составного многофазного сигнала с прямоугольной огибающей при $N=324$ ($N_B=18, N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B, y_v=y_B=1$ (рассогласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin^2

На рис. 5,6 приведен случай рассогласованной обработки составных многофазных сигналов, весовые коэффициенты фильтра для которых рассчитаны по формуле (7). Отношение уровня ЦП к уровню БЛ в СО ВФН при $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B^2$ (рис.5) составляет 71дБ, а при $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B$ (рис.6) 31дБ. Потери в отношении сигнал/шум $\rho=0,5$ (-3 дБ).

Рассмотрен также рассогласованный фильтр, полученный на основе весовых коэффициентов Хэмминга. Ниже приведена формула для расчета весовых коэффициентов:

$$v_n^B = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N_B-1}\right), n = 0 \div N_B - 1 \quad (8)$$

$$v_n^V = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N_V-1}\right), n = 0 \div N_V - 1$$

При рассогласованной обработке составных многофазных сигналов, весовые коэффициенты фильтра для которых рассчитаны по формуле (8), отношение уровня ЦП к уровню БЛ в СО при $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B^2$ составляет 53дБ, а при $\alpha'=-1/N_B, \beta'=1/N_B$ 31 дБ. Потери в отношении сигнал/шум $\rho=0,53$ (-2,8 дБ).

Другим способом снижения уровня БЛ ФН является использование составных многофазных сигналов с дополнительной АМ [6]. В предыдущих случаях весовые коэффициенты были рассчитаны для фильтра, а в данном случае они выступают весовыми коэффициентами сигнала. Сигналы с дополнительной АМ можно описать следующим выражением:

$$s_n^{am} = s_n * v_n$$

$$v_n = v_{n-E[n/N_B]N_B}^b * v_{E[\frac{n}{N_V}]+1}^v, n = \overline{0 \div N - 1}, \quad (9)$$

где s_n^{am} - составной многофазный сигнала с дополнительной АМ; s_n - комплексная огибающая сигнала; v_n^b , v_n^v - весовые коэффициенты определяющие характер АМ для базовой и внешней последовательности.

Выражение для аperiodической ФН составного многофазного сигнала с дополнительной АМ примет вид:

$$\chi_{SS}(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n^{am*} \cdot s_{(n+k)}^{am} e^{i \frac{2\pi \Delta f n}{4N}} \quad (10)$$

Для анализа составных многофазных сигналов с дополнительной АМ, используем пик-фактор, который определяется как отношение максимальной амплитуды сигнала (s_{max}^{am}) к среднеквадратичному значению всех его амплитуд:

$$\xi = \frac{|s_{max}^{am}|^2 N}{\sum_{n=0}^{N-1} |s_n^{am}|^2} \quad (11)$$

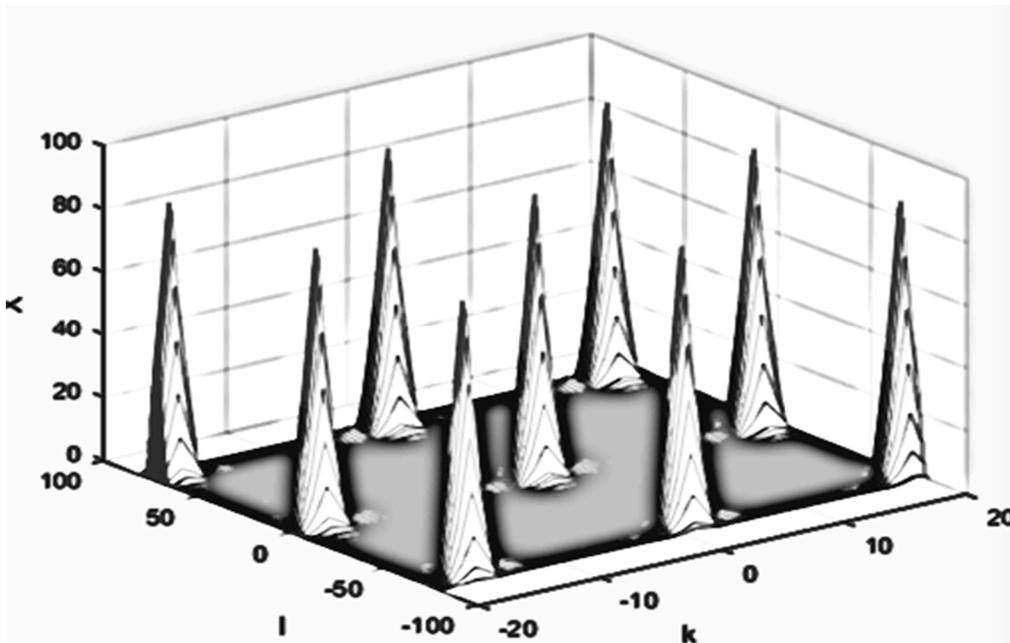


Рис. 7. Тело ФН аperiodического составного многофазного сигнала с дополнительной АМ $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$, $y_v=y_B=1$ (согласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin

После согласованной обработки составных многофазных сигналов с дополнительной АМ (функция \sin определяет модуляцию всего сигнала (6)) отношение уровня ЦПк уровню БЛ ФН при коэффициентах $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$ (рис.7) составляет 40 дБ. На рис. 8 при коэффициентах $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$ это отношение составило 45 дБ. Величина пик-фактора (11) рассмотренных сигналов (рис.7,8) составляет 3,59.

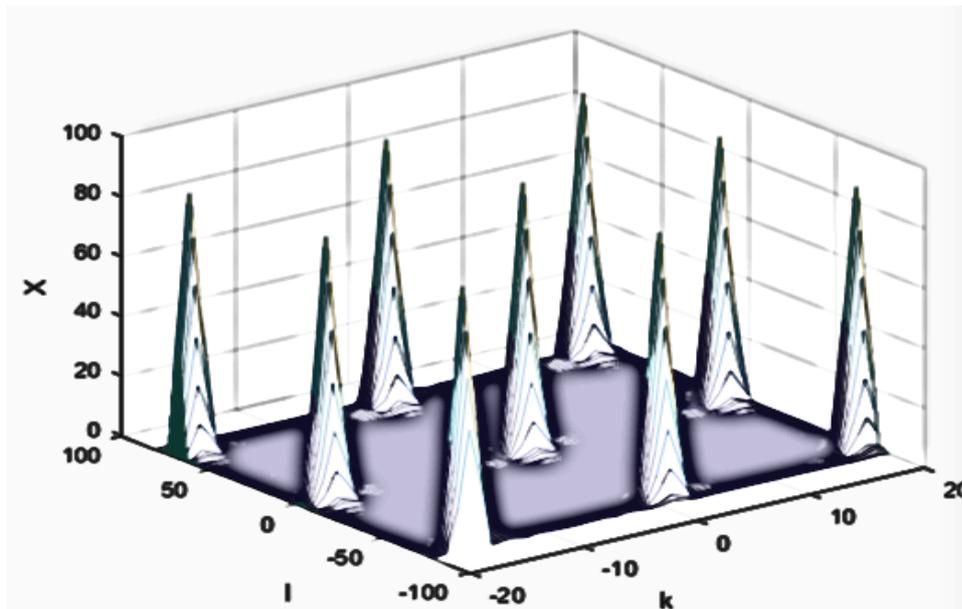


Рис. 8. Тело ФН аperiodического составного многофазного сигнала с дополнительной АМ $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$, $y_V=y_B=1$ (согласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin

На рис. 9,10 приведены ФН составных многофазных сигналов с дополнительной АМ с учетом весовых коэффициентов (7) \sin^2 . Уровень БЛ при этом в обоих случаях снизился до нулевого уровня. Пик-фактор составляет 6,38.

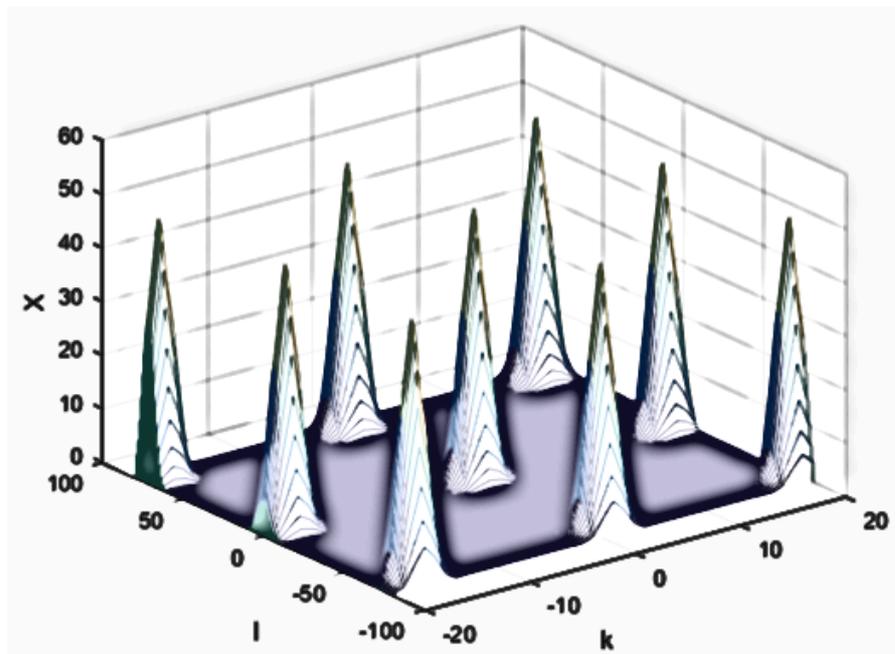


Рис. 9. Тело ФН аperiodического составного многофазного сигнала с дополнительной АМ $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$ (согласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin^2

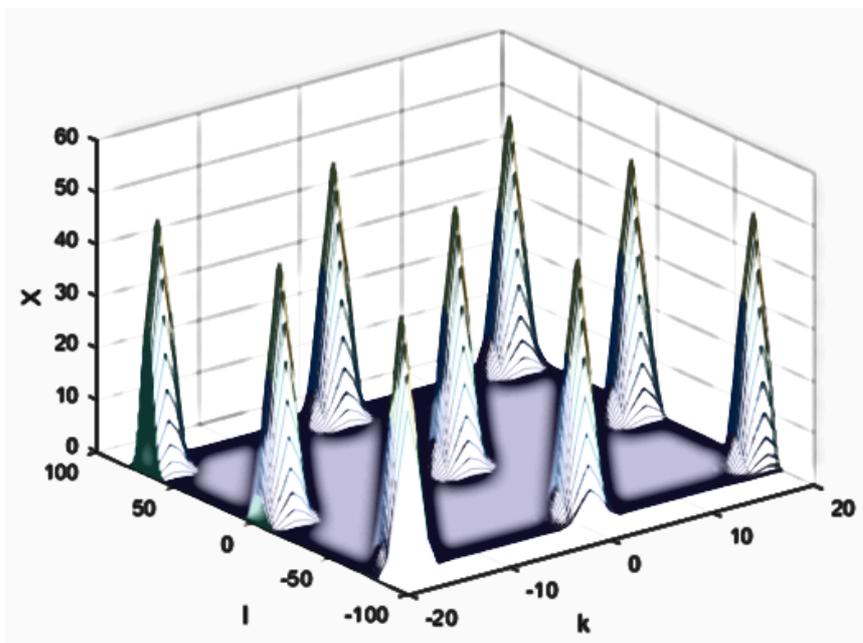


Рис. 10. Тело ФН аperiodического составного многофазного сигнала с дополнительной АМ $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$ (согласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin^2

Отношение уровня ЦП к уровню БЛ в СО ФН составных многофазных сигналов с дополнительной АМ, сформированных на основе весовых коэффициентов Хэмминга (8), при $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$ составило 49 дБ, а при $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$ это 37 дБ. Пик-фактор имеет значение 7,09. Недостатком таких сигналов является увеличение площади сечения ЦП ФН, что приводит к уменьшению отношения площади СО к площади ЦП, увеличению пик-фактора. Как следствие ухудшение их разрешающей способности.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Можно сделать вывод, что наилучшие результаты по критерию отношения уровня ЦП к уровню БЛ ФН показала согласованная обработка составного многофазного сигнала с дополнительной АМ. В данном случае потери в отношении сигнал/шум отсутствуют. При этом самый низкий уровень БЛ имеет сигнал с дополнительной АМ, полученный по функции \sin^2 . Уровень БЛ близок к нулевому уровню. При необходимости большого подавления БЛ ФН возможно использование составных многофазных сигналов, сформированных на основе весовых коэффициентов \sin^2 .

Необходимо отметить, что наилучший пик-фактор имеет сигнал, полученный на основе весовой функции \sin . Он составил 3,59. Отношение уровня ЦП к уровню БЛ в СО ФН для составного многофазного сигнала с дополнительной АМ, сформированного на основе весовой функции \sin , при $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$ (согласованная обработка) составило 40 дБ, а при $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$ 45 дБ. При этом у составных многофазных сигналов с дополнительной АМ сохраняется многопиковая структура, но

увеличивается площадь топографического сечения ЦП по нулевому уровню на 2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М. Синтез составных многофазных сигналов// Изв. высш. учебн. заведений. Радиоэлектроника.-1988.-Том 31, № 8.- с.56-58.
2. Кошевой В.М., Купровский В.И. Исследование свойств составных многофазных сигналов// Изв. высш. учебн. заведений. Радиоэлектроника.- 1991. - №8.- с. 63-66.
3. Кошевой В.М., Кононов А. А. Синтез оптимальных одноканальных дискретных сигналов и фильтров// Изв. вузов. Радиоэлектроника.-1984.-Том 27, № 8.- с.62-65.
4. Кошевой В.М., Пашенко Е.Л. Анализ эффективности обработки составных многофазных и ЛЧМ сигналов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 – С.
5. V.Koshevyu, O.Pashenko. Signal Processing Optimization in the FMCW Navigational Radars// TransNav.Activities in Navigation. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. CRCPress. Taylor&FrancisGroup – 2015 - pp.95-99.
6. В.М.Кошевой, Е.Л.Пашенко. Анализ эффективности обработки составных многофазных сигналов с дополнительной амплитудной модуляцией. ОНМА. Одесса. Тезисы. Конференция: "Практичні проблеми розвитку радіозв'язку і радіонавігації" 2015.

УДК 656.61.052.484

PROCEDURE OF DETERMINATION OF PASSING BY MANOEUVRE BY VARIATION OF SHIP'S SPEED

ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТЕЙ СУДОВ

M. A. Kulakov, PhD student

М. А. Кулаков, аспирант

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

Procedure of computer graphic determination of optimum passing by maneuver of two dangerously approaching vessels by variation of their speeds by keeping steady courses is considered in the article. The definite variant of dangerous situation of approaching and realization of the offered procedure is given.

Keywords: safety of navigator, warning of collisions, optimum passing by maneuver by speed change/variation.

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

Важнейшей проблемой повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. В настоящее время стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов, которые предназначены для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. Поэтому разработка способов управления опасно сближающимися судами, в частности изменением их скоростей, 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

Вариант формализации основных характеристик управляемой динамической системы судов предлагается в статье [1], а в работе [2] рассмотрены принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения.

Вопросам применения опасной области курсов судов для безопасного судовождения посвящены работы [3, 4], причем использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения

рассмотрено в работе [3], а в работе [4] предложен маневр расхождения трех судов изменением их курсов.

Формулировка целей статьи

В данной статье рассмотрена процедура выбора оптимального маневра расхождения пары судов изменением их скоростей.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Корректное формирование маневра безопасного расхождения с учетом требований системы бинарной координации исследовано в работе [5], а вопросы выбора маневра расхождения судов изменением их скоростей с помощью области опасных скоростей рассмотрены в работах [6, 7].

В реальных ситуациях опасного сближения могут возникать мешающие факторы, которые не позволяют выбирать для расхождения оптимальное значение момента времени начала маневра t_n^* , например, другие суда или плавательные средства. В таких ситуациях необходимо выбирать t_n наиболее близкое к оптимальному значению t_n^* , но обеспечивающее безопасное расхождение судов при заданных режимах торможения.

Поэтому целесообразна разработка компьютерной программы, позволяющей определять значение D_{\min} при пошаговом изменении величины t_n .

В данной работе предложен возможный вариант такой компьютерной программы, позволяющий определить значение t_n^* по изменению дистанции кратчайшего сближения D_{\min} . Вначале предусмотрен ввод параметров ситуации опасного сближения: пеленга α_0 , дистанции D_0 , скоростей V_1 , V_2 и курсов K_1 , K_2 судов, а также предельно-допустимую дистанцию D_d . Как показано на рис. 1, данные параметры выводятся на экран монитора, причем рассчитывается и также выводится дистанция кратчайшего сближения D_{\min} . Причем для приведенной ситуации опасного сближения параметры равны следующим значениям: $D_0 = 4,3$ мили, $\alpha_0 = 176^\circ$, $K_1 = 138^\circ$, $K_2 = 31^\circ$, $V_1 = 16$ уз., $V_2 = 22$ уз., $D_d = 1$ миля. В правой части экрана показана начальная ситуация опасного сближения судов.

Для безопасного расхождения судов изменением скорости выбрана точка скоростей расхождения, которая не принадлежит области опасных скоростей и координаты которой $V_{1y} = 7,0$ уз. и $V_{2y} = 20,1$ уз., как показано на рис. 2. При данных скоростях относительный курс равен 194° . Из этого же рисунка следует, что для маневра расхождения первым судном выбрано активное торможение, а вторым судном - пассивное торможение.

Длительности переходных процессов каждого из судов составляют $\tau_{1y} = 71$ с и $\tau_{2y} = 11$ с, а пройденные за это время расстояния - $S_1 = 2,08$ кбт. и $S_2 = 0,63$ кбт. Также выводится сообщение о возможности маневра расхождения, а также оптимальное значение $t_n^* = 148$ с. На графике приведены кривые активного и пассивного торможения судов.

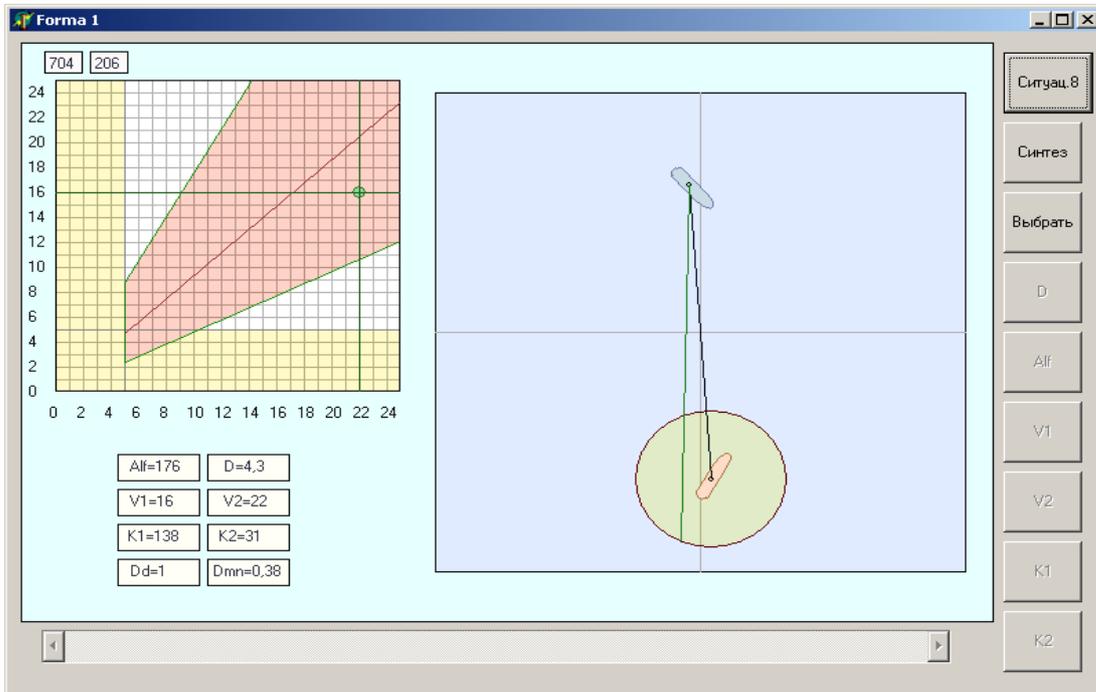


Рис. 1. Отображение третьей ситуации опасного сближения

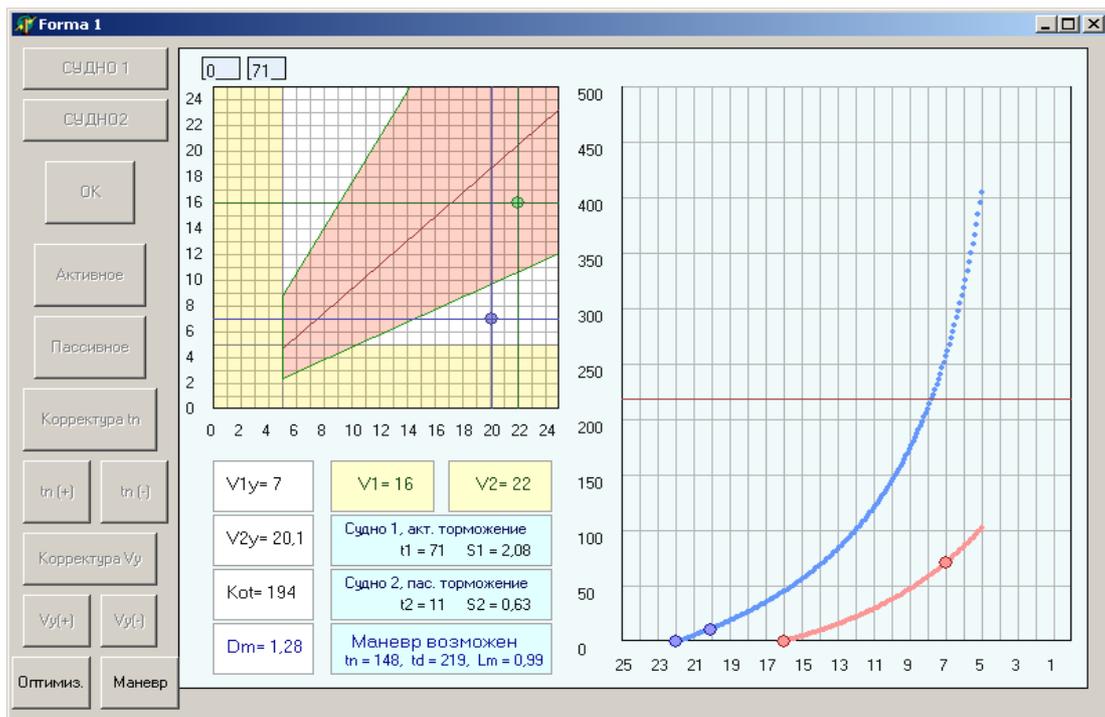


Рис. 2. Кривые активного и пассивного торможения судов

Характеристика маневра расхождения активным и пассивным торможением в случае $t_n = 0$ с представлена на рис. 3.

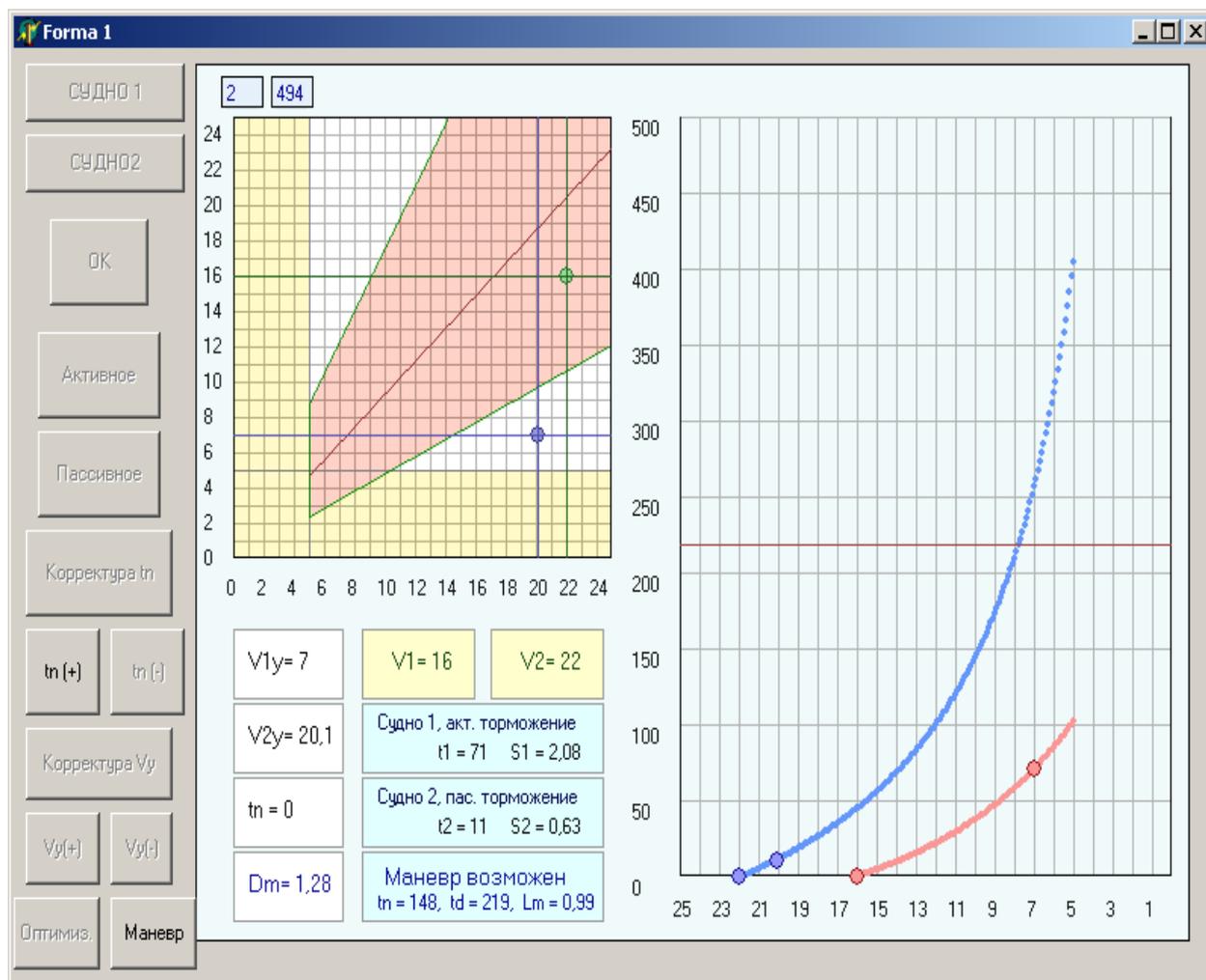


Рис. 3. Состояние процесса расхождения торможением при $t_n = 0$ с

Из рисунка следует, что в этом случае суда разойдутся на дистанции кратчайшего сближения $D_{\min} = 1,28$ в момент времени кратчайшего сближения $t_d = 219$ с. На рис. 4 показано состояние процесса расхождения маневром торможения для $t_n = 50$ с. Дистанция кратчайшего сближения в этом случае составит $D_{\min} = 1,18$ мили, а кривые активного и пассивного торможения смещаются вверх по оси времени, а линия завершения переходного процесса приближается к линии времени кратчайшего сближения $t_d = 219$ с.

На рис. 5 представлены характеристики маневра расхождения при $t_n = 100$ с. При этом дистанция кратчайшего сближения будет равна $D_{\min} = 1,09$ мили, а кривые активного и пассивного торможения начинаются с отметки 100 с.

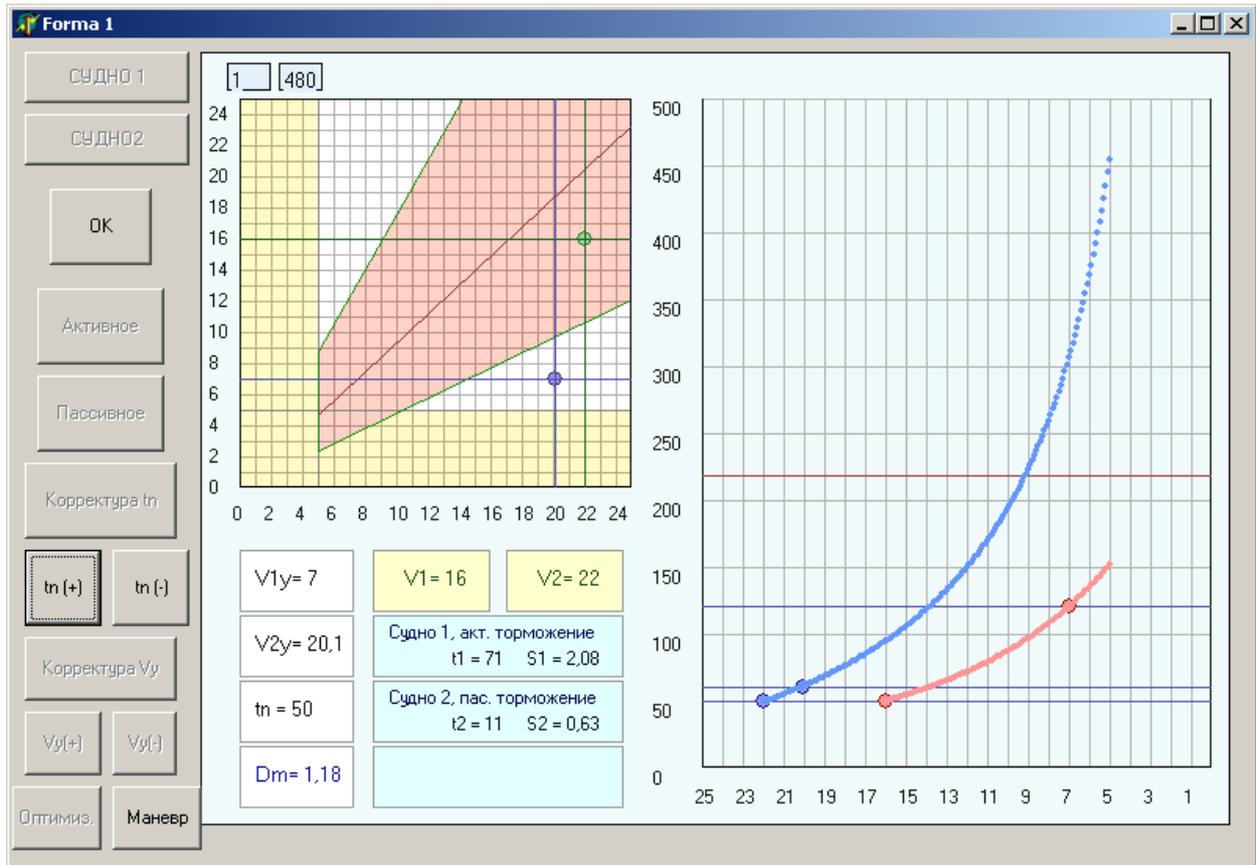


Рис. 4. Состояние процесса расхождения торможением при $t_n = 50c$

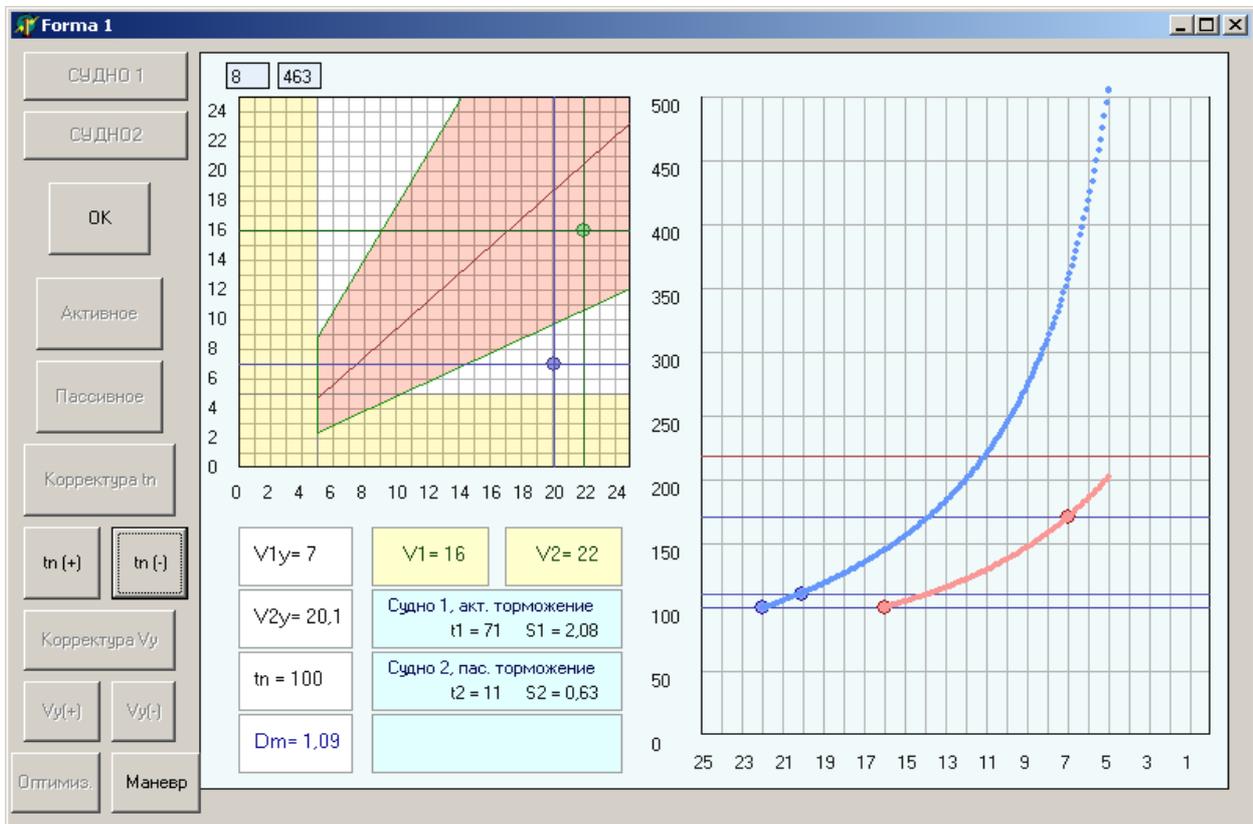


Рис. 5. Состояние процесса расхождения торможением при $t_n = 100c$

Состояние маневра расхождения активным и пассивным торможением при $t_n = 148$ с показано на рис. 6. Этот момент времени начала процесса торможения обоих судов определяет оптимальный маневр расхождения, при котором дистанция кратчайшего сближения равна $D_{\min} = 0,99$ мили. В данном случае горизонтальные линии окончания переходного процесса и момента времени кратчайшего сближения совпадают.

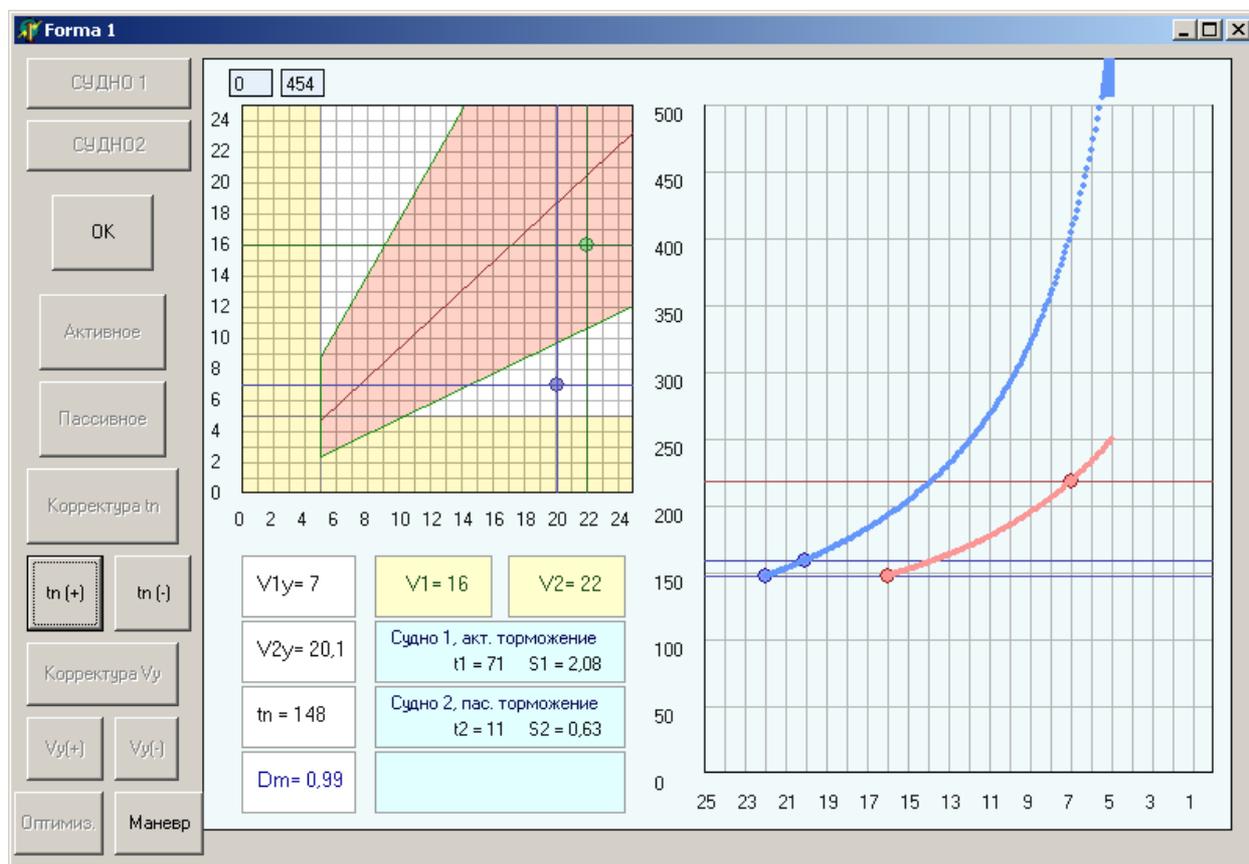


Рис. 6. Состояние процесса расхождения торможением при $t_n = 148$ с

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, предлагаемая процедура компьютерного графического пошагового выбора маневра расхождения изменением скорости позволяет найти оптимальное значение момента времени начала маневра изменения скоростей обоих судов, при котором минимизируются потери времени расхождения. В дальнейшем целесообразно обобщить процедуру на большее количество опасно сближающихся судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов/ Булгаков А.Ю. // Судовождение. – 20013. - № 23. – С. 7-12.
2. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета

- морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.
3. 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.
 4. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.
 5. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов/ Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.
 6. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 70.
 7. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения/Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 35-40.

УДК 656.615

**FORECAST THE TREND –SEASONAL PROCESSES IN
KEEPING NAVIGATION PRACTICABLE IN THE AZOV SEA**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРЕНД–СЕЗОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ СУДОХОДСТВА В АЗОВСКОМ МОРЕ**

A.A. Lysiy, Ph.D., associate professor

А.А. ЛЫСЫЙ, к.т.н., доцент

*Azov Maritime Institute National university «Odessa Maritime Academy»,
Ukraine*

*Азовский морской институт Национального университета
"Одесская морская академия", Украина*

ABSTRACT

The article substantiates the necessity of analysis and forecasting the trend-seasonal fluctuations in the management of industrial activities of the seaport.

The statistics is given showing a significant decrease in cargo turnover in the port of Mariupol in the period of ice conditions and icebreaker tug demurrage during the year.

The definition of the concept of seasonality, which refers to regular periodic occurrences of certain weather conditions associated with seasonal changes.

Developed a special approach to formation of database for diverse kinds of industrial activity of the port in ice conditions that meet the requirement of continuous planning and managing port operations.

Keywords: ice conditions, navigation, seasonal fluctuations, database, forecasting, fluctuation of cargo turn-over.

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

Повышение эффективности работы портов Азовского моря является актуальной задачей не только для отдельных предприятий, но и для экономики страны в целом. Снижение грузооборота портов, связанные с сезонными колебаниями и одновременное увеличение эксплуатационных расходов на содержание портового флота необходимо учитывать в их производственной деятельности, поэтому выработка методического инструментария прогнозирования этих процессов, а также задача формирования соответствующей информационной статистической базы для принятия решений являются весьма актуальными.

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

Вопросами определения и учета влияния сезонных колебаний на производственную деятельность портов и судоходство занимались многие отечественные ученые: Голиков В.В., Репетей В.Д., Лысый А.Ф., Леонтьев И.В. и др. Однако в виду того, что фактор сезонности носит стохастический характер и характеризуется рядом особенностей, исследования в этой области продолжаются.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Разработка методических основ анализа по использованию судов портового флота в течении всего года и прогнозирования тренд-сезонных колебаний при обеспечении судоходства в Азовском море.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Задачи управления судоходством в Азовском море, можно подразделить на две группы.

Первая – это задачи, возникающие при текущем управлении и оперативном планировании, вторая группа – задачи, возникающие при планировании комплекса работ в условиях введения ледовой обстановки.

Решение данных задач связано с выбором входных параметров, имеющих статистический или стохастический характер, обусловленный влиянием фактора сезонности.

Под фактором сезонности понимается регулярное периодичное наступление определенных погодных условий, связанных со сменой времени года. Порты Азовского моря с приходом зимы в большинстве случаев переходят на режим «ледовой» обстановки, где предпринимаются комплексные меры для достижения оптимальных показателей по грузопереработке параллельно с обеспечением безопасности мореплавания.

Влияние сезонности особенно сказывается как на работе морского транспорта в целом, где в значительной степени просматривается зависимости от этих условий, так и на работу ледокола, судов портового флота с ледовым классом в период «ледовой» обстановки и содержание этого флота после окончания «ледовой» обстановки в виду их простоя.

При рассмотрении динамики легко обнаружить повторяющиеся подъемы и спады уровней объемов грузопереработки в зависимости от сезона морских перевозок.

Очевиден циклический механизм, который формирует сезонные колебания - ежегодно повторяющиеся изменения природно-климатических условий [1]. Но если это справедливо для отраслей, прямо испытывающих влияние циклических изменений природно-климатических условий, то для предприятий морского транспорта условия «ледовой» обстановки связаны со значительными усилиями по обеспечению грузооборота и направлению дополнительных финансовых и технических ресурсов для ледокольного и вспомогательного флота [2].

В тбл. 1 приведена динамика проводок судов в Мариупольский порт в период 2010г.-2013г., когда «ледовая» обстановка вводилась, из какой видно, что в зимний период большая нагрузка ложится на вспомогательный и ледокольный флот.

В 2014 - 2016 г. из-за положительных температурных показателей «ледовая» обстановка не вводилась и нагрузка на вспомогательный и ледокольный флот резко падает (тбл. 2).

Таблица 1. Динамика проводок судов в порт Мариуполь с 2010г. по 2013г.

Год	Заведено ледоколом при ледовой (кол-во судов)				Количество судозаходов за месяц вне ледовой								Потери времени погрузки/выгрузки из-за погодных условий (сут) при ледовой/вне ледовой
	дек.	январь	февр.	март	апрель	май	июнь	июль	авг.	сентябрь	октябрь	ноябрь	
2010	-	48	73	62	272	274	204	240	252	248	265	270	230 / 140
2011	-	45	72	68	263	270	282	278	268	280	275	276	232 / 96
2012	32	54	70	63	296	278	283	292	288	275	278	282	245 / 132
2013	-	48	74	42	256	278	283	278	243	235	220	229	216 / 126

Таблица 2. Работа ледокольного буксира «Капитан Маркин» в порту Мариуполь с 2013г. – 2016г.

Год	Количество дней занятых обеспечением судозаходов												Всего выходов из порта в течении года (сут)
	дек.	январь	февр.	март	апрель	май	июнь	июль	авг.	сентябрь	октябрь	ноябрь	
013	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
014	1	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	2	8
015	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2

Таким образом, сезонные колебания температуры оказывают существенное влияние на организацию и финансовые результаты Мариупольского порта в зимнее время.

Использование ледокольного флота, на примере буксира с ледовым классом «Капитан Маркин», по обеспечению судозаходов в период «ледовой», который практически весь календарный год находится у причала, не учитывает разнообразные формы производственной деятельности порта, при которой доходная часть должна быть выше расходов на эксплуатацию флота.

В целом работа портов происходит в условиях сложных переплетений хозяйственных связей между различными отраслями экономики нашего государства и экономики зарубежных стран. Сезонные колебания, в этом случае имеют более сложный характер – генерируются в одном районе плавания, передаются в другие, преобразовываются и вновь продолжают

движение, возбуждают в последующих звеньях цикла морского транспорта соответствующие колебания [2].

На практике задача прогнозирования решается чаще всего в упрощенном виде. Предполагается, что в будущем будут продолжать действовать те же законы, по которым до сих пор проходило развитие исследуемого процесса. В таком случае вопрос сводится лишь к выбору лучшей из многих возможных экстраполяционных моделей.

Различают два вида моделей прогнозирования сезонных временных рядов: аддитивные и мультипликативные. В аддитивной модели отдельно прогнозируются тренд и сезонная компонента, а затем уже определяются прогнозные оценки собственно тренд - сезонного временного ряда.

$$\hat{y}_t(t) = \hat{u}_t(t) + \hat{v}_t(t), \quad t = \overline{1, L} \quad (1)$$

где L – период упреждения (предсказания),

\hat{y}_t – прогнозная оценка величины.

Функция $f(t)$, по которой прогнозируется тренд, выбирается *a priori*, если есть основания утверждать, что процесс развивается именно по такому закону $f(t)$. Нередко выбор $f(t)$ осуществляется на целом множестве функций: полном, логистическая кривая, кривая Гомперца и т.д.

В мультипликативных моделях предполагается, что сезонный эффект умножается,

то есть

$$y_{ij} = I_j \cdot v_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, T_o}, \quad (2)$$

где I_j – индекс сезонности.

В пользу применения аддитивных моделей для прогнозирования сезонных процессов говорит и их простота. Однако в данном случае необходимо отметить, что одна из наиболее эффективных мультипликативных моделей – модель Бокса-Дженкинса отмечается очень низкими возможностями автоматизации процесса решения на ПЭВМ, поскольку требует на каждом этапе участия квалифицированного эксперта по исследуемой проблеме.

Сказанное выше и определило тот факт, что для получения прогнозных оценок сезонных процессов с использованием ПЭВМ широко используются аддитивные модели.

Потенциальная аддитивная модель, в которой тренд прогнозируется по полиномиальной функции, а сезонная компонента по отрезку ряда Фурье дает некую усредненную сезонную волну с постоянной фазой и постоянной в каждом месяце амплитудой. Этот недостаток модели может быть устранен за счет учета в функции $f(t)$ динамических эффектов, что достигается введением либо взвешенного суммирования по степеням параметра t : [1]

$$f(t) = \sum_{i=0}^K \psi_i(t) \cdot t^i, \quad (3)$$

где

$$\psi_i(t) = \sum_{j=0}^{T_o/2} [\alpha_{ij} \cos \omega_i t + \beta_{ij} \sin \omega_i t]$$

либо заменой статических коэффициентов Фурье в (12) a_o, a_i, b_i коэффициентами – функциями параметра $t: a_o(t), a_i(t), b_i(t), i=1, T_o/2$.

Прогнозные показатели сезонности в большинстве случаев имеют определенные отклонения от статистических данных по объемам грузопереработки. Поэтому – одной из важнейших проблем является обеспечение устойчивости полученных характеристик, оценка возможных границ их отклонения.

Можно сделать вывод, что задача прогнозирования сезонных колебаний грузооборота порта решается в два этапа: анализ сезонных процессов (расчет уровня сезонных колебаний, анализ их динамики) и прогнозирования сезонных процессов [3].

Рассмотрим основные этапы анализа и прогнозирования сезонных колебаний грузооборота порта.

1. Выявление наличия сезонных колебаний.

$$F = m \frac{(T - T_o) \sum_{j=1}^{T_o} \left[\sum_{i=1}^m t_{ij} / m - \sum_{ij} t_{ij} / T \right]}{(T_o - 1) \sum_{j=1}^{T_o} \sum_{i=1}^m \left[t_{ij} - \sum_{i=1}^m t_{ij} / m \right]}, \quad (4)$$

здесь $t_{ij} = y_{ij} - u_{ij}$ - остаточная компонента после выделения тренда u_{ij} .

Величина F имеет F - распределение с $(T_o - 1)$ и $(T_o - m)$ степенями свободы. Сезонные колебания в исходном временном ряду подтверждаются, если $F_{расч} > F_{крит}$ при заданной доверительной вероятности.

2. Фильтрация компонент временного ряда.

Выполняется в несколько процедур. Первая – выделение тренда:

$$u_t = \sum_{\tau=-T_o/2}^{T_o/2} \alpha_{\tau} \cdot y_{t+\tau}, \quad (5)$$

где

$$\alpha_{\tau} = \begin{cases} 1/T_o, & |\tau - 1| < T_o/2 \\ 1/2T_o, & |\tau| = T_o/2 \end{cases}$$

Второй процедурной производится сглаживание сезонного временного ряда и выделение сезонной компоненты:

$$\hat{y}_{ij} = a_j + b_j \cdot \hat{u}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, T_o} \quad (6)$$

где \hat{y}_{ij} - сглаженная оценка. Коэффициенты a_j , b_j определяется по формулам:

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^m y_{ij} \sum_{i=1}^m u_{ij}^2 - \sum_{i=1}^m u_{ij} \sum_{i=1}^m y_{ij} \cdot u_{ij}}{m \sum_{i=1}^m u_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^m u_{ij} \right)^2}, \quad (7)$$

$$b_j = \frac{m \sum_{i=1}^m y_{ij} u_{ij} - \sum_{i=1}^m y_{ij} \sum_{i=1}^m u_{ij}}{m \sum_{i=1}^m u_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^m u_{ij} \right)^2}, \quad (8)$$

теперь

$$\hat{v}_{ij} = y_{ij} - u_{ij}.$$

Третья процедура – непосредственно фильтрация. Первый шаг фильтрации представлен операциями выше. Второй шаг:

$$\left. \begin{aligned} \Delta v_{ij} &= \sum_{\tau=-T_0/2}^{T_0/2} \alpha_{\tau} \cdot \hat{v}_{ij}^{(1)} \\ \hat{v}_{ij}^{(2)} &= u_{ij}^{(1)} + \Delta u_{ij} \\ u_{ij}^{(2)} &= a_j^{(2)} + b_j^{(2)} \cdot u_{ij}^{(2)} \\ v_{ij}^{(2)} &= \hat{y}_{ij}^{(2)} - \hat{u}_{ij}^{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Третий, четвертый и последующие шаги итерации повторяют по действиям второй шаг. Число итераций равно оценке минимальной степени полинома, аппроксимирующего тренд ряда плюс один, т.е. $(n+1)$.

3. Прогнозирование сезонных процессов.

Первая аддитивная модель:

$$\hat{v}_t(i) = \sum_{j=v}^n a_j (T+i)^j, \quad n=1,2,3, \quad i=\overline{1, L} \quad (10)$$

здесь

$$t = i \times T_0 + j, \quad i = 0, 1, \dots, m_L,$$

$$\hat{y}_T(i, j) = a_j + b_j \cdot u_T(i, j), \quad i = \overline{1, m_L}, \quad j = \overline{1, T_0}$$

$\hat{y}_T(i, j)$ - прогнозная оценка величины $u_{m+i, j}$

Вторая аддитивная модель:

$$\hat{y}_T(t) = \sum_{j=0}^n a_j \cdot t^j + a_0(\tau) + \sum_{i=0}^{\tau_0/2} \{a_i(\tau) \cos \frac{2\pi}{T_0}(T+t) + b_i(\tau) \sin \frac{2\pi}{T_0}(T+t)\} \text{ где}$$

$$\tau = \left[\frac{T+t+T_0}{KT_0} \right] + 1. \tag{11}$$

В правой части (11) квадратные скобки означают взятие целой части от выражения в скобках, K – число разбиений исходного временного ряда

$$\{y_t, t = \overline{1, T}\}$$

на равные отрезки:

$$\{y_t, t = \overline{1, T}\} = \{y_t, t = \overline{1, T}\} \cup \{y_t, t = T_1 + 1, T_2\} \cup \dots \cup \{y_t, t = T_{K-1} + 1, T_K\}$$

Для каждого отрезка временного ряда $\{y_t, t = T_{s-1} + 1, T_s\}$ находятся коэффициенты Фурье $a_0^{(s)}, a_j^{(s)}, b_j^{(s)}$:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T t_i \\ a_j &= \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T t_i \cos \frac{2\pi}{T_0} t \\ b_j &= \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T t_i \sin \frac{2\pi}{T_0} t \\ a_{T_0/2} &= \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (-1)^i t_i \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

Из коэффициентов $a_0^{(s)}, a_j^{(s)}, \dots, b_j^{(s)}, s = 1, 2, \dots, K$ составляется матрица

$$A_B = \begin{pmatrix} a_0^{(1)} & a_1^{(1)} & \dots & a_{T_0/2}^{(1)} b_1^{(1)} & \dots & b_{T_0/2-1}^{(1)} \\ a_0^{(2)} & a_1^{(2)} & \dots & a_{T_0/2}^{(2)} b_1^{(2)} & \dots & b_{T_0/2-1}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_0^{(K)} & a_1^{(K)} & \dots & a_{T_0/2}^{(K)} b_1^{(K)} & \dots & b_{T_0/2-1}^{(K)} \end{pmatrix} \tag{13}$$

Аналогично далее рассматриваются T_0 временных рядов с коэффициентами $a_0^{(s)}, a_j^{(s)}, b_j^{(s)}, s = \overline{1, K}$ для каждого из которых находятся соответствующие значения C_0 и C_1 , аппроксимирующего линейного уравнения

$$Z_t = C_0 + C_1 t, t = \overline{1, K}. \tag{14}$$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Решение методических вопросов прогнозирования грузопереработки морского порта с учетом сезонных колебаний является необходимым этапом на пути совершенствования управления работой морского транспорта.

Предложенный и усовершенствованный аппарат статистического прогнозирования включает стадии обработки динамических рядов: анализ сезонных процессов, прогнозирование сезонной волны и построение доверительных интервалов. Такой подход к прогнозированию может быть применен для широкого диапазона направлений и проблем, связанных с планированием работы флота и портов.

Основные положения анализа и прогнозирования трен-сезонных колебаний работы морского транспорта позволяет вести разработку и реализацию современных информационных технологий в общей системе отраслевого управления по усовершенствованию систем безопасного управления транспортными средствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев И. В. Понятие и сущность сезонных экономических явлений / И.В. Леонтьев. – М.: Статистика, 2003. – С. 38-45.
2. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белоусов» в ледовую навигацию по Азовскому морю / В.В.Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научн. техн. сборник. Вып.27. – Одесса: ОНМА, 2011. – С.39-44.
3. Кильдышев Г.С. Анализ временных рядов и прогнозирование / Г.С. Кильдышев, А.А. Френкель. – М.: Статистика, 2005. – С. 25-28.

УДК 656.614.073.238-047.36+629.544.065-047.36

LOADING SYSTEM CONTROL CONTAINER SHIPS**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ
КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ**

V.V. Nikolskyi ¹, DSc, prof., Y.A. Nakul ², captain, PhD student,
V.O.Stovmanenko ³, student

В.В Нікольський ¹, д.т.н., професор, **Ю.А. Накул** ², капітан, аспірант,
В.О. Стовманенко ³, студент

¹ National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

¹ Національний університет "Одеська морська академія", Україна

² National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

² Національний університет "Одеська морська академія", Україна

³ Petro Mohyla Black Sea National University

³ Черноморський Національний університет ім. Петра Могили, Україна

ABSTRACT

During this work system for container ship loading was created, looked over the details of realization such systems, the most effective ones was chosen and described it's work.

Keywords: container ship, load, control, wireless, microcontroller, inertial navigation systems, Cartesian space.

Постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Завантаження вантажів на судно є зовсім не таким простим завданням, як може здатися на перший погляд. Недбалість під час цього процесу може привести до дуже серйозних наслідків. Зокрема показовий випадок контейнеровозу "CSCL Uranus" [1], який потрапивши в шторм нахилився і за борт зійшло 80 контейнерів, додатково деякі контейнери було пошкоджено. Все це відбулося через неправильне закріплення та завантаження контейнерів на борті [2]. В підсумку значні фінансові витрати та судові процеси, які розтягнулися на декілька років. Все могло обійтися ще серйозніше, якби судно нахилилося на більший кут внаслідок недотримання правил техніки безпеки. Судно могло досягнути значного крену й перевернутися, тоді мова йшла б про значно більші витрати, а також про людські життя.

Також не поодинокими є випадки, коли необхідний контейнер перебуває під двома, а то й більше, контейнерами. Для вивантаження цього, потрібного, вантажу треба вивантажити декілька інших об'єктів, а потім знову їх завантажити. Це займає час, а отже також призводить до фінансових витрат. Пошуки рішення, яке здатне було б допомагати портовим працівникам та екіпажу судна, не принесли бажаних результатів. Відсутність такої системи на

ринку поруч з існуванням попиту з боку транспортних компаній створює нішу, яку може зайняти подібна система.

Аналіз останніх досягнень і публікацій, в яких почато рішення даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Розвиток комп'ютерних технологій на кожному рівні розвитку відкриває нові можливості контролю завантаження вантажів на судно задля прискорення процесу. Але, не зважаючи на це, на багатьох суднах капітан, або його помічник, має безпосередньо спостерігати за процесом задля того, щоб пересвідчитися, що відповідний контейнер було встановлено саме на те, попередньо вказане місце, а для перевірки закріплення треба було направити декілька людей, які б змогли все оглянути в безпосередній близькості до контейнера.

Зараз існують програми, які дозволяють графічно відобразити розміщення контейнерів в зонах зберігання, але заносити дані про перебування цих вантажів треба вручну, що приховує у собі загрозу помилок або неточності з приводу неуважності. Також програми можуть пропонувати оптимізацію розміщення контейнерів, але вже після того, як дані про нього було внесено, тобто якщо контейнер встановлено і лише потім внесено в програму, то доведеться переставляти його, тобто витратити додатковий час та ресурси.

В результаті проведеного аналізу сучасних систем завантаження контейнеровозів [3-6] були виявлені їх недоліки:

- необхідність купувати цілком нові крани для завантаження, які реалізують уже готові алгоритми автоматизованого завантаження, що вимагає вливання значних коштів за відносно короткий проміжок часу;
- закритість коду програм, що не дозволяє гнучко налаштовувати програму для потреб того чи іншого контейнеровозу/порту/транспортної компанії;
- висока ціна на продукти фірм, які пропонують аналогічні системи (наприклад DELFTload коштує 150 євро за одну ліцензію);
- націленість на певний, конкретний тип суден, тобто відсутність універсальності;
- недостатній рівень автоматизації у програмних продуктах (необхідність вручну вносити дані про перебування чи відсутність певного контейнера).

Формулювання цілей статті (постанова завдання)

Нами пропонується система, метою створення якої є встановлення контролю над процесом завантаження в портах для забезпечення правильності розміщення, дотримання показань ваги для кожної частини судна, дотримання правил техніки безпеки при розміщенні контейнерів з вантажами різних класів "небезпечності". Певні види вантажів мають певні правила розміщення. Відповідно до цих правил має підбиратися правильна позиція для контейнера. Також ця система має допомогти отримати доступ до контейнерів, які мають бути вивантажені в порту в першу чергу, тобто оптимізувати розміщення

відповідно до маршруту для оптимальної позиції кожного контейнера і, в той же час, максимальній завантаженості корабля.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Спочатку варто розглянути процес завантаження на теперішній час. Коли судно заходить у порт, то за допомогою супутникових каналів зв'язку список вантажів, які треба завантажити вже передано в порт і на місці відбуваються підготовчі роботи. Необхідні контейнери з портових зон зберігання доставляються до безпосереднього місця завантаження. Після того, як судно пришвартувалося починається процес завантаження. За ним слідує помічник капітана, відповідальний за вантажні операції. Проте він може лише візуально слідувати за тим, що відбувається. Жодних сигналів про те, що той чи інший контейнер було завантажено. Крани, керовані крановими, починають перенесення вантажів, ставлять контейнери на вільні місця у виділених зонах завантаження судна. При цьому не завжди можна контролювати точну постановку вантажу, що може призвести до нестабільного встановлення. Після того як було завантажено усі контейнери екіпаж закріплює їх, відшвартовується і виходить у море.

Таким чином можливо сформулювати до системи контролю такі вимоги:

1. Забезпечення надійного зв'язку між крановими та контейнеровозом.
2. Візуальний інтерфейс сигналізації завантаження того чи іншого контейнера.
3. Аналіз навантаження різних секторів корабля.
4. Збереження історії.

На всіх GPS-системах у порту судно є точкою, що дуже ускладнює контроль за процесом завантаження, так як дослідити положення тіла на основі даних GPS неможливо, або дуже дорого. Використання цієї технології перше, що спало на думку, коли мова зайшла про контроль за місцезнаходженням об'єктів. Так як перевізники не можуть ніяк модифікувати контейнер, то варіант із зовнішнім маркуванням також відпадає. Треба знайти спосіб контролю положення тіла, який би не передбачав ніяких додаткових об'єктів-орієнтирів та дозволяв залишити контейнер саме у тому вигляді, в якому його надав клієнт. Відповідно до цих вимог було обрано координатний метод контролю.

Кожне тіло має координати в просторі. Увівши певну точку відліку можна точно сказати про місцезнаходження об'єкта у просторі. Звісно, одного набору координат буде замало інакше ми стикатимемося з ігноруванням фактичних розмірів тіла. Якщо ми розглядаємо контейнер, то говоримо про прямокутний паралелепіпед із заданими розмірами. Ідеально описати його положення у просторі можна зафіксувавши координати (x,y,z) усіх його вершин відносно

певної базової точки (початку координат), але для спрощення, маючи розміри того чи іншого контейнера можна обмежитися координатами чотирьох точок, координати нижньої основи можна розрахувати, якщо вона буде паралельна до земної поверхні. Паралельність можна оцінити розглянувши координати z точок верхньої основи (рис. 1).

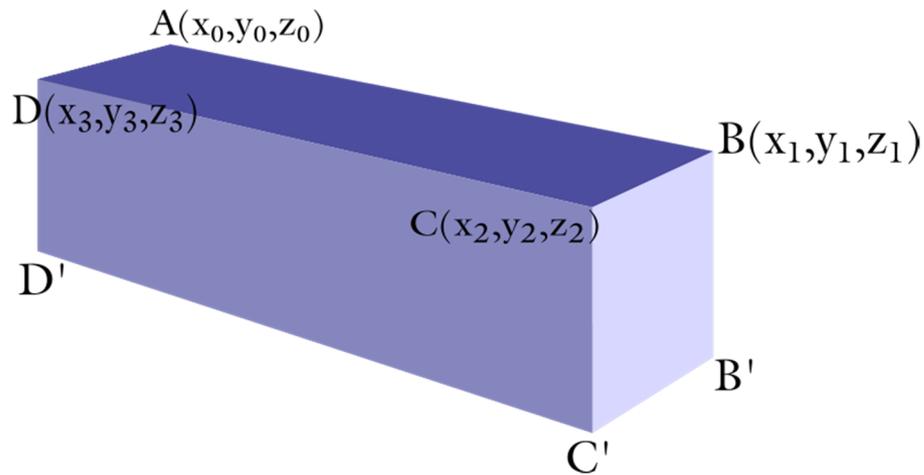


Рис. 1. Фіксовані точки для визначення координат (A' прихована)

Інерційні навігаційні системи (ІНС) будуть розміщені в точках A, B, C, D . d — діагональ бічної грані. Решта координат буде розрахована. Розрахунки проводитимуться наступним чином:

- візьмемо точку A , як базову, її $z = Z$;
- розглянемо прямокутник $AA'B'B$.

У випадку, коли $z_b = Z$, маємо кут $\varphi = 0$. Якщо аналогічна ситуація повториться з прямокутником $CC'D'D$, то прямокутник $ABCD$ паралельно перенесеться в $A'B'C'D'$ з відповідною зміною координат z цих точок на Z .

Якщо на одній із бічних поверхонь не виконуватиметься умова $\varphi = 0$, доведеться виконати додаткові розрахунки. Треба розрахувати нахил відносно точки (рис. 2).

$$\tan(\sphericalangle B_0 AB) = \Delta h / R \quad (1)$$

Якщо тангенс кута збільшуватиметься до певного порогового значення, то крановий отримуватиме попередження і має вирівняти положення.



Рис. 2. Розрахунок нахилу

Аналогічним чином можна описати місця, в яких ці контейнери можна зберігати (склад в порту) чи перевозити (зони завантаження на судні). Також можна виконати розмітку таких зон в порту (рис. 3).

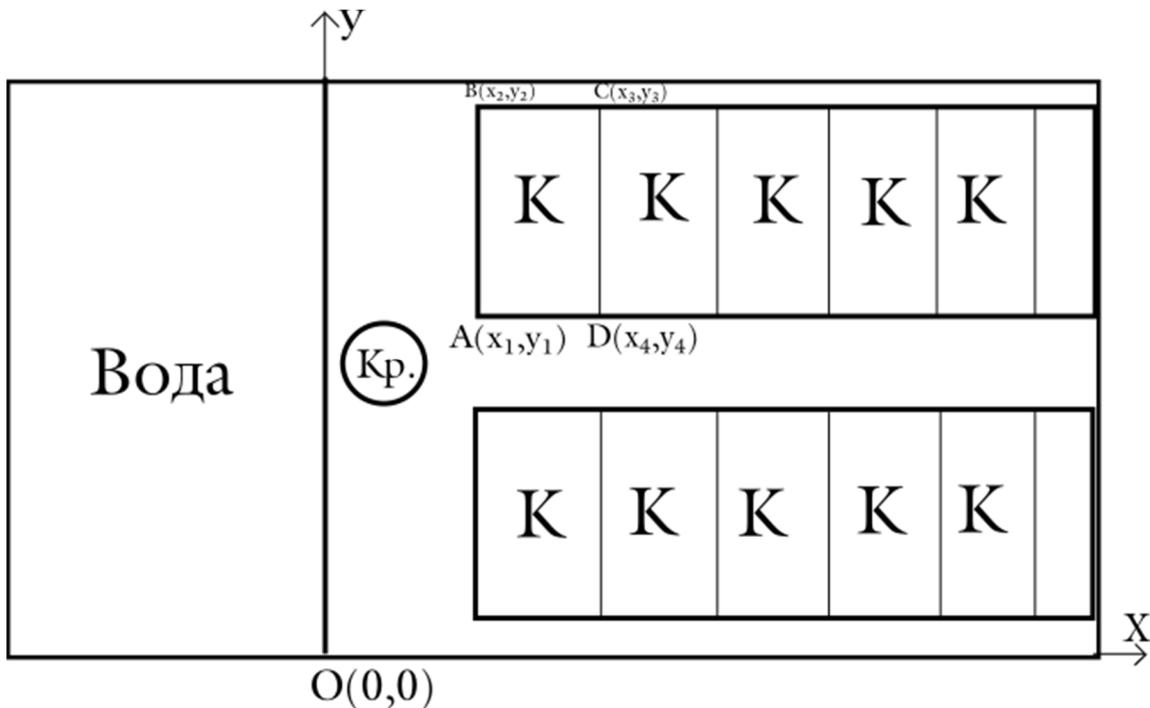


Рис. 3. Карта розміщення контейнерів у порту (прямокутник $ABCD$ демонструє координати одного з можливих контейнерів), K — контейнер, $Kp.$ - кран.

Таким чином можна отримати дані про місцезнаходження того чи іншого контейнера відносно легко, маючи перед собою карту зон завантаження чи портового складу. Створивши базу даних, яка пов'язуватиме координати об'єкта та його ідентифікатор (посилання на інформацію про цей контейнер) можна буде знаходити необхідний об'єкт знаючи його координати і навпаки. А це і є однією з основних цілей системи, яка контролюватиме завантаження.

Треба тільки навчитися достатньо точно розраховувати або визначати координати точок в просторі. В будь-якому випадку доведеться отримувати певну інформацію про зміну стану контейнера, щоб дані перезаписувалися або розраховувалися спочатку. Враховуючи кількість необхідних операцій, які треба виконувати для підтримки актуальних даних та частоту виконання можна віддати пріоритет способам, які дозволятимуть безпосередньо отримати координати тіла, що рухається. Для цих цілей можна використовувати ІНС [7-9], які дозволяють здійснювати виміри прискорення та кутові швидкості тіла і відповідно до цього розрахувати положення в просторі. Вони складаються з трьох основних компонентів:

- акселерометра, пристрою, який визначає прискорення;
- гіроскоп (и), пристрій (ої), що визначають кутові швидкості;
- електронний обчислювальний пристрій, що виконує первинний аналіз даних та на їх основі розраховує швидкість руху та, власне, координати.

Треба, щоб такі ІНС були розташовані принаймні в двох вершинах контейнера. Оскільки маркувати, змінювати зовнішній вигляд чи встановлювати певні, додаткові компоненти на контейнер може тільки власник, доцільно встановити ІНС на кріплення крану. Під час перенесення вантажу кріплення крану під'єднується до кутів, тому положення датчиків на кріпленнях будуть збігатися з положенням кута тіла в просторі. До того ж фіксувати зміни положення, відповідно до наших задач, треба тільки під час перенесення.

Таким чином система буде працювати так:

I. Крановий, отримавши координати потрібного контейнера, підіймає його краном. В момент зчеплення в базі виконується пошук інформації про вантаж, який буде перенесено. Отримавши розміри контейнера розраховуються координати всіх інших вершин.

II. Виконується переміщення контейнера на судно відповідно до координат, які були задані капітаном для даного контейнера.

III. Після того, як контейнер було встановлено на потрібне місце, суднова частина системи оповіщається про це. В портову базу відправляється команда, яка підтверджує успішне перенесення вантажу.

Так буде повторюватися поки всі вантажі не буде завантажено. Окрім того, відповідно до параметрів судна система, а саме її суднова частина може висловлювати пропозиції щодо найбільш раціонального розміщення вантажів. Для того, щоб усі розрахунки здійснювалися якомога точніше — в судновій частині буде створено інтерфейс, який дозволяє налаштувати специфічні параметри та оновити, чи відкоригувати карту збереження вантажів (рис. 4).

Карта Збереження Вантажів (далі КЗВ) — це формальний опис усіх зон завантаження, з їх описом і урахуванням специфіки конкретного судна, кожне місце для контейнера в якій поставлено у відповідність до координат відносно певної, базової точки контейнеровозу. Але виникає проблема існування двох Декартових координатних просторів, адже таким чином кран не дізнається координат місця призначення через те, що не існує зв'язку між ними. Для вирішення цієї проблеми буде виконуватися узгодження координатних просторів. Після швартування судна в порту і встановлення каналу зв'язку із портовими кранами відбудеться передача КЗВ і розрахунок координат не відносно базової точки судна, а відносно базової точки портових кранів. Всі перетворення відбуватимуться в програмному комплексі й капітан, працюючи з КЗВ на судні може відправляти поточні, зрозумілі йому координати, які будуть автоматично перераховані системою.

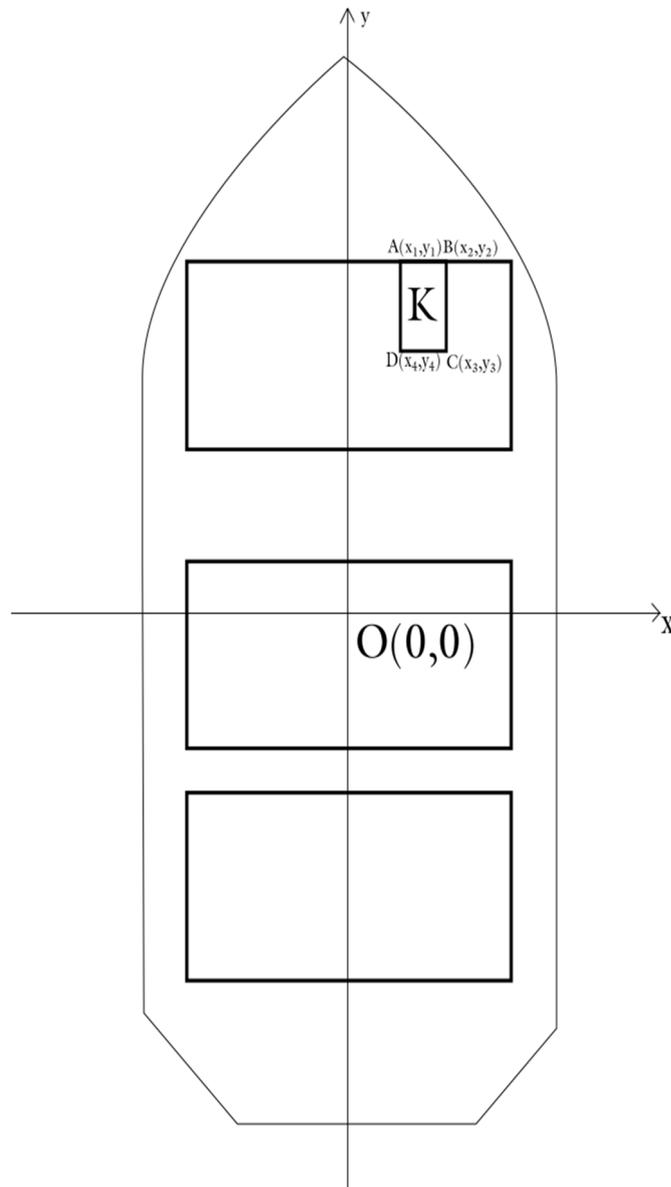


Рис. 4. Карта збереження вантажів, K - контейнер для прикладу, який характеризує розміщення

Далі наведемо вимоги щодо каналу зв'язку. На борту судна є супутникові канали зв'язку через які можна отримати доступ у мережу Інтернет. Відповідно можна надсилати дані через цей канал, але це є не надто результативно, до того ж дані в процесі передачі можуть бути перехоплені. Набагато більш надійним є прямий зв'язок кранових та судна. Для забезпечення зв'язку можна скористатися бездротовим зв'язком (дротове з'єднання було відкинута як нерациональне). З поміж стандартів бездротової передачі даних, які раціонально використовувати для побудови локальних мереж було обрано стандарт IEEE 802.11, а саме його реалізацію — Wi-fi. На судні буде встановлено роутер або їх низка, який(і) взмозі покривати розраховану відповідно до розмірів судна зону. В зоні завантаження стоятиме ретранслятор сигналу для забезпечення

необхідного радіусу дії відповідно до реалій того чи іншого порту та особливостей його зон завантаження (рис. 5).

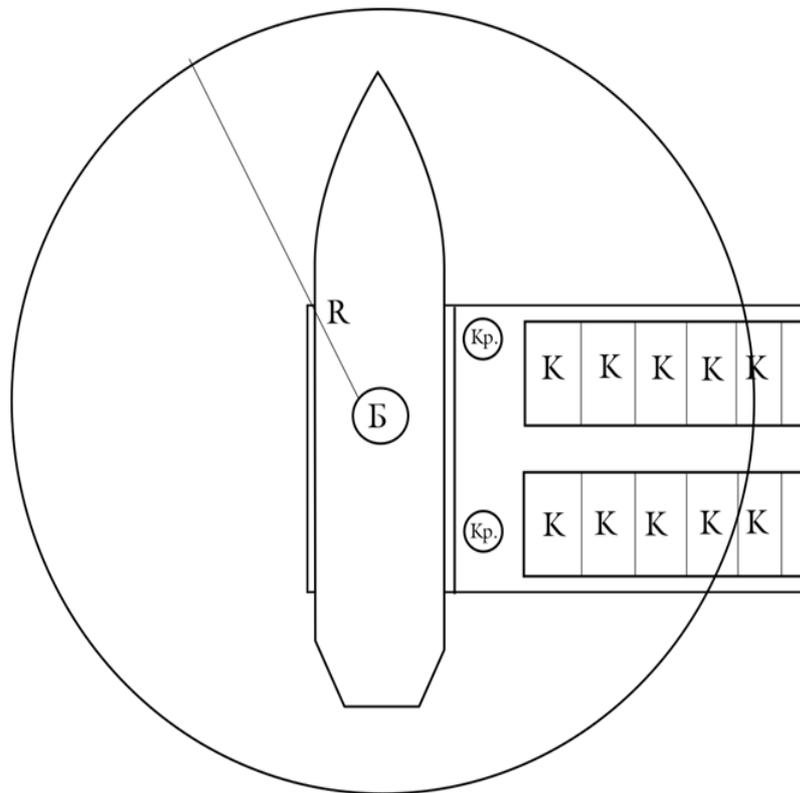


Рис. 5. Покриття Wi-fi — бази (Б), яка має радіус покриття (R , $R > L$ (довжина судна)/2)

Всі модулі, встановлені на кранах відправлятимуть інформацію на суднову частину системи. Вона являє собою комп'ютер, який приєднано до роутера, що створює мережу комунікації. На комп'ютері встановлено програмне забезпечення, яке виконує обробку всіх даних, які надходять від кранів. Заповнюється судновий реєстр вантажів, який являє собою надбудову на КЗВ і, по суті, поєднує координатну інформацію про місцезнаходження об'єкта і дані про цей об'єкт. Напрямку з даними, які надходять з мережі, працюватиме лише один програмний модуль. Буде відбуватися логування та занесення контейнера до реєстру вантажів судна. Всі інші програмні модулі працюватимуть з ним. В програмі передбачено: графічний інтерфейс користувача, який дозволяє відобразити розміщення контейнерів; модуль, який дозволяє переглянути історію перевезень; модуль аналізу розміщення, який підбиратиме найбільш оптимальне положення для контейнера; модуль зв'язку, через який здійснюватиметься зв'язок між судном та крановими.

Кранова ж частина системи складається з двох модулів ІНС та мікроконтролеру, через який здійснюватиметься передача інформації. Мікроконтролер під'єднується через інтерфейс RC-45 до більш потужного роутера. Можлива пряма передача з мікроконтролера, якщо до його складу входить вбудований модуль Wi-fi. Таким чином маємо мережу, як зображено на рис. 6.

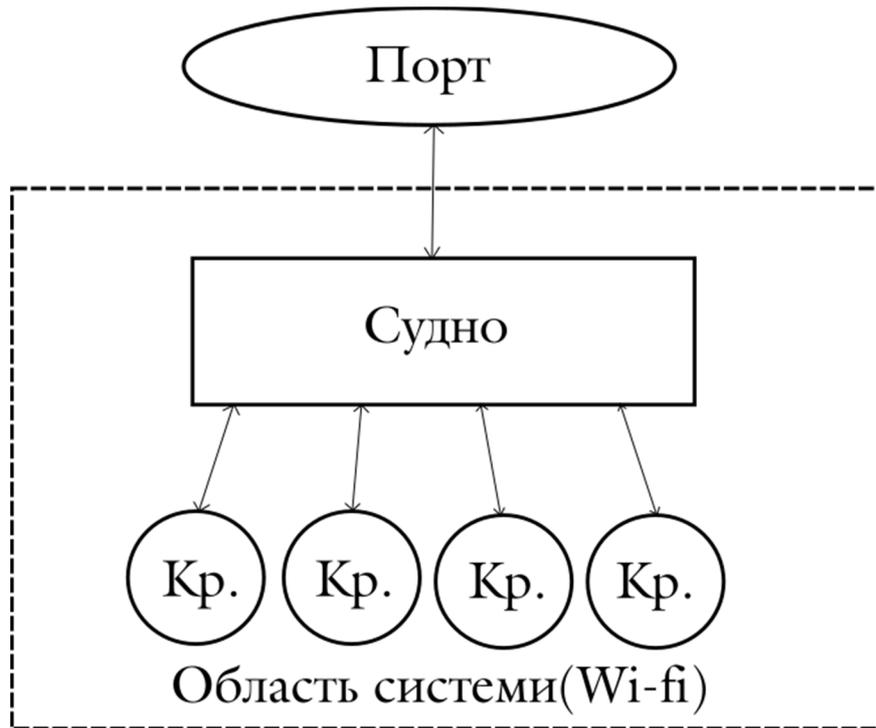


Рис. 6. Ієрархія мережі

Висновки і перспективи подальших розвідок у даному напрямку

Під час виконання роботи було проаналізовано та визначено проблему завантаження суден у портах. Розглянуто варіанти розв'язання вирішення проблеми, які існують на теперішній час і виявлено їх недоліки. Відповідні моменти було включено в поставлене завдання. Було визначено завдання до майбутньої системи, відповідно до якого було розроблено модель системи та описано механізм її роботи, координатний метод контролю. Бездротові мережі та ІНС є основним та дієвим засобом вирішення поставленого завдання.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нікольський, В. В. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза / В.В. Нікольський, М.В. Нікольський, Ю.А. Накул // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 271. – Т. 283. – Миколаїв, 2016. – С. 60–63.
2. Бычков, Д. В. Усовершенствование и оптимизация схемы крепления контейнеров для повышения сохранности перевозимого груза: дис. ... канд. техн. наук / Дмитрий Владимирович Бычков. - Одесса, 2007. - 216 с.
3. Бабаков, В. В. Расчет грузового плана контейнеровоза на персональных ЭВМ / В.В. Бабаков // Учебное пособие. - Одесса: ОГМА, 1992. - 40 с.
4. Ресурс <http://www.deltamarine.com.tr/en/services/ship-loading-software.php>.
5. Ресурс <http://www.delftship.net/DELFTship/index.php/delftload/delftload>

6. Ресурс <http://www.interschalt.com/software/meecos-suite/>
7. Мелешко, В. В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы / В.В. Мелешко, О.И. Нестеренко // Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД - Сервис, 2011. – 171с.
8. Доросинский, Л. Г. Основы и принципы построения инерциальных навигационных систем / Л.Г. Доросинский, Л.А. Богданов // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2014. – № 5. Ресурс <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14356>.
9. Ресурс <http://www.oxts.com/what-is-inertial-navigation-systems-guide/>

УДК 656.61.052.484

ESTIMATION OF MINIMUM POSSIBLE DISTANCE OF VESSELS' APPROACHING

ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ

T.Y. Omelchenko, *senior lecturer*, **K.S. Martinenko**, *PhD student*,
Т.Ю. Омельченко, *старший преподаватель*, **К.С. Мартыненко**,
аспирант,

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

ABSTRACT

Procedure of formulating the stochastic constituent of minimum-possible distance of vessels' approaching is considered out, depending on the errors of the radio-location measurings and errors of determination of parameters of approaching vessels. Analytical expression for estimation of value of stochastic constituent of minimum-possible distance of vessels' approaching is got.

Key words: safety of navigation, minimum-possible distance, stochastic constituent.

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

Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах является важнейшей проблемой обеспечения безопасности судовождения. До сих пор аварийность по причине столкновений судов находится на высоком уровне, что требует разработки эффективных мер по предупреждению их столкновений.

Поэтому разработка способов совершенствования процесса расхождения опасно сближающихся судов, в частности корректной оценкой предельно-допустимой дистанцией сближения, 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

Анализ факторов, определяющих значение предельно-допустимой дистанции сближения судов, произведен в работах [1] и [2], а работа [3] посвящена формированию безопасных доменов.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является рассмотрение процедуры оценки стохастической составляющей предельно-допустимой дистанции сближения судов.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Как указывается в работе [4] при оценке значения предельно-допустимой дистанции сближения судов учитываются детерминированные и стохастические составляющие. К детерминированным факторам относятся габариты судов, явление присасывания и составляющая минимаксного запаса дистанции, который должен учитывать возможность возникновения непрогнозируемых событий, и такой запас целесообразно выбирать в пределах диаметра циркуляции судна. Стохастическая составляющая определяется погрешностями радиолокационных измерений и погрешностями определения параметров движения судов.

Рассмотрим учет погрешностей радиолокационных измерений. Допустим, измерены дистанция L , пеленг α , а также получена величина относительного курса K_{ot} , содержащие независимые погрешности измерений δL , $\delta \alpha$ и δK_{ot} . Учитываем, что дистанция кратчайшего сближения L_m определяется очевидной зависимостью от величин L , α и K_{ot} , которая имеет следующее аналитическое выражение:

$$L_m = L \sin(\alpha - K_{ot}).$$

Пренебрегая слагаемыми высшего порядка малости, получим выражение для погрешности в дистанции кратчайшего сближения L_m , которую обозначим δL_m . Для этого необходимо найти полный дифференциал величины L_m по переменным L , α , K_{ot} и дифференциалы заменить конечными приращениями, т. е.:

$$dL_m = L \cos(\alpha - K_{ot}) d\alpha - L \cos(\alpha - K_{ot}) dK_{ot} + dL \sin(\alpha - K_{ot}),$$

или

$$dL_m = L \cos(\alpha - K_{ot})(d\alpha - dK_{ot}) + dL \sin(\alpha - K_{ot}).$$

В свою очередь, полный дифференциал относительного курса dK_{ot} определяется параметрами движения обоих судов и дифференциалами параметров. Поэтому в общем виде можно записать:

$$dK_{ot} = (f_{V1} + f_{V2})dV + (f_{K1} + f_{K2})dK.$$

Функции f_{V1} , f_{V2} , f_{K1} и f_{K2} находим из следующих соображений.

Зависимость относительного курса K_{ot} от параметров движения судов определяется следующим выражением [5]:

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

из которого получим частные производные по курсу и по скорости [6,7]:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1} = \frac{V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_{ot}^2},$$

$$\frac{\partial K_{otn}}{\partial V_1} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K},$$

где $\Delta K = K_1 - K_2$;

$$V_{ot}^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K.$$

Следовательно:

$$dK_{ot} = \frac{V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_{ot}^2} dK_1,$$

$$dK_{otn} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K} dV_1.$$

Поэтому выражения для функций f_{V1} , f_{V2} , f_{K1} и f_{K2} имеют вид:

$$f_{V1} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K};$$

$$f_{V2} = \frac{V_1 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K};$$

$$f_{K1} = \frac{V_1(V_1 - V_2 \cos \Delta K)}{V_{ot}^2};$$

$$f_{K2} = \frac{V_2(V_2 - V_1 \cos \Delta K)}{V_{ot}^2}.$$

С учетом полученных выражений полный дифференциал dK_{ot} принимает следующий вид:

$$dK_{ot} = \frac{1}{V_{ot}^2} \sin \Delta K (V_1 + V_2) dV + dK.$$

Переходя к конечным приращениям, окончательно получим выражение для оценки погрешности δL_m в определении дистанции кратчайшего сближения L_m :

$$\delta L_m = L \cos(\alpha - K_{ot}) \left[\delta \alpha - \frac{1}{V_{ot}^2} \sin \Delta K (V_1 + V_2) \delta V - \delta K \right] + \delta L \sin(\alpha - K_{ot}).$$

Очевидно, стохастическая составляющая предельно-допустимой дистанции, которая обозначена L_d , не должна превосходить погрешности дистанции кратчайшего сближения δL_m с вероятностью P_d , близкой по величине к единице. Стохастическая составляющая предельно-допустимой дистанции L_d определяется из соотношения $P(L_d \geq \delta L_m) = P_d$.

Рассмотрим, как использовать полученную предельно-допустимую дистанцию кратчайшего сближения L_d для безопасного расхождения судна с целью. Соотношение между дистанцией кратчайшего сближения L_m и ее предельно-допустимым значением L_d определяет наличие (или отсутствие) угрозы столкновения судна с целью.

Если имеет место соотношение $L_m > L_d$, то, очевидно, при неизменных параметрах движения судна и цели опасность столкновения отсутствует. В противном случае вероятность столкновения отлична от нуля и увеличивается с уменьшением величины L_m , обращаясь в единицу при $L_m = 0$.

В первом приближении зависимость вероятности столкновения P_{col} от соотношения L_m и L_d можно описать следующим образом. Исходим из того, что при $L_m = 0$ вероятность столкновения $P_{col} = 1$, а при $L_m \geq L_d$ она обращается в 0. Таким свойством обладает следующее выражение:

$$P_{col} = 1 - \frac{L_m}{L_d}, \quad \text{при } L_m \in [0, L_d],$$

$$P_{col} = 0, \quad \text{при } L_m > L_d.$$

Сектор опасных относительных курсов, ведущих к столкновению, как следует из рис., ограничен относительными курсами $K_{отр}$ и $K_{отс}$.

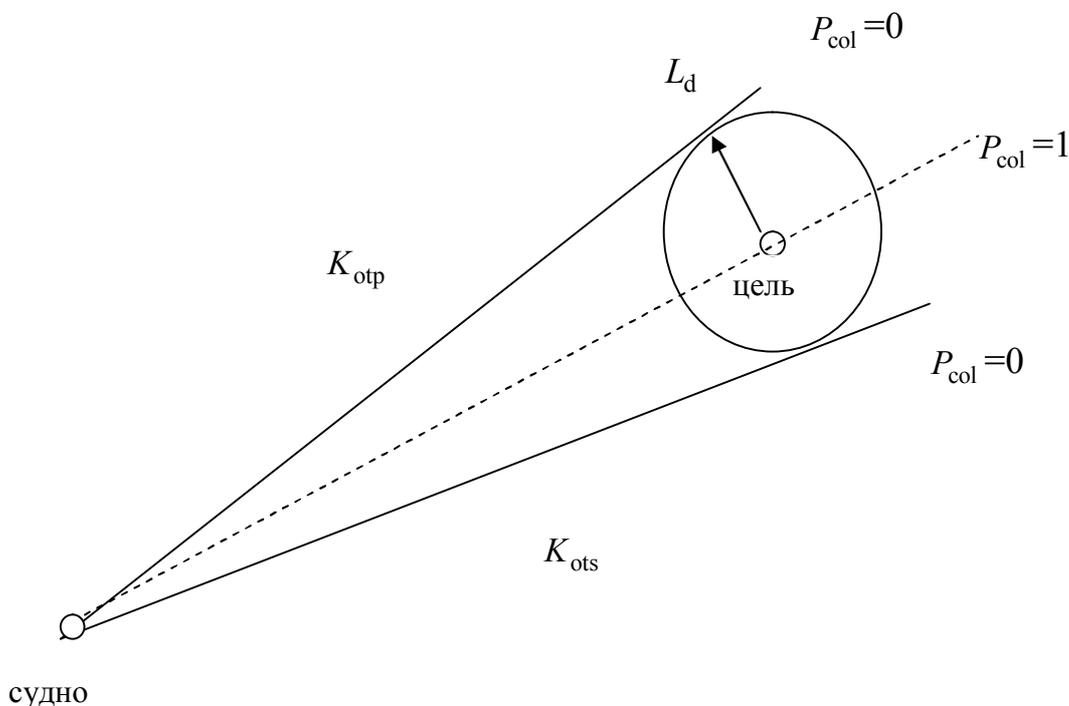


Рис. Сектор опасных относительных курсов

Другими словами, множество опасных относительных курсов уклонения, которое обозначено Mn_{colot} , включает все относительные курсы, заключенные между значениями $K_{отр}$ и $K_{отс}$, т.е. $Mn_{colot} = [K_{отр}, K_{отс}]$.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в публикации рассмотрена процедура формирования стохастической составляющей минимально-допустимой дистанции сближения судов, которая зависит от погрешностей радиолокационных измерений и погрешностей определения параметров движения сближающихся судов. Получено аналитическое выражение для оценки значения стохастической составляющей минимально-допустимой дистанции сближения судов.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть преобразование граничных относительных курсов $K_{отр}$ и $K_{отс}$ в истинные курсы, воспользовавшись соотношениями между параметрами относительного и истинного движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Бинай Кумар Синх. Выбор предельно-допустимой дистанции кратчайшего сближения / Бинай Кумар Синх // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 38 – 42.
3. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
4. 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.
5. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
6. Булгаков А.Ю. Расчет изменения относительного курса в автоматизированных системах принятия решений / Булгаков А.Ю. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2013. № 4 . – С 111 - 114.
7. Пятаков Э.Н. Учет в автоматизированных системах принятия решений влияния изменения скорости судна на относительный курс / Пятаков Э.Н. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2013. № 4 . – С 140 - 144.

УДК 656.61.052.484

**IMITATION DESIGN OF PROCESS OF VESSELS' PASSING
BY IN THE CONGESTED WATERS****ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ В СТЕСНЕННЫХ ВОДАХ****Y.A. Petrichenko**, *senior lecturer***Е.А. Петриченко**, *старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

In the article the description of the computer program of imitation design of process of vessels' passing by is resulted by the maneuver of course change at presence of linear navigation danger in the area of vessels' maneuvering when linear navigation danger exists.

Keywords: safety of navigation, process of vessels' passing by, navigation dangers, imitation design.

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

Важнейшей проблемой повышения безопасности судовождения, особенно при плавании в стесненных водах, является снижение аварийности судов по причине столкновений. В этой ситуации при расчете параметров маневра расхождения требуется учитывать рядом находящиеся навигационные опасности. В этом случае маневр должен обеспечить не только безопасное расхождение, но и плавание судна без посадки на мель.

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

Различные ситуации сближения судов рассмотрены в работе [1], предложены маневры их расхождения.

В существующих работах [2-4] процесс расхождения судов в случае отсутствия навигационных опасностей достаточно подробно и корректно формализован, учет наличия навигационных опасностей в районе маневрирования судов рассмотрен лишь в работах [5, 6], однако в них отсутствуют экспериментальные данные, характеризующие уровень эффективности предлагаемого маневра расхождения. Поэтому для проверки корректности метода расхождения с учетом навигационных опасностей было проведено имитационное моделирование с помощью компьютерной программы.

Формулировка целей статьи

Данная статья посвящена разработанной программе имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом навигационных опасностей.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Для проверки корректности разработанного в диссертации способа выбора оптимального безопасного маневра расхождения судна с целью при наличии навигационных опасностей в районе маневрирования была разработана имитационная модель. Она представляет собой компьютерную программу, которая создана на базе разработанных алгоритмов, формализующих процесс расхождения судна в стесненных условиях.

Имитационная модель позволяет оценить потери ходового времени по заданному маневру расхождения; по выбранной начальной позиции, параметрам движения судна и цели, а также заданной линейной распределенной навигационной опасности произвести проверку существования непустого множества безопасных маневров расхождения; осуществить выбор оптимального маневра расхождения и проиграть его с индикацией текущих параметров процесса расхождения. Независимо производится оценка эффективности маневров расхождения при уклонении судна вправо и влево от программной траектории движения судна. Реализовано графическое представление областей допустимых маневров расхождения для уклонения судна в разные стороны. При этом производится расчет всех параметров маневра расхождения, при желании учитывается диаметр циркуляции судна.

Имитационная модель содержит три последовательных модуля. Первый модуль модели позволяет генерировать начальную ситуацию, включая начальные пеленг и дистанцию, параметры движения судна и цели, направление и положение линейной навигационной опасности. При этом формируется ситуация опасного сближения, когда дистанция кратчайшего сближения меньше ее предельно допустимого значения.

С помощью второго модуля производится проверка существования множества безопасных маневров расхождения при уклонении судна вправо и влево от программной траектории движения. Рассчитываются граничные значения параметров множества допустимых маневров расхождения, и индицируется правая и левая области допустимых маневров расхождения.

Проигрывание выбранных допустимых маневров расхождения с целью при наличии линейной распределенной навигационной опасности, а также индикация оптимального безопасного маневра расхождения обеспечивается третьим модулем модели. При этом индицируется текущее значение дистанции между судном и целью, а также для каждого из маневров приводятся рассчитанные потери пройденного расстояния.

На рис. 1 показан интерфейс программы формирования начальной

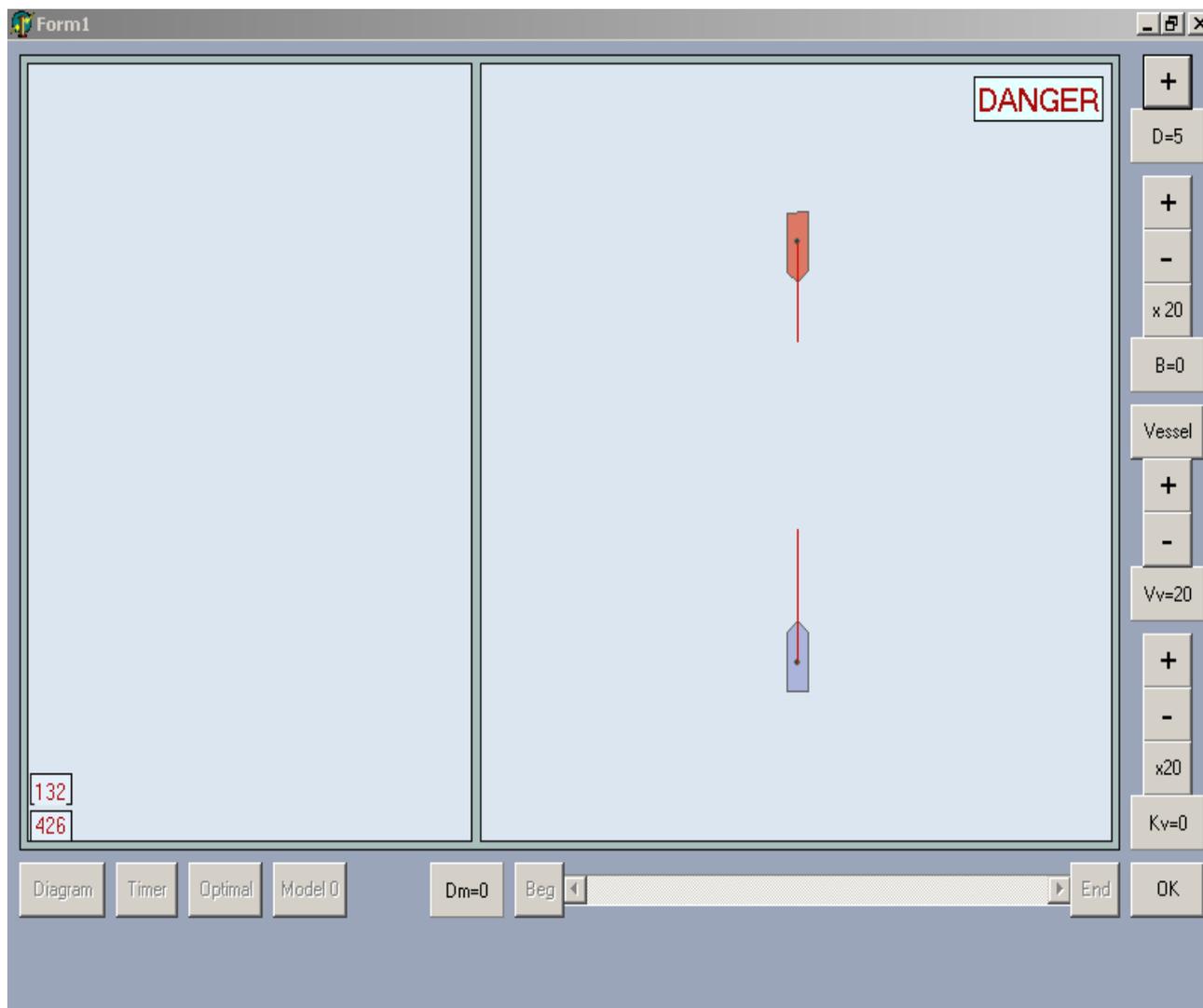


Рис. 1. Выбор начальной ситуации опасного сближения судна и цели

ситуации опасного сближения судна с целью. С помощью управляющих клавиш предусматривается ввод начальной дистанции D в пределах от одной до семи миль и произвольного значения пеленга B . Кнопкой «Target/ Vessel» переключается ввод скорости и курса судна или цели от 10 до 20 узлов и произвольного значения курса. При этом начальная позиция и параметры движения судна и цели отображаются с помощью компьютерной графики. Опасная начальная ситуация фиксируется с помощью появления сообщения «DANGER» в правом верхнем углу экрана.

Ввод линейной распределенной навигационной опасности (рис. 2) производится с помощью кнопок «Beg», «End» и линейки прокрутки, изменяющих ориентацию и позицию линии навигационной опасности.

Допустимая область безопасного плавания судна индицируется отрезком, ортогональным линии навигационной опасности.

После ввода исходных данных имитационная модель при нажатии клавиши «Diagram» выводит на экран допустимые области безопасных

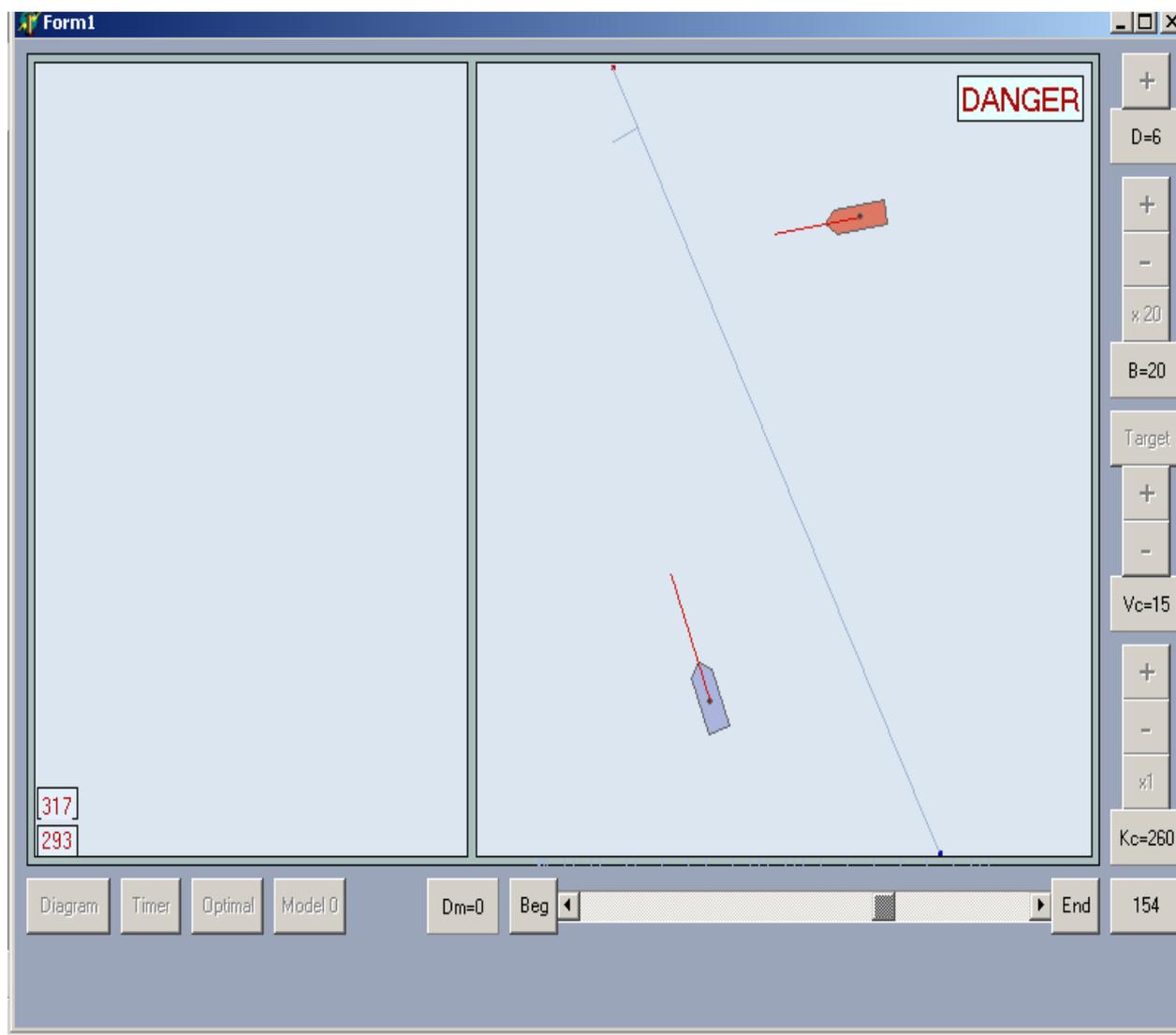


Рис. 2. Ввод параметров линейной навигационной опасности

маневров в системе координат курсов уклонения и выхода. На рис. 3 в левом верхнем углу экрана показана область допустимых маневров при уклонении судна вправо. Точки, соответствующие допустимым маневрам расхождения, окрашены в темный цвет. Как следует из рис. 3, при уклонении судна вправо область допустимых маневров состоит из двух небольших районов, что обусловлено наличием навигационной опасности. При маневрировании влево навигационная опасность не препятствует выбору маневра, и область допустимых маневров расхождения является непрерывной. Если в области допустимых маневров расхождения «кликнуть» на некоторой точке, то траектория соответствующего ей маневра расхождения отображается на графическом изображении ситуации. На рис. 3 показана траектория расхождения судна уклонением вправо. На экран также выводятся параметры выбранного маневра расхождения и соответствующие ему потери пройденного расстояния.

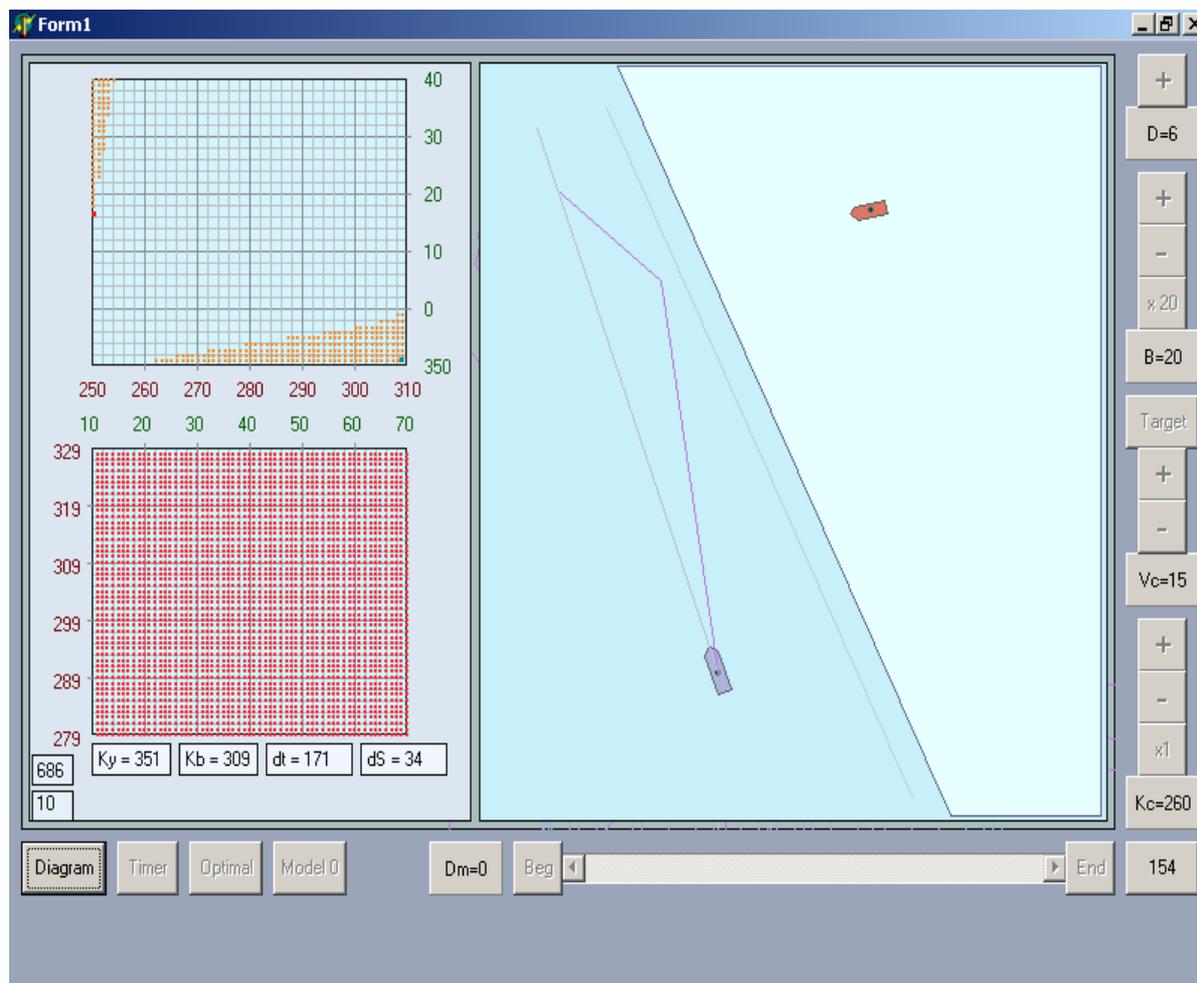


Рис. 3. Области допустимых маневров расхождения судна

В имитационной модели предусмотрено проигрывание выбранного маневра расхождения, для чего надо воспользоваться клавишей «Timer». При этом имитируется движение судна и цели с заданными параметрами движения, причем с целью (рис. 4) связан круг предельно допустимого радиуса для визуального контроля корректности процесса имитации. При проигрывании маневра расхождения выводится текущее значение дистанции между судами.

Для каждой начальной ситуации имитационной программой вычисляются параметры оптимального маневра расхождения, при котором достигается минимальное значение потерь ходового времени. При нажатии клавиши «Optimal» имитационная модель обеспечивает проигрывание оптимального маневра расхождения с индикацией его параметров, т.е. курса уклонения, времени начала поворота к программной траектории и курса выхода на программную траекторию. При проигрывании выбранного и оптимального маневров расхождения время начала уклонения выбирается равным нулю. С помощью клавиши «Model» выбирается инерционное или безинерционное движение судна в режиме проигрывания маневра расхождения.

В случае имитации инерционного движения судна используется кинематическая модель с постоянной угловой скоростью поворота. Поэтому временные поправки к началам поворотов судна (полученным по

безинерционной модели) рассчитываются для постоянного значения радиуса циркуляции судна.

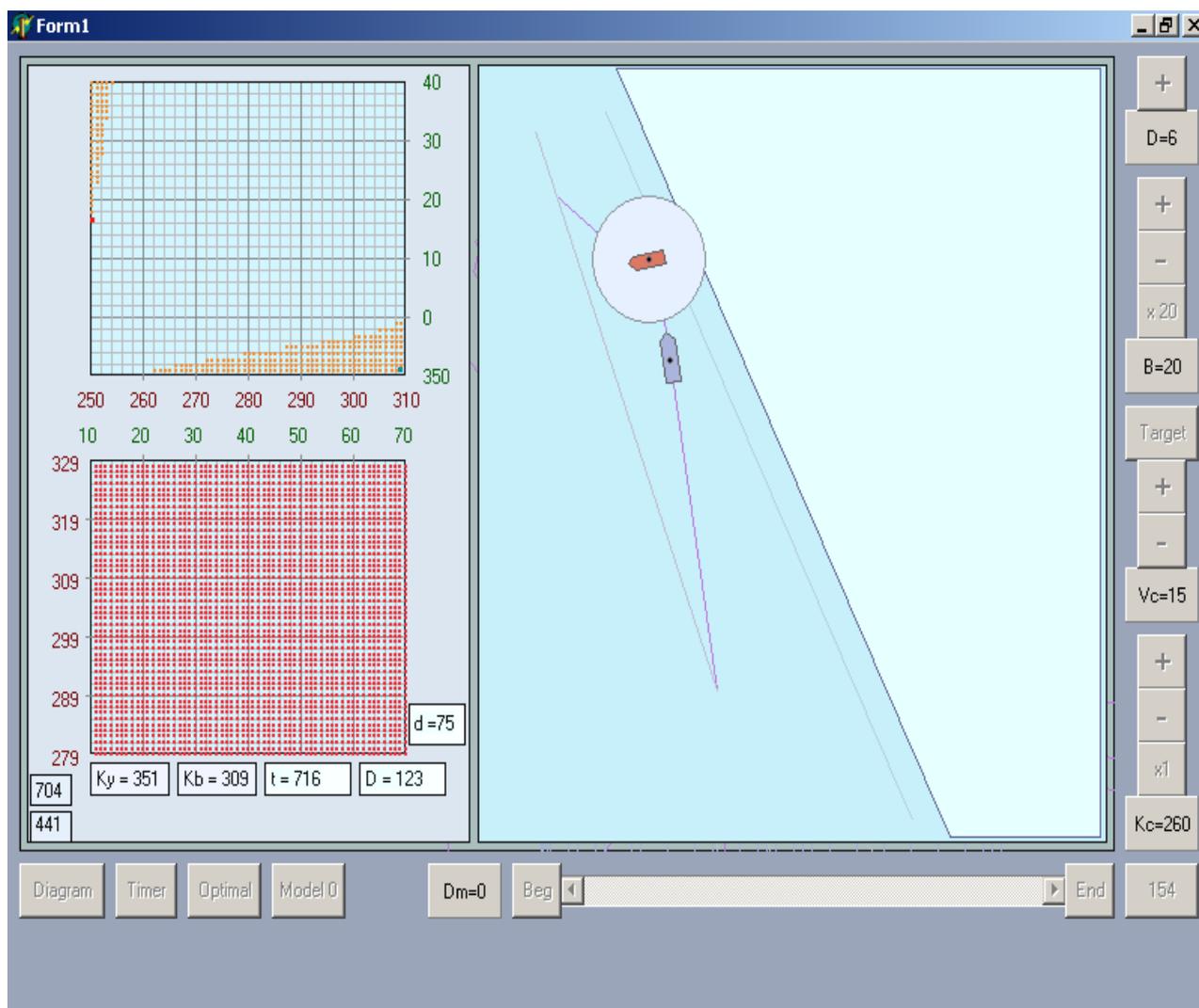


Рис. 4. Имитация процесса расхождения судна с целью

Рассмотренным образом организована структура имитационной модели, с помощью которой можно произвести оценку множества допустимых безопасных маневров расхождения, получить параметры оптимального маневра расхождения и в случае необходимости проиграть любой выбранный маневр с индикацией текущих значений процесса расхождения судна с целью в условиях наличия линейных распределенных навигационных опасностей в районе маневрирования.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, рассмотрена компьютерная имитационная модель процесса расхождения судов при наличии навигационных опасностей в районе их маневрирования. В дальнейшем целесообразно представить результаты имитационного моделирования процесса расхождения.

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 И.А., 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.

УДК 656.615

MODELING OF PARAMETERS OF THE VESSELS INFLUENCING DURATION OF THEIR CARGO HANDLING IN SERVICE ERGATIC SYSTEMS

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СУДОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ИХ ГРУЗОВОЙ ОБРАБОТКИ В СЕРВИСНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

I.M. Petrov, Ph. D., Professor ONMA, Deep Sea Captain

И.М. Петров, к.т.н., профессор ОНМА, к.д.п.

*National University "Odessa Maritime Academy"
Национальный университет «Одесская морская академия»*

ABSTRACT

In the work the materials concerning the solution of a problem of modeling the extent of influence of the selected vessel parameters on the duration of its cargo handling in port are stated. Models are developed by means of methods of regression - correlation analysis for two types of vessel – general cargo carriers and bulk carriers. Models are of high reliability and can be used for increase of efficiency of operational planning and management of the cargo terminal of seaport. Also they are informatively useful for drawing up the cargo plan of the vessel.

The bibliography - 10 sources, illustrations-2.

Keywords: service ergatic system, operator, correlation analysis, multiplicative and polynomial models, general cargo carriers, bulk carriers, vessel parameters, nomogram.

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

При решении ряда задач, связанных с оперативным планированием и управлением основной деятельностью грузовых терминалов морских портов, постоянно возникает необходимость в оценке продолжительности стояночного времени судна в порту под грузовой обработкой. Неопределенность возникает, например, в случаях отсутствия у капитана чартер –партии, где приведены валовые нормы обработки (что, к сожалению, часто соответствует сложившейся практике), либо в обычаях порта нормы погрузки-выгрузки слишком «размыты» и установлены для обширной номенклатуры грузов, в ряде других ситуаций. Хорошая практика морского агентирования предполагает, в том числе, добросовестное выполнение судовым агентом супервайзерских функций, связанных с подготовкой и контролем над производством грузовых работ, а также необходимостью в целях оперативного планирования

информировать принципала, оперативный персонал порта, клиентуры и других пользователей о т.н. ETD (Expected Time of Departure) судна [1]. Также, в большей части применительно к судам- универсалам, агенты, как правило, до постановки судна к причалу не имеют карго –план. Особенно это касается случаев, когда судно имеет на борту мелкопартионные грузы, перевозимые по большому числу коносаментов. Тогда для повышения эффективности планирования портом грузовых работ в части подготовки специализированных бригад, необходимой перегрузочной техники и технологической оснастки нужных типов и в нужном количестве, также возникает необходимость определения количества отсеков, в которых могут располагаться партии конкретных грузов.

Соответственно реалиям практики система грузовой обработки судна в порту более адекватно рассматривается как подсистема сервисной эргатической системы (далее – СЭС), где в качестве компонентов присутствуют операторы (морской агент, оперативный персонал грузового терминала, стивидоры, члены экипажа, занятые на грузовых работах) + судно с его грузовыми устройствами, а также портовая перегрузочная техника с ее технологической оснасткой.

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

Проблемы оперативного управления и совершенствования обработки грузовых судов отчетливо проявились, начиная с конца 50-х гг. прошлого столетия. Это было связано с бурным ростом флота, расширением рынков мировой торговли, появлением новых технологий перевозки и перегрузки грузов. Немаловажное значение стало отводиться стояночной составляющей, и в ее составе, грузовой обработке в портах. Требования практики вызвали появление научных работ, посвященных совершенствованию планирования и управления портовой деятельностью. Среди ученых, разрабатывавших эти вопросы, следует отметить А.И. Брюма, Л.Д. Ветренко, П.Д. Ковалева, М.М. Горбатого, Л.М. Гаськова, Ю.Л. Дмитриева, Л.О. Деревича, Г.В. Поплавского, В.З. Ананьину, Е.Н. Воевудского, А.Р. Магомадова, Г.П. Столярова, А.А. Малаксиано, М.Я. Поста, И.В. Морозову, Е.Д. Крушкина, П.А. Макушева и других. Вместе с тем, можно отметить, что известные процессы последних десятилетий в морской отрасли замедлили и снизили объемы теоретических исследований, а разработанные ранее модели в силу ряда причин морально устарели, так как основываются на малореальных для современной практики предпосылках, не учитывают принцип эргатичности, на самом деле, СЭС. Другие же, наоборот, остаются сложными для практического применения, так как требуют трудоемких расчетов.

Основным методом для моделирования параметров, влияющих на продолжительность грузовой обработки судна, и обоснованием управленческих решений в рамках сервисной СЭС, выбран метод корреляционного моделирования.

Корреляционный анализ зародился в работах европейских биологов и статистиков Жоржа Кювье и Фрэнсиса Гальтона (XVIII - XIX вв.). В дальнейшем разработка методов корреляции нашла отражение в трудах представителей британской школы К. Пирсона, Ф. Эджуорта, Р. Уэлдона, Ч. Спирмена, М. Кендалла, У. Гамильтона, российских математиков П.Л. Чебышева, А.А. Маркова, А.М. Ляпунова. В XX в. их разработки продолжили У. Госсет («Стьюдент»), Р. Фишер, Дж. Себер, Ю. Нейман, А. Вальд, Н. Дрейпер, Г. Смит, советские математики А.Н. Колмогоров, Л.В. Канторович, Н.В. Смирнов, В.И. Романовский, Е.Е. Слуцкий, В.В. Налимов, С.А. Айвазян, Л.Л. Терехов, позднее В.Е. Гмурман, Г.В. Суходольский, А.В. Прохоров, И.И. Елисеева, Р.А. Шмойлова, М.М. Юзбашев и другие.

Подтверждение возможности использования корреляционного моделирования при решении проблем, подобным решаемой, приведены в ряде научных работ и практических пособий, например, [2,3,4]. Особенно привлекательной является возможность его практического применения для аппроксимации статистических и табличнозаданных функций многофакторными полиномиальными и мультипликативными моделями, а также возможностями номографирования [5] полученных функциональных зависимостей для оперативного принятия операторами СЭС управленческих решений в реальном режиме времени. Таким образом, разработанность и применимость корреляционного моделирования позволяет использовать этот инструмент для решения обозначенных проблем настоящего исследования.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Цель работы состоит в моделировании влияния параметров судов на продолжительность их грузовой обработки в портах, а также на основе анализа полученных зависимостей разработки рекомендаций операторам СЭС по их применению.

Объект исследования: СЭС управления производственной деятельностью транспортного судна во время его грузовой обработки в порту.

Предмет исследования: Разработка и обоснование адекватности применения операторами СЭС корреляционных зависимостей, аналитических выражений и номографических построений с учетом технико – эксплуатационных характеристик обслуживаемых судов и их грузовых планов.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов

Настоящее исследование проведено на базе статистических данных, собранных автором за время его работы в Ильичевском морском агентстве «Инфлот» в 1993 – 2001 гг. В силу того, что под сервисное обслуживание «Инфлотом» попадали только суда 2-х типов – универсалы (сухогрузы) и балкеры, данное исследование распространяется на суда только этих двух типов. Заметим, что попытки выделить параметры и корреляционные зависимости предпринимались еще в 80-е годы XX в. [2,6], однако они базировались на технико-эксплуатационных характеристиках судов, построенных и эксплуатировавшихся в то время.

Вначале, на базе выдвинутой гипотезы, что время грузовой обработки судна определяется количеством технологических линий (ТЛ), которое необходимо для обработки судна за минимально короткое время, и их производительностью, были собраны статистические данные, на базе которых проведено собственно исследование. На наш взгляд, количество $TJN_{ТЛ}$, необходимых для обработки судна за минимально короткое время определяется такими параметрами судна (независимыми переменными, факторами), как: дедвейт судна Δ_w ; длина L и ширина B судна наибольшие; количество грузовых отсеков на судне N_0 ; количество грузовых отсеков, допускающих обработку судна двумя ТЛ N_{02} ; коэффициент трюмной неравномерности $k_{ТН}$.

В данном исследовании сложные функциональные связи между параметрами судна и определяющими их факторами аппроксимированы при помощи простых математических функций (мультипликативных и полиномиальных моделей первого порядка), удобных для выполнения практических расчетов и обеспечивающих в то же время их высокую точность. Возможность применения корреляционных моделей допустима при наличии достаточного количества наблюдений для изучения (их число должно не менее, чем в 5-6 раз превышать число факторов, также встречаются рекомендации использовать пропорцию, не менее, чем в 10 раз превышающую это число [3,4,7]). Так как в нашей работе число наблюдений превышает количество факторов в многие десятки раз, то согласно закону больших чисел, обеспечивается взаимопогашение случайных колебаний [4,7]. Подчиненность исходных факторных признаков нормальному закону распределения тестировалась на основе корреляционного поля, где четко прослеживалась линейная тенденция, что подтверждает возможность применения выбранного математического аппарата [4,7].

При проведении расчетов предлагается придерживаться следующей последовательности:

а) по статистическим, справочным и аналитическим методам и данным производится оценка исследуемых параметров и определяющих их факторов для рассматриваемых типов судов;

б) при помощи методов корреляционного и регрессионного анализа на основании полученной выборки рассчитывается математическая модель, аппроксимирующая связь между данным параметром и определяющими его факторами. При этом использовалась программа шагового регрессионного анализа, предусматривающая проверку исходной матрицы на сингулярность и исключение зависимых переменных [7,8].

При выполнении расчетов предполагалось, что все отсеки заполнены, груз распределяется по грузовым помещениям пропорционально их грузоподъемности (что на практике учитывается при помощи коэффициента соизмерения), что для выполнения грузовых операций с судами используются порталные краны, в первом случае с навешиваемыми на крюк грузозахватными приспособлениями (ГЗП) для генгрузов согласно утвержденной в порту технологии, для обработки балкеров – в грейферном варианте.

В результате расчетов получены следующие регрессионные модели:
для универсальных судов (сухогрузов)

$$N_{ТЛ} = 2,1395 + 0,0211L - 0,1756B + 0,5145N_o + 0,2798N_{o2} \quad (1)$$

$$N_{ТЛ} = 1,1599\Delta_w^{0,0932} L^{0,4121} B^{-0,7321} N_o^{0,6123} (N_{o2} + 1)^{0,2039} \quad (2)$$

для балкеров

$$N_{ТЛ} = 3,5323 + 0,0242L - 0,1589B + 0,4001N_{o2} \quad (3)$$

$$N_{ТЛ} = 0,7358L^{0,8438} B^{-0,8731} N_o^{0,3112} (N_{o2} + 1)^{0,2501} \quad (4)$$

Получив значения параметров $N_{ТЛ}$, время грузовой обработки судов оцениваем следующими выражениями [9,10]:

если выделенные грузовым терминалом ТЛ имеют одинаковую производительность Р

$$t_{ep} = \frac{Q_c}{N_{ТЛ} * P * 24} + t_{доп}, \text{сут} \quad (5)$$

если ТЛ имеют разную производительность P_i , то

$$t_{ep} = \frac{Q_c}{\sum_i P_i * N_{ТЛi} * 24} + t_{доп}, \text{сут} \quad (6)$$

В формулах (5) и (6)

Q_c – количество груза на судне;

$t_{доп}$ - дополнительное время стоянки судна под грузовыми операциями, учитывающее время $t_{пер}$ переводов кранов с одного трюма на другой $t_{пер}$, переоснащение крановых ГЗП, а при обработке балкеров – ввод и вывод трюмных машин

$$t_{доп} = \frac{t_{пер} * m}{N_{ТЛ} * 24}, \text{сут} \quad (7)$$

Иногда, как было сказано в начале, для возможности оперативного планирования работы грузового терминала по обработке судна до его постановки к причалу нужно определить количества отсеков, в которых может быть расположена партия груза конкретного наименования, $N_{оп}$. Путем сравнения справочных величин удельного погрузочного объема груза и удельной грузоподъемности судна все грузы были априори классифицированы как «тяжелые» и «легкие». В результате расчетов были получены такие уравнения регрессии:

для «тяжелых» грузов ($u \leq \omega$)

$$N_{оп} = 1,2999 + 1,0712 \frac{Q_{П}}{Q} + 0,2003N_{ПЗ} - 0,3998k_{mn} \quad (8)$$

для «легких» грузов ($u > \omega$)

$$N_{оп} = 0,1433 + 1,4213 \frac{V_{п}}{W} + 0,3111 N_{пз}, \quad (9)$$

где u - удельный погрузочный объем груза, м³/т;
 ω - удельная грузоподъемность судна, м³/т;
 Q_n - масса партии груза, т;
 \bar{Q} - средняя грузоподъемность одного отсека, т;
 $N_{пз}$ - количество портов захода;
 $V_{п}$ - объем партии груза, м³;
 \bar{W} - средняя вместимость одного отсека, м³.

В рамках проведенного в исследовании дисперсионного анализа полученных моделей для оценки их значимости использовалась F- статистика (критерий Фишера), расчетное значение которого находилось как отношение дисперсии исходного ряда наблюдений исследуемого показателя и несмещенной оценки дисперсии остаточной последовательности для данной модели. Как видно из табл. 1, поскольку $F_{расч} > F_{табл}$, полученные оценки моделей статистически надежны. Так как коэффициент множественной корреляции для всех моделей $R > 0,6$, то связи между результативными и наборами факторных показателей существенна [4,7,8].

Таблица 1 – Дисперсионный анализ полученных уравнений

№ уравнения	F- критерий расчетный	F- критерий табл. (99 %)	Коэффициент множественной корреляции R
1	481	3,32	0,79
2	695	3,02	0,87
3	79	3,79	0,78
4	198	3,32	0,88
8	166	3,79	0,72
9	93	4,61	0,69

Дисперсионный анализ уравнений (I) - (4), представленный в таблице, показал, что параметры $N_{ТЛ}$, рассчитанные по мультипликативным моделям, значительно более точны, чем параметры, определенные по полиномиальным моделям первого порядка [8]. Поэтому в практических расчетах рекомендуется использовать первый тип моделей.

Анализ моделей (8),(9), наоборот, выявил преимущество полиномиальных моделей первого порядка. Они рекомендуются для использования в практических расчетах, как более совершенные. Мультипликативные модели получились статистически менее значимые и в данной работе не приводятся.

Полученные модели достаточно просты и удобны для выполнения

расчетов с помощью простейших средств вычислительной техники, например, в среде MSExcel или с помощью пакета статистических программ, например, STATA под управлением основных операционных систем, а также для номографирования.

В целях упрощения процедур и замены вычислительной работы операторами СЭС по определению величины $N_{ог}$ простейшими геометрическими операциями на основании уравнений (8) и (9) построены и предлагаются для использования на практике номограммы, которые приведены на рис. 1 (для «тяжелых» грузов) и на рис. 2 (для «легких» грузов).

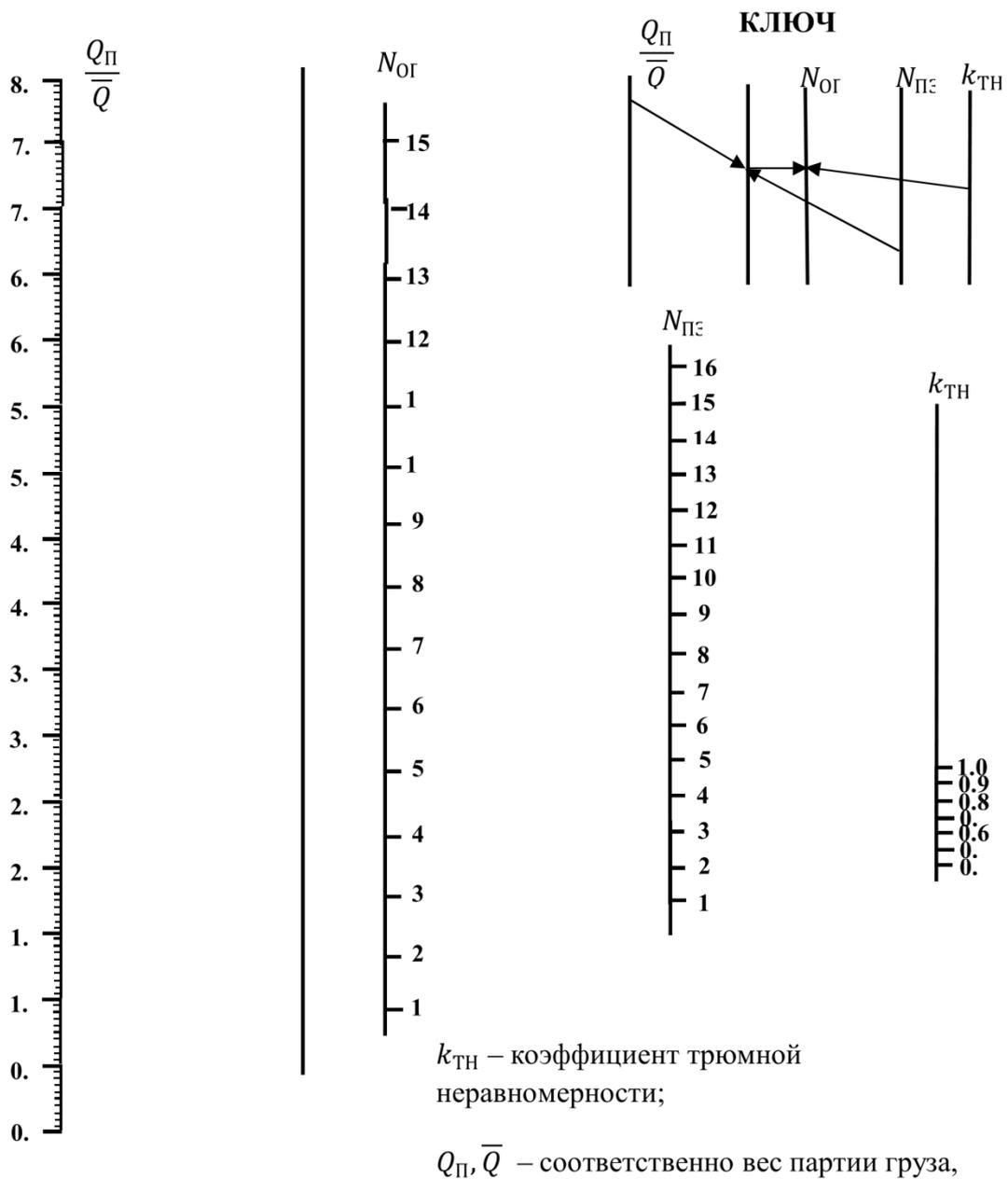
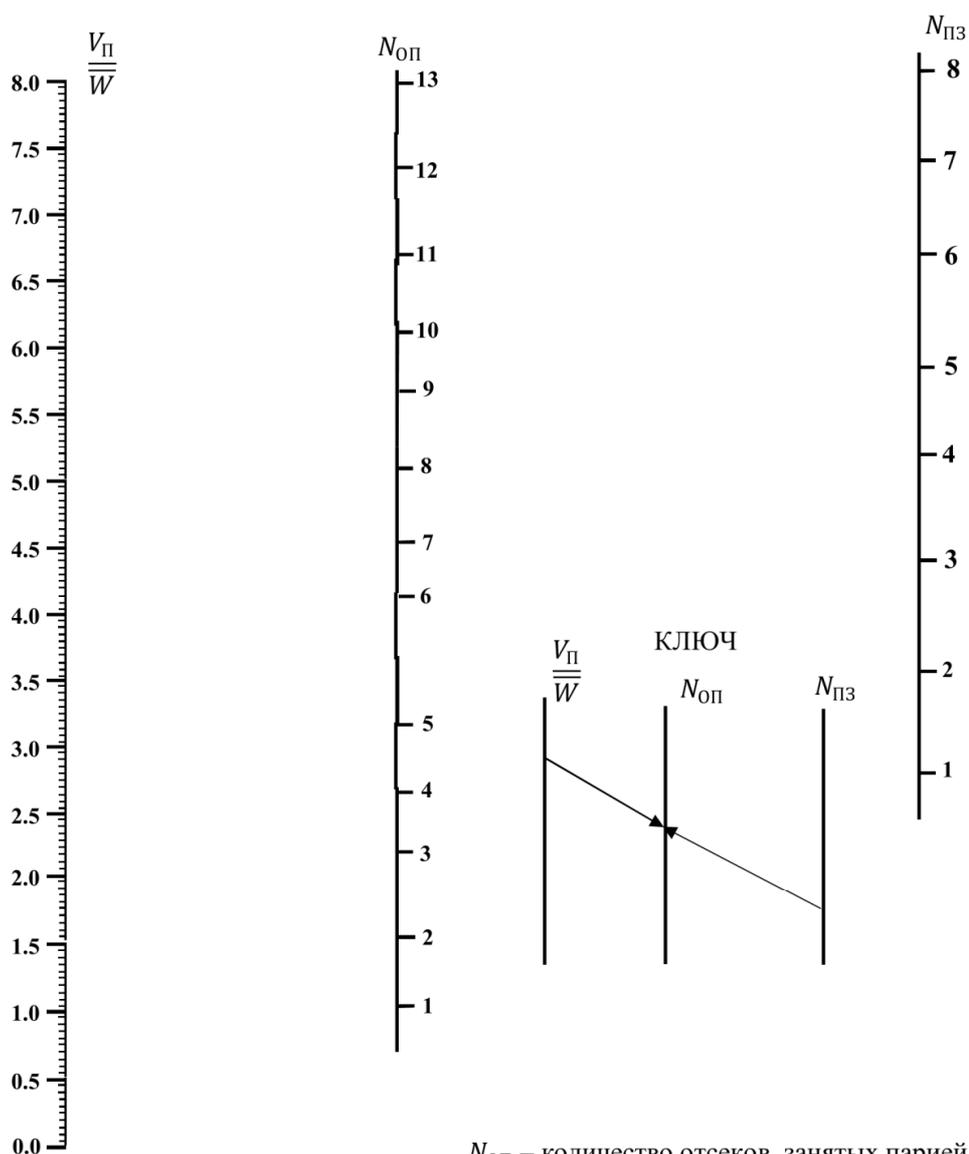


Рисунок 1 - Номограммы расчета количества отсеков на судне, занятых данной партией груза («тяжелый груз»)



$N_{\text{ОП}}$ – количество отсеков, занятых парией груза;

$N_{\text{ПЗ}}$ – количество портов захода;

$V_{\text{П}}, \bar{W}$ – соответственно объем, занимаемый партией груза, средняя вместимость отсека судна.

Рисунок 2 - Номограммы расчета количества отсеков на судне, занятых данной партией груза («легкий груз»)

Сравнение результатов расчетов параметров $N_{\text{ОП}}$, полученных аналитическим путем и по предлагаемым номограммам, показала достаточную точность последних в рамках поставленной задачи.

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению

1. В процессе выполнения исследования были получены наиболее общие теоретические результаты, имеющие непосредственное значение для оптимального оперативного планирования работы грузового терминала по обработке транспортных судов.

2. Для оперативного планирования обработки судов в портах целесообразно использовать полученные и приведенные модели (2), (4), (8), (9). Точность оценок, получаемых при помощи этих моделей, несколько снижается в случае, если груз имеется не во всех отсеках судна и принцип пропорционального распределения груза по грузовым помещениям не соблюден. Тогда при расчетах вместо независимых переменных Δ_w , L , N_0 , N_{o2} , $k_{т.н.}$ следует соответственно использовать показатели: количество груза на судне; суммарная длина загруженных отсеков; количество загруженных отсеков; количество отсеков с грузом, допускающее их обработку двумя ТЛ; коэффициент неравномерности загрузки отсеков.

3. Выполненный анализ соответствия точности полученных моделей реальным условиям практики позволяет сделать вывод, что эти модели обладают достаточной предсказательной силой и могут быть использованы для повышения эффективности оперативного планирования и управления работой грузового терминала морского порта, став удобным инструментом для операторов СЭС в оценивании продолжительности грузовой обработки сухогрузов и балкеров в отечественных портах. Также они служат информативным подспорьем в процессе разработки плана выгрузки судна в импорте и составлении грузового плана (в экспортном направлении) в рамках СЭС.

4. Можно предположить, что благодаря весьма высокой точности разработанной методики в сочетании с простотой ознакомления, овладение ею приведет к ее широкому распространению в среде операторов СЭС, занятых грузовой обработкой транспортных средств в морских портах.

5. Полученные модели могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс студентов и курсантов морских учебных заведений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров И.М. Организационные и коммерческие взаимоотношения морского агента: [учебн. пособие] / И.М. Петров. – Севастополь: УМИ, 2007. – 131 с.
2. Воевудский Е.Н. Приложение корреляционных (регрессионных) моделей на морском транспорте: [учебн. пособие] / Е.Н. Воевудский. - М.: ЦРИА «Морфлот», 1980. – 96 с.
3. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия): [учебн. пособие] / В.Б. Шашков. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. – 363 с.
4. Айвазян С.А. Статистическое исследование зависимостей / С.А. Айвазян. – М.: Металлургия, 1988. – 326 с.
5. Мартынова О.Г. Основы номографии / О.Г. Мартынова, И.А. Надыршина. - Уфа: Уфимский гос. авиац. техн. ун-т. – 2010. – 179 с.
6. Малаксиано А. А. Метод оценки параметров судна / А.А. Малаксиано, И.М. Петров // Проблемы экономики и управления морским транспортом. – Одесса: ОИИМФ, В/О «Мортехинформреклама», 1988. – С. 41 - 45.

7. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе веществ / В.В. Налимов. – М.: Физматгиз, 1976. – 284 с.
8. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ в 2-х кн. / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М.: Финансы и статистика, 1986. — 366 с.
8. Винников В.В. Экономика морского транспорта (экономика морских перевозок): [учебник] / В.В. Винников. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Феникс, 2011. – 944 с.
9. Фролов А.С. Организация, планирование и технология перегрузочных работ в морских портах: [учебник для высш. учеб. завед. ММФ] / А.С. Фролов, П.В. Кузьмин, А.В. Степанец. – М.: Транспорт, 1979. – 408 с.

УДК656.61.052

WORLD FLEET INCIDENTS STATISTICS 2005-2015**АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ МИРОВОГО ФЛОТА 2005-2015****О. Pipchenko, PhD, captain****А.Д. Пипченко, ктн, кдп***National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine**Национальный университет «Одесская Морская Академия», Украина***ABSTRACT**

Ship casualty statistics and analysis for 2005-2015 are given in this paper. Total ship losses are analysed by the type of vessel and incident in conjunction with the main causes. Losses' relative values with regard to the world's fleet distribution are obtained. It is concluded that the top risk categories are small and medium sized cargo vessels as well as fishing vessels. Top casualties categories are machinery breakdowns and navigational incidents such as groundings, standings and collisions.

Keywords: ships casualties, world fleet distribution, incident, ship loss.

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

Объемы перевозок, количество и тоннаж мирового флота в последнее десятилетие продолжало увеличиваться. Помимо международной торговли также стремительно развивался морской энергетический сектор, как в области разведки, глубоководного бурения, добычи газа и нефти так и построения альтернативных источников энергии таких как ветровые генераторы.

Интенсификация человеческой активности в море и усложнение операций, связанное с увеличением количества и размеров судов, ведет за собой к соответственному увеличению рисков, относящихся к этим операциям.

Несмотря на это, статистика аварийности мирового флота показывает позитивную тенденцию в сторону общего уменьшения потерь.

Влияющими на уменьшение аварийности факторами явились, как технологический прогресс, наблюдающийся во всех областях морской индустрии так и регулятивные меры ИМО (Международной Морской Организации), в значительной степени повлиявшие в последние десятилетия как на качество подготовки специалистов, так и на улучшение культуры безопасности в судоходных компаниях в целом.

Однако, неуклонный рост мирового населения и его потребностей, ставит перед мировым сообществом новые вызовы. Современные судоходные компании в области политики безопасности основной целью определяют «Goal Zero», то есть нулевое количество аварийных случаев. К тому же все большее внимание уделяется повышению эффективности работы флота. Естественно,

как только становится вопрос о повышении эффективности, возникает конфликт, связанный с соблюдением соответствующего уровня безопасности.

С целью разработки эффективных мер повышения и контроля безопасности на флоте, необходимо понимать основные закономерности возникновения аварийных ситуаций.

Устанавливать и изучать эти закономерности нам позволяет статистика аварийности.

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

На сегодняшний день основной объем информации об аварийности судов мирового флота доступен в виде электронных публикаций на веб-страницах соответствующих организаций.

Так статистические данные для территориальных вод и судов предоставляют Австралия [2], Япония [5], Великобритания [6], Норвегия [7], Дания [8], Канада [11] и другие.

Данные для европейских вод можно найти на странице EMSA (European Maritime Safety Agency) [4].

Статистические данные для мирового флота предоставляют независимые эксперты и страховые компании [1, 1].

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью данной работы явился анализ аварийности мирового флота за последние десятилетие с целью выявления наиболее важных направлений дальнейшего повышения безопасности на морском флоте.

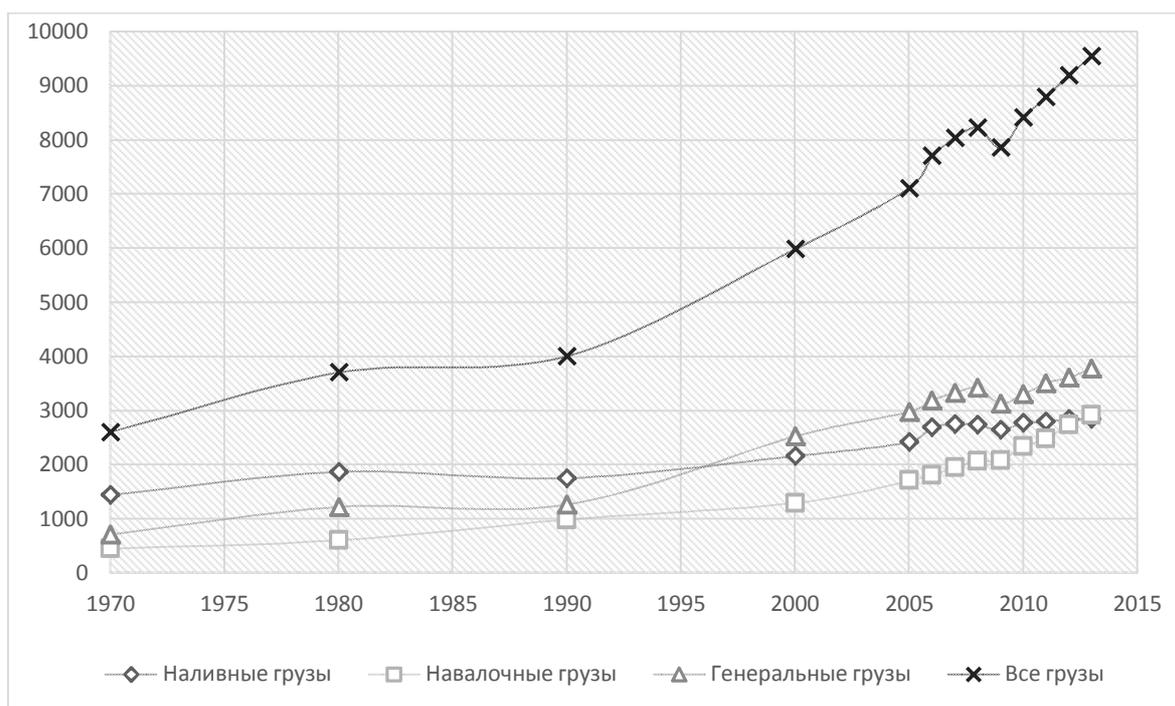


Рис. 1. Международные морские перевозки, млн тон

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

1. Динамика изменения состава мирового флота

Для того, чтобы адекватно оценить аварийность мирового флота в первую очередь важно определить динамику изменения количества флота и его тоннажа, а также интенсивность судоходства. Это связано с тем, что наиболее корректно оценивать изменения в аварийности флота следует по относительным величинам. То есть по количеству аварий относительно количества и типов судов.

Согласно данным UNCTAD [12] объемы перевозок морем с 1970 по 2013гг. выросли в почти 3.7 раза с 2 605 млн тон до 9548 млн тон (рис. 1).

Наиболее полную информацию об изменениях в составе и количества мирового флота можно получить из отчетов EQUASIS [10].

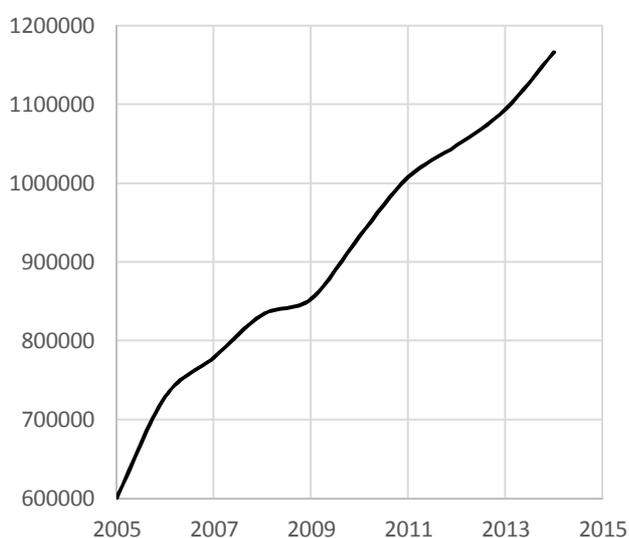


Рис. 2. Тоннаж мирового флота, тыс. тон

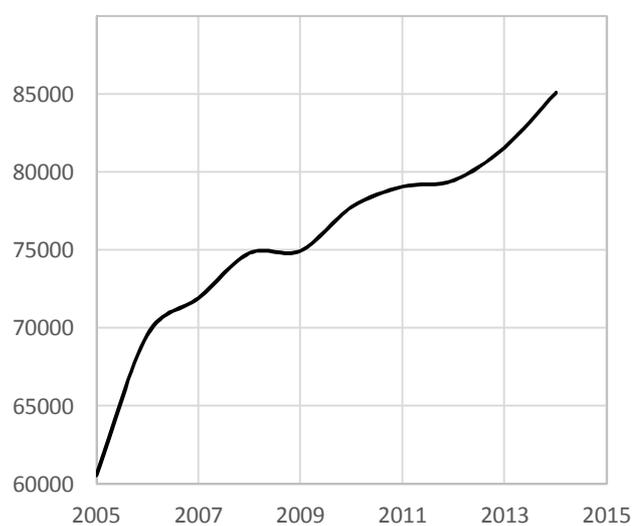


Рис. 3. Количество судов мирового флота

Так по графикам на рисунках 2 и 3 видно, что тоннаж мирового флота за последнее десятилетие вырос практически в два раза, а количество судов – на 40%.

Судамалогоисреднегоразмера (до 25 000 рт) преобладаютпоколичеству и составляют 81% флота. Приэтоммалыесуда (36%) составляюттолько 1%отобщеготоннажафлота.

Буксиры (19.6%), универсальныесуда (19.1%), наливныетанкера (14.5%) ибалкера (12.9%) – наиболее распространенные категории судов, большинство из которых малого и среднего размеров.

Средикрупнотоннажныхсудовпреобладаютбалкера(30.7%), танкера (29.5%) и контейнеровозы (22.9%). При этом, крупнотоннажные суда составляют примерно 80% от мирового тоннажа. Также наблюдается стабильная тенденция укрупнения флота.

На рисунках 4 и 5 отображено распределение мирового флота по типам судов. Можно отметить уменьшение доли универсальных сухогрузных судов. При этом буксирный флот вырос в полтора раза, а офшорный – в два раза.

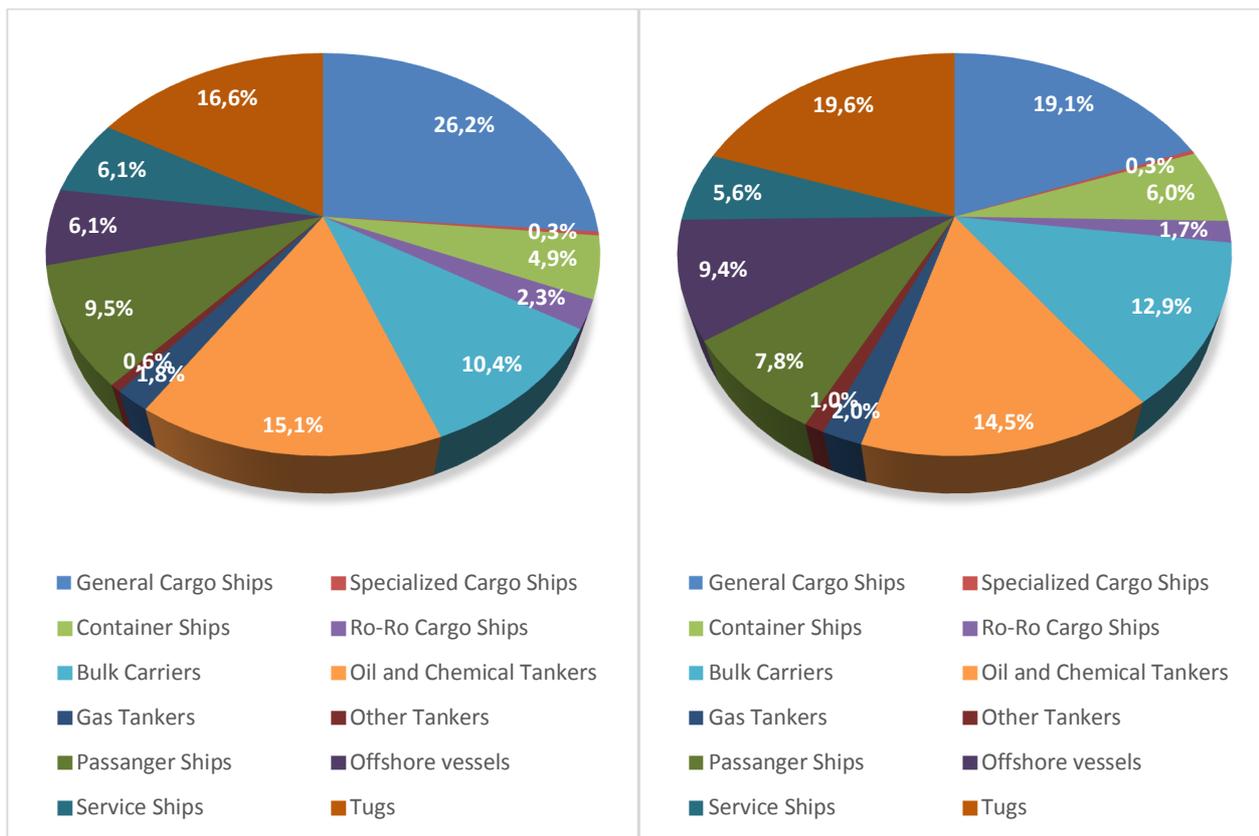


Рис. 4. Распределение судов, 2005

Рис. 5. Распределение судов, 2014

2. Потери мирового флота

Поданным Allianz Global Corporate & Specialty [1] с 2006 по 2015 гг. мировой флот потерял 1231 судно. Что составляет 1.4% от общего количества мирового флота. Интересно отметить, что согласно модели треугольника Хайнриха, примерно на 600 предаварийный случаев (nearmiss) приходится одна мелкая авария, а на 400 мелких аварий - одна крупная[13]. Таким образом, можно судить о масштабах аварийности и происходящих инцидентов в целом.

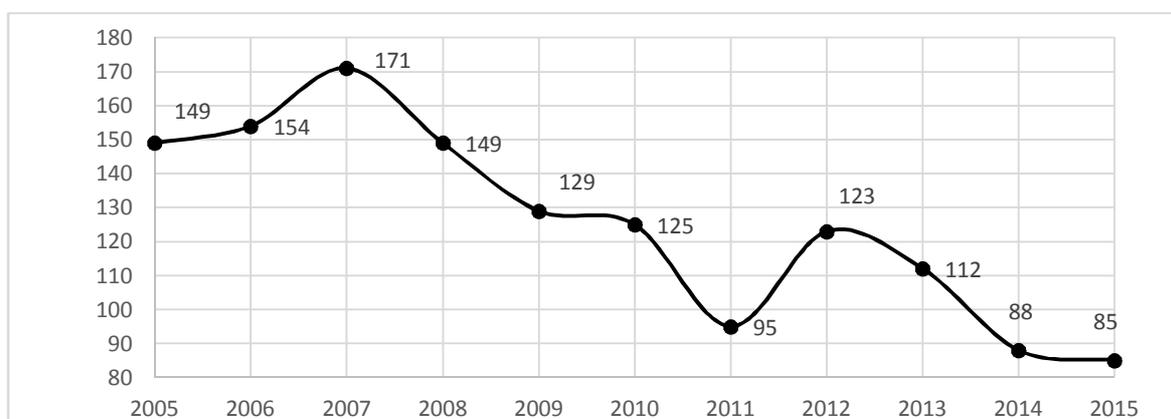


Рис. 6. Потери судов мирового флота

Наблюдается общая тенденция уменьшения аварийности, как по абсолютным, так и по относительным показателям. Если в 2005 году потери судов составили 0,25% от мирового флота, то в 2015 – 0,1%.

Из распределения потерь судов по типам (табл. 1) видно, что на первом месте по абсолютному количеству аварий находятся универсальные сухогрузные суда, а на втором - рыболовные. Это суда, как правило малого тоннажа и очень часто представляющие часть субстандартного судоходства.

Распределение потерь судов по типам

Тип	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Всего
Cargo	56	61	70	58	51	60	37	61	41	31	36	562
Container	5	4	3	2	4	5	3	6	4	4	5	45
Ro-ro	10	10	5	8	6	1	3	4	2	5	4	58
Bulk	8	8	12	8	10	11	14	9	15	4	6	105
Tanker	2	2	1	3	2	3	3	1		1		18
Chem/Prod	10	11	6	7	9	5	2	8	10	2	2	72
LPG/LNP				1		1	1	1				4
Passenger	12	12	8	4	5	3	7	7	8	10	4	80
Offshore	3	3	5	1	3	2	2	3	2	3	2	29
Tug	8	7	11	7	5	7	2	6	7	7	7	74
Dredger	2	3	2	5	2	2	2	1	1			20
Fishery	23	23	34	36	29	21	14	12	13	15	16	236
Barge	7	6	6	3		1			3	1		27
Other	2	3	7	5	5	3	5	3	6	4	2	45
Unknown	1	1	1	1					1			5
Всего	149	154	171	149	131	125	95	122	113	87	84	1380

Для более корректной оценки аварийности по типам судов, следует получить относительное число аварий. Результат перегруппировки данных EQUASIS [10] и AGCS [1, 2], показан на рис. 7.

EQUASIS не ведет статистику рыболовных судов, поэтому из данного расчета они были исключены, хотя по количеству потерь их доля является одной из самых больших.

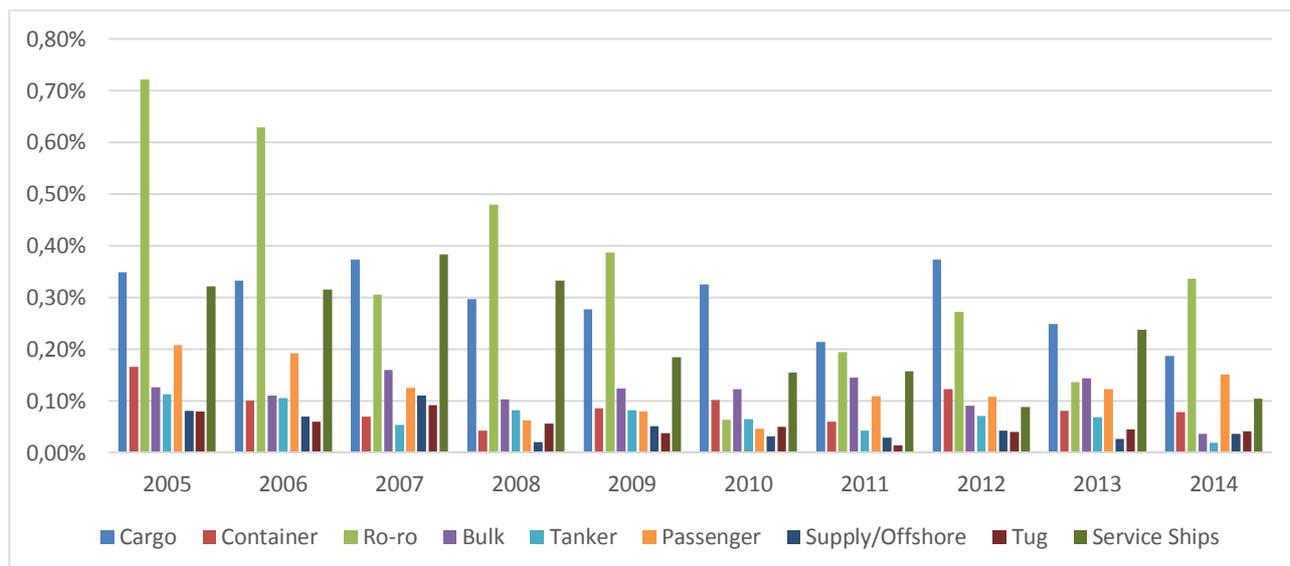


Рис. 7. Относительные потери судов мирового флота

Распределение относительных потерь судов по типам 2005-2014

Ро-Ро	Сухогрузы	Тех. флот	Балкера	Пассажиры	Контейнеровозы	Танкера	Офшор	Буксиры
0.35%	0.30%	0.23%	0.12%	0.12%	0.09%	0.07%	0.05%	0.05%

Среди всех остальных на первом месте по потерям – ро-ро: в среднем за 2005-2014 гг. - 0.35% от общего количества судов данного типа. Далее – сухогрузы (0.3%). Меньше всего потерь среди буксиров и оффшорных судов (0.05%).

Причины потерь судов распределились следующим образом: на первом месте - затопление (50%), затем – посадка на мель (20%), пожар (10%) и столкновение (7%).

Распределение потерь судов по видам аварий

Вид аварии	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Всего
Затопление	64	69	73	61	64	45	55	70	50	63	614
Посадка на мель	29	35	34	23	23	28	26	21	18	12	249
Пожар/взрыв	19	18	16	14	11	8	13	15	6	3	123
Столкновение	23	17	12	13	10	3	5	2	2	3	90
Отказ механизмов	11	14	8	7	4	6	15	2	5	2	74
Повреждение корпуса	4	11	4	7	4	3	6	1	4	2	46
Другое	1	3	1	2	6	1	1	1		2	18
Навал	2	2	1	1			2		1		9
Пиратство		1		1	2	1					5
Пропажа	1	1			1						3
Всего	154	171	149	129	125	95	123	112	86	87	1231

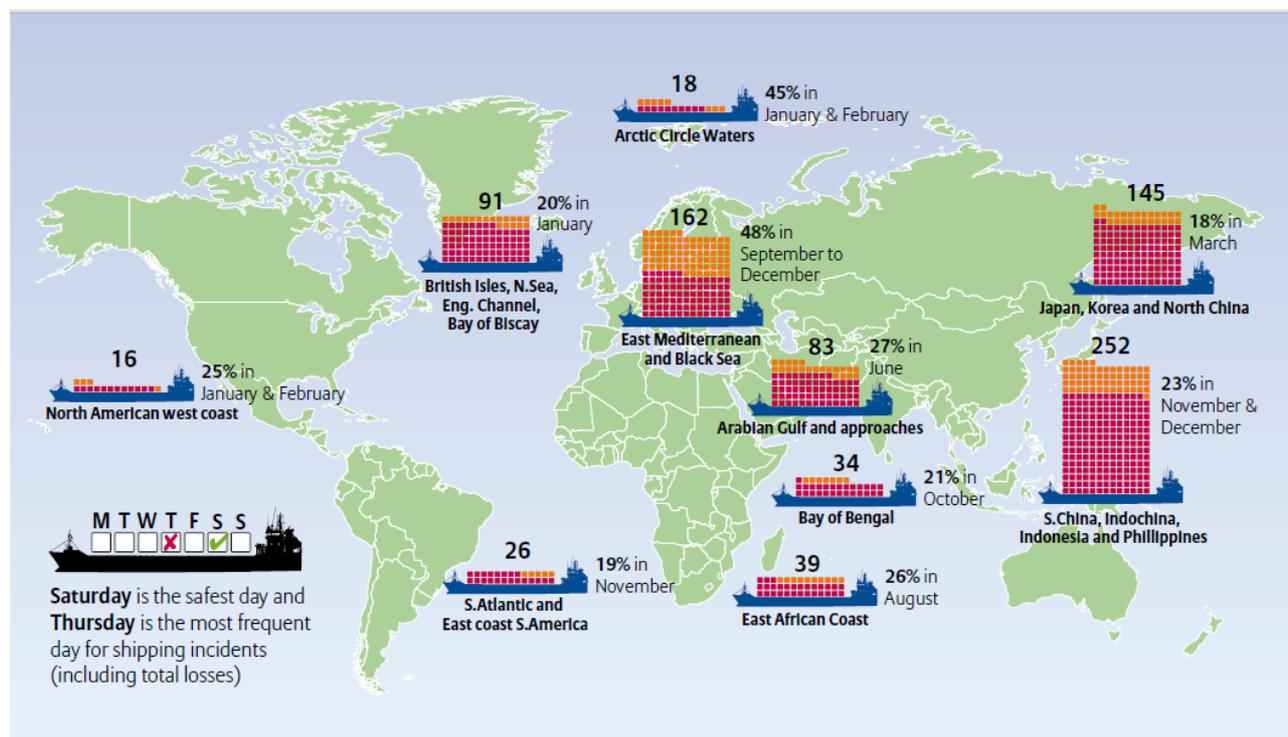


Рис. 8. Потери судов по регионам, 2006-2015 гг.

Наиболее аварийными регионами (рис. 8) являются Юго-Восточная Азия (20%) и район Восточного Средиземноморья и Черного моря (13%).

С позиции повышения безопасности наиболее важной является не столько статистика аварийности, сколько статистика причин, приведших к авариям. Полезной информацией в этом отношении являются отчеты, издаваемые ежегодно Европейским Агентством Морской Безопасности (EMSA) [4].

Так с 2011 по 2014 гг. зафиксировано 6254 аварии, связанных с судами под европейскими флагами или в европейских водах. Из них 178 (3%) классифицированы как очень серьезные, 1193 (19%) – серьезные, 3662 (58.5%) – менее серьезные, 1221 (19.5%) – морские инциденты.

Согласно EMSA:

- очень серьезная авария означает полную потерю судна, смертельный случай или значительное загрязнение;
- серьезная авария – это авария, которая не является очень серьезной, явившаяся результатом посадки на мель, пожара, столкновения и других повреждений либо загрязнения окружающей среды;
- менее серьезная авария – это авария, которая не попадает под две предыдущие категории;
- морской инцидент – действия или ситуация, которые могли бы привести к аварии.

По виду все аварии распределились, как показано на рисунке 9. В общем случае аварии навигационного характера представляют собой большинство, среди которых выделяются столкновения и посадки на мель. Технические

отказы оборудования, ведущие к потере управления и другим авариям, в последнее время также являются достаточно частыми [1, 14].

Основными причинами возникновения аварийных ситуаций согласно расследованиям EMSA являются: ошибочные действия операторов(67%), отказы оборудования (24%), опасные вещества (4%), погодные условия (3%), третья сторона (3%).



Рис. 9. Распределение аварий за 2011-2014 гг. согласно данным EMSA

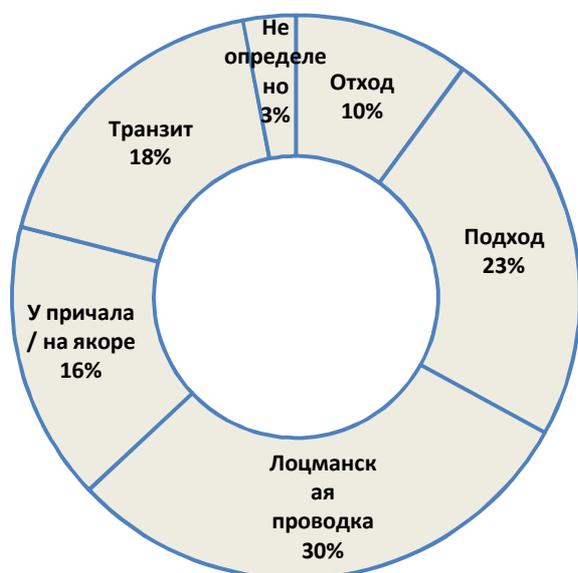


Рис. 10. Распределение по стадиям перехода

При этом 63% аварий произошли в стесненных условиях (рис. 10).

Несмотря на позитивные тенденции уровня аварийности, перед современным судоходством стоит множество рисков и вызовов.

Помимо полной потери судов с 2006 по 2015 в мире произошло 25434 аварии, связанных с судами [1]. Из них 7820 (31%) связаны с поломками и отказами механизмов, 3961(16%) столкновения и 3930 (15%) посадки на мель.

Участились случаи потери управляемости в виду отказа двигателей. Причинами этому, по мнению специалистов, является резкий переход на топливо с низким содержанием серы, а также переход на «условное техобслуживание» (condition-based maintenance). В первом случае присадки добавляемые в топливо при переработке негативно влияют на состояние двигателя. Во втором случае

переход от обслуживания по часам наработки на условное обслуживание требует высокого уровня квалификации специалистов и передового диагностического оборудования для своевременного определения и устранения неполадок.

Укрупнение флота в свою очередь, ведет к тому, что единичная авария крупнотоннажного судна ведет к значительным потерям. Так, по оценкам AGCS [1], потеря контейнеровоза грузоместимостью 19000TEU может обойтись в 1 миллиард долларов США.

Погодные условия, также являются важным фактором, влияющим на безопасность судоходства. Так в 2015 году в результате штормовой погоды затонуло 4 судна вместимостью более 30 000 рт.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Статистика аварийности судов мирового флота за 2006-2015 года показывает, что наиболее распространённой причиной потери судов является затопление, составляющее половину от общего количества аварий. Далее потери судов распределились следующим образом: посадка на мель (20%), пожар (10%) и столкновение (7%). При этом, согласно данным EMSA потери судов составляют всего 3% от общего количества аварий. В 2015 году мировой флот потерял 0.1% судов в результате аварий. Среди инцидентов, ведущих к материальным убыткам, 31% связаны с поломками и отказами механизмов, 16% - столкновения и 15% - посадки на мель. Наиболее аварийными на сегодняшний день являются универсальные и рыболовные суда. Среди причин, приведших к авариям в 67% случаев согласно EMSA – ошибочные действия операторов.

Данная работа позволяет проследить общие тенденции аварийности мирового флота. Однако, для дальнейших исследований, направленных на повышение безопасности судоходства, следует произвести более детальный анализ, позволяющий установить, как непосредственные, так и второстепенные причины возникновения аварий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allianz Global Corporate&Specialty. Safety and Shipping Review 2016. <http://www.agcs.allianz.com/>
2. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2013. <http://www.agcs.allianz.com/>
3. Australian Shipping Occurrence Statistics 2005 to 2012. <https://www.atsb.gov.au/>
4. EMSA. Annual overview of marine casualties and incidents 2015. <http://www.emsa.europa.eu>
5. Japan Transport Safety Board. <http://www.mlit.go.jp/jtsb/marrep.html>
6. Marine Accident Investigation Branch. <https://www.gov.uk/>

7. Norwegian Maritime Authority Accident Statistics. <https://www.sjofartsdir.no>
8. The Danish Maritime Accident Investigation Board. <http://www.dmaib.com/>
9. The Mariners' Alerting and Reporting Scheme (MARS). Nautical Institute. <http://www.nautinst.org/en/forums/mars/>
10. The world merchant fleet in 2005-2014. Statistics from Equasis. www.equasis.org
11. Transportation Safety Board of Canada. <http://www.tsb.gc.ca/eng/stats/marine/>
12. Review of Maritime Transport. UNCTAD, 2014 – 136 p.
13. Bernard Borg. Predictive safety from near miss and hazard reporting / Signal Safety and Training, 2002 – 18 p.
14. Risk focus: loss of power / UK P&I Club, 2012 - 12 p.

УДК 656.61.052

**REFINEMENT OF AN ULTRA LARGE CONTAINER VESSEL
MATHEMATICAL MODEL BASED ON THE SPEED TRIALS
RESULTS****УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХОДКОСТИ
КОНТЕЙНЕРОВОЗА КЛАССА ULCS ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИСПЫТАНИЙ**

О. Pipchenko¹, PhD, captain, S. Koranskiy², SDPO, V. Shevchenko¹, PhD
А.Д. Пипченко¹, ктн, кдп, С. В. Копанский², SDPO, В. А. Шевченко¹, ктн

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

²*MUTAVI, UAE*

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

²*MUTAVI, ОАЭ*

ABSTRACT

To represent vessel's speed manoeuvre dynamics one degree of freedom model for longitudinal motion was built and compared versus sea trial data. Due to certain ambiguity in process of coefficients calculation, which caused by use of generic formulas usually applied to a wide range of ships, big discrepancies between estimation and trial results were observed. To minimize that discrepancies numerical optimization techniques has been used. Model coefficients were refined applying Nelder-Mead's method, which provided satisfactory accuracy of simulated data.

Keywords: vessel maneuvering, mathematical model, ultra large container vessel, sea trials, numerical optimization.

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

На сегодняшний день все более актуальной становится проблема моделирования движения контейнеровозов особо крупного размера (более 10 000 TEU) с целью применения их на симуляторах и при расчетах безопасности судоходных путей. Это связано с увеличением количества аварийных случаев именно с судами такого типа. В свою очередь экономические потери, связанные с инцидентами особо крупных контейнеровозов, имеют колоссальный масштаб.

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

Моделированию движения 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.

Разделение уравнений движения по различным осям является наиболее целесообразным методом моделирования. Различные виды общей системы управления судном отображены в работах [1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17].

Наибольшей проблемой при разработке модели, как правило, является определение ее коэффициентов. В основном, без данных эксперимента, коэффициенты модели можно определить по обобщенным формулам, что не всегда позволяет получить результат удовлетворительной точности.

Поэтому для последующего уточнения модели прибегают к методам численной оптимизации [12, 16]. Однако корректировка модели сразу по всем степеням свободы может негативно отразиться на качестве результатов. Более эффективным является поэтапная корректировка, когда в первую очередь уточняется модель ходкости, а затем вся система уравнений полностью.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

В данной работе авторы решили сфокусироваться на ходкости особо крупного контейнеровоза и определить коэффициенты модели, наиболее точно отображающие его характеристики разгона и торможения.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

3. Структура модели ходкости судна

Уравнение продольного движения судна, можно выразить следующим образом [1, 4, 6, 8, 10]:

$$(m + m_x) \dot{u}_G = X \quad (1)$$

где m – водоизмещение судна; m_x, m_y – присоединенные массы, u_G – продольная составляющая поступательной скорости; X – гидродинамическая сила, действующая на судно в продольном направлении.

В развернутом виде продольную гидродинамическую силу представим, как:

$$X = X_H + X_R + X_P, \quad (2)$$

где H – корпус; R – руль; P – винт.

Перо руля влияет на скорость судна, когда находится в ненулевом положении, и в данном случае учитываться не будет.

4. Силы и моменты, действующие на корпус

Сила сопротивления воды X_H выражается следующим образом:

$$X_H = X_0'(U) \cdot \left(\frac{\rho}{2} L d U^2 \right), \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, X_0' – коэффициент силы сопротивления, действующей в продольном направлении, L – длина судна между перпендикулярами, d – средняя осадка судна, U – скорость судна.

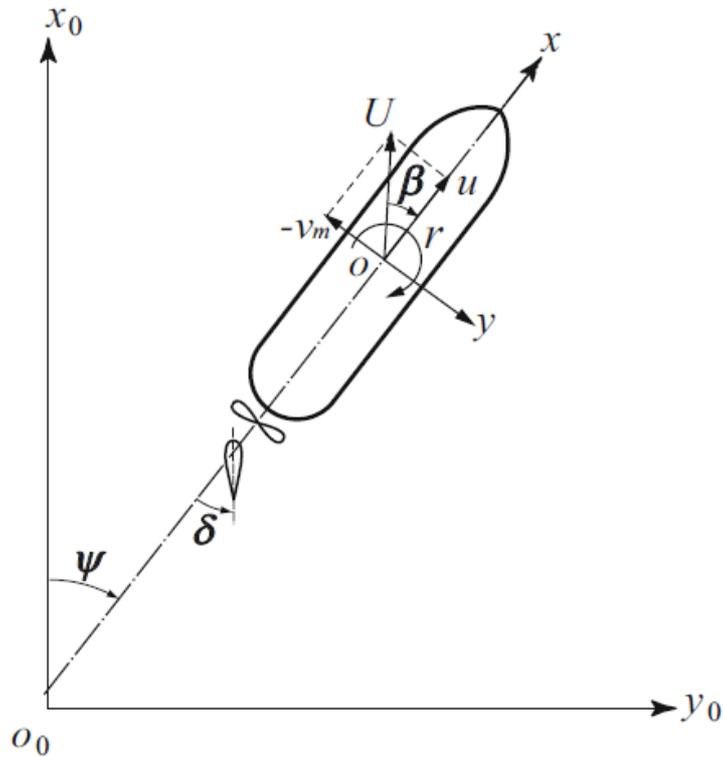


Рис. 1. Системы координат для моделирования движения судна

Силу упора, создаваемую винтом, можно рассчитать по формуле:

$$X_p = (1 - t_p) \cdot T; \quad (4)$$

$$T = \rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^4 \cdot K_T(J_p); \quad (5)$$

$$K_T(J_p) = k_0 + k_1 \cdot J_p + k_2 \cdot J_p^2 + k_3 \cdot J_p^3; \quad (6)$$

$$J_p = \frac{u(1 - w_p)}{n_p D_p}, \quad (7)$$

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, k_{0-3} – коэффициенты, аппроксимируемые по результатам испытаний.

Коэффициенты уравнений (3) и (4) могут быть определены согласно методикам приведенным в [1, 2, 6-13, 15, 17] либо могут взяты из базы данных для судна с пропорциональным размерами.

5. Моделирование и последующая корректировка по результатам испытаний

Типовыми маневрами при испытаниях ходкости судов являются разгон, активное и пассивное торможение. Эти данные возьмём из отчета о ходовых испытаниях контейнеровоза Maersk Sirac, 2015 года постройки, вместимостью 10 000 TEU. В таблице 1 приведены основные параметры данного судна.

Maersk Sirac – сведения о судне

Параметр	Значение
Длина наибольшая, м	300
Длина между перпендикулярами, L , м	287
Ширина судна, 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

Непосредственно для расчетов уравнение поступательного движения по оси X можно выразить следующим образом:

$$\dot{u} = \frac{(1-t_p) \cdot \rho \cdot n_p^2 \cdot D_P^4 \cdot K_T(J_P) + \frac{1}{2} X_0 \cdot \rho \cdot L \cdot d \cdot U^2}{m + m_x}. \quad (8)$$

Коэффициент $X_0 = -0.014$ в данном случае, взят из расчетов сопротивления судна [7]. Важно отметить, что отсутствие достоверного значения X_0 значительно увеличивает неопределённость при уточнении других коэффициентов. При отсутствии экспериментального значения X_0 применяются методы расчета сопротивления на тихой воде такие как [3].

Коэффициенты t_p и w_p можно определить по приближенным формулам:

$$t_p = 0.325 \cdot C_b - \frac{0.1885 \cdot D_P}{\sqrt{B \cdot d}};$$

$$w_p = 0.5 C_b - 0.05.$$

Коэффициенты при J_P аппроксимируются по имеющимся данным испытаний винтов. В нашем случае, эти данные отсутствуют и в первом приближении в результате расчетов зависимости скорости судна от оборотов винта получается результат, отображенный на рис.2-4.

При этом, если обратить внимание на формулы коэффициентов упора K_T и скольжения J_P , при задании отрицательных оборотов, коэффициент упора может обрести неправильное значение. Это связано с тем, что скольжение будет отрицательным при положительной скорости, и, соответственно, составляющие уравнения (2) будут вычитаться из коэффициента k_0 .

Для корректного отображения маневра на задний ход формулы (5) и (7) необходимо представить в виде:

$$T = \rho \cdot D_p^4 \cdot K_T(J_P) \cdot n_p \cdot |n_p|; \quad (9)$$

$$J_P = \left| \frac{u(1-w_P)}{n_p D_p} \right|. \quad (10)$$

После подбора коэффициентов уравнения (6) методом Нелдера-Мида результат расчетов практически совпадает с экспериментом, среднее отклонение от которого составляет 0.26 узла. Целевая функция, использованная при оптимизации, имеет вид:

$$Z = \frac{\sum_{n=1}^N |U_{Tn} - U_{Sn}|}{N}, \quad (11)$$

где U_T – скорость, измеренная при испытаниях, U_S – скорость, полученная в результате симуляции.

Однако последующий расчет манёвров активного и инерционного торможения не дают удовлетворительного результата. Это связано с тем, что оптимизационная программа корректирует только коэффициент k_0 , а остальные коэффициенты уменьшает практически до нуля. Это в свою очередь исключает эффект скольжения винта из модели. Поэтому для корректной оптимизации при расчете целевой функции необходимо учитывать сразу три маневра: разгон, инерционное торможение и активное торможение.

С учетом выше изложенного целевая функция (11) примет вид:

$$Z = w_1 \frac{\sum_{n=1}^N |U_{Tn} - U_{Sn}|}{N} + w_2 \frac{\sum_{n=1}^N |U_{CSTn} - U_{CSSn}|}{N} + w_3 \frac{\sum_{n=1}^N |U_{ISTn} - U_{ISSn}|}{N} + w_4 \frac{\sum_{n=1}^N |D_{CSTn} - D_{CSSn}|}{N} + w_5 \frac{\sum_{n=1}^N |D_{ISTn} - D_{ISSn}|}{N}, \quad (12)$$

где D – пройденная дистанция, w – весовой коэффициент, индекс CS – активное торможение, IS – инерционное торможение.

Так как погрешности дистанции и скорости имеют разные порядки, их необходимо приводить к одному порядку при помощи весовых коэффициентов. В данном случае $w = [1 \ 1 \ 1 \ 0.001 \ 0.001]$.

В результате повторной оптимизации уточняются коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 , что позволяет получить результат удовлетворительной точности, отображенный на рис. 2-4 и в таблице 2.

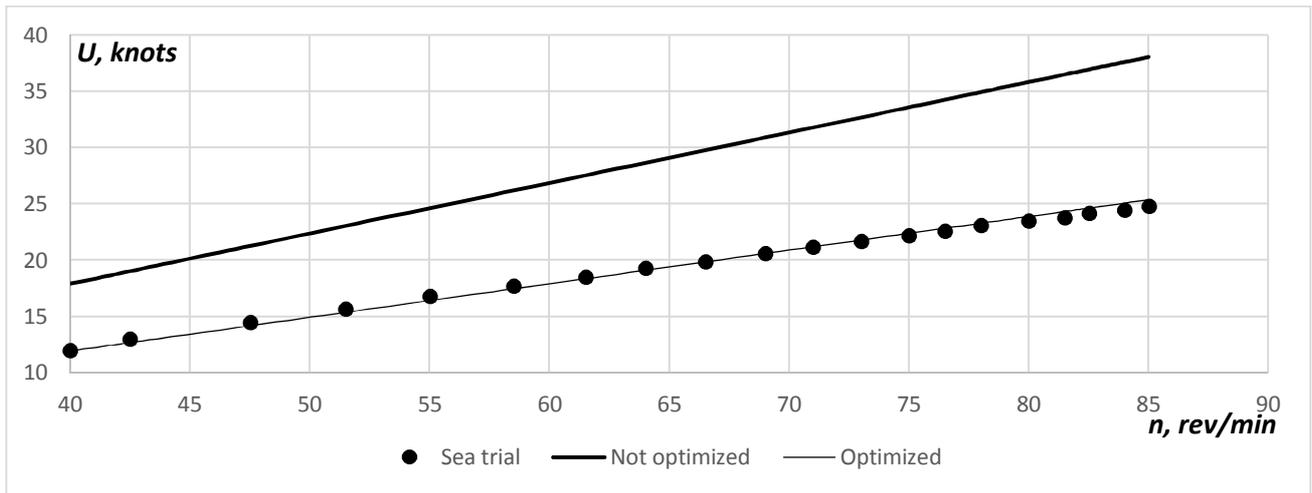


Рис. 2. Зависимость скорости от оборотов

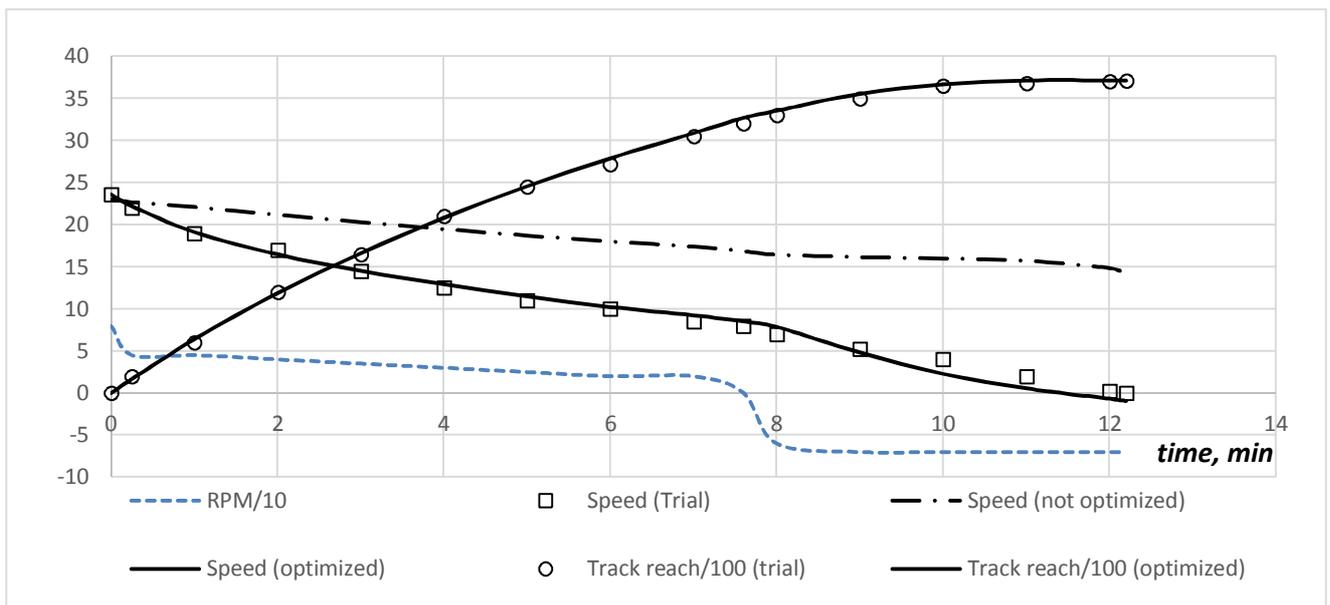


Рис. 3. Кривые активного торможения

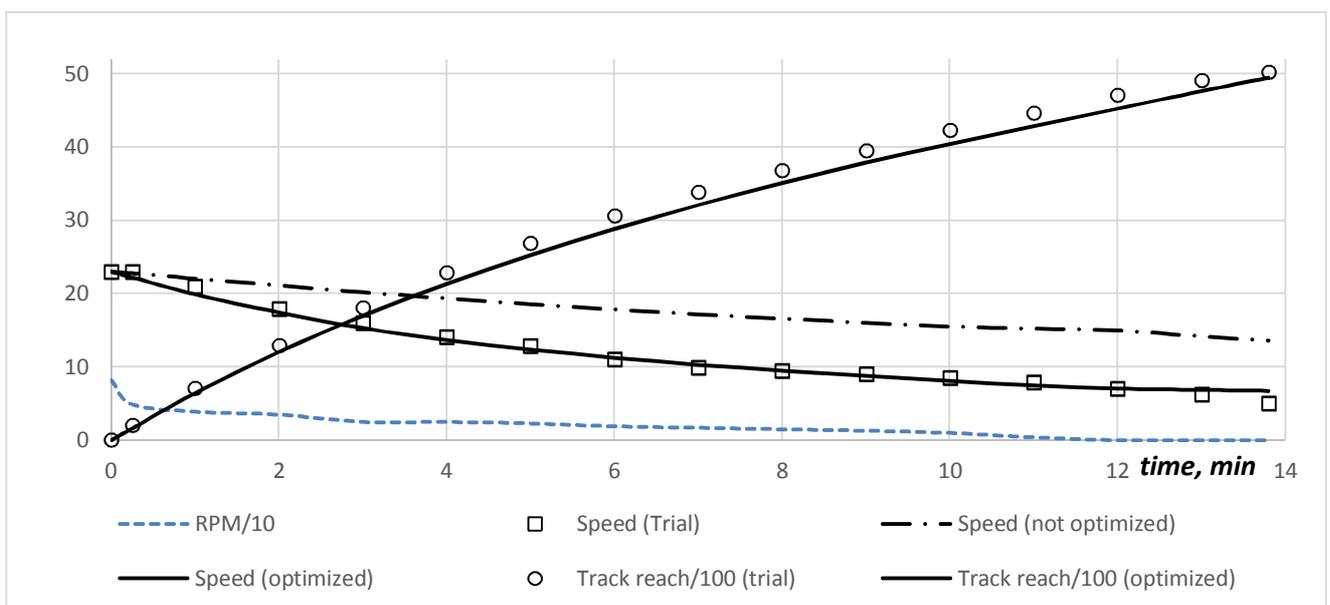


Рис. 4. Кривые пассивного торможения

Результаты корректировки математической модели

Параметр				Значение			
Среднее отклонение скорости при разгоне, Δ_U				0.26 узла			
Среднее отклонение скорости при активном торможении, Δ_{UCS}				0.59 узла			
Среднее отклонение скорости при инерционном торможении, Δ_{UIS}				0.50 узла			
Относительная погрешность расчета дистанции активного торможения, Δ_{DCS}				0.04 % / 1.0 м			
Относительная погрешность расчета дистанции инерционного торможения, Δ_{DIS}				1.5 % / 77.1 м			
Коэффициенты до корректировки				Коэффициенты после корректировки			
k_0	k_1	k_2	k_3	k_0	k_1	k_2	k_3
0.16	-0.068	0.074	0.022	0.06104	0.8632	-1.0901	0.067

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В статье представлена методика корректировки модели ходкости особо крупного контейнеровоза (более 10 000 TEU) по данным испытаний. Предложена целевая функция, позволяющая получить оптимальный результат с применением метода симплексного поиска Нелдера-Мида.

В таком виде модель ходкости, может быть далее интегрирована в общую модель маневрирования судна. Соответственно, аналогичная корректировка коэффициентов должна быть произведена и для общей модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. ABS Guide for Vessel Maneuverability, 2006
2. 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.
3. Holtrop J. An Approximate Power Prediction Method / Holtrop J., Mennen G. // International Shipbuilding Progress, 29, 335, 1982, pp. 166–170.
4. 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.
5. 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
6. 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.

7. MAERSK SIRAC – Sea Trial results. Hyundai Heavy Industries. 2015. – 15 p.
8. Perez T. Mathematical Ship Modeling for Control Applications. (Technical Report) / T. Perez, M. Blanke–DTU Technical University of Denmark, 2003. – 22 p.
9. The Manouvering Committee. Final Report and Recommendations to the 24th ITTC, 2005. – 62 p.
10. 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.
11. Басин А.М. Гидродинамика судов на мелководье / А.М.Басин, И.О.Веледницкий, А.Б. Ляховицкий. – Л.: Судостроение, 1976.– 215с.
12. Вагущенко А. Л. Улучшение модели движения судна по результатам маневренных испытаний / Вагущенко А. Л., Вагущенко Л. Л. // *Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 12.* – Одесса: «ИздатИнформ», 2006 - С. 31-36.
13. 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.
14. Гофман А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник / А. Д. Гофман– Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.
15. Першиц Р. Я. Управляемость и управление судном. – Л.: Судостроение, 1983, 272 с.
16. Пипченко А. Д. Уточнение математической модели движения судна // *Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 10.* – Одесса: «ИздатИнформ», 2005 - С. 97-105.
17. Справочник по теории корабля. В трех томах / [под ред. Я.И. Войткунского] – Л.: Судостроение, 1985.

УДК: 371.15+629.5.072.8+811.111

DEVELOPING FUTURE NAVIGATORS' PROFESSIONAL SKILLS ON THE BASIS OF THE READ ENGLISH SAILING DIRECTIONS**РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ БУДУЩИХ СУДОВОДИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОЧИТАННЫХ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ЛОЦИЙ***N. N. Primina, English Teacher at the English Language Chair***Н. Н. Примина, преподаватель кафедры английского языка***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна***ABSTRACT**

The article discloses the problem of teaching future navigators how to read the sailing directions in English and how to fulfill operational activities on their basis. The system of exercises is presented. The main attention in this article is given to the group of operational exercises on the basis of which future navigators' professional skills are developed. The illustrations of the exercises suggested by the author are brought to light.

Key words: reading, sailing directions, operational activities, future navigators, foreign language.

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

Перед судоводителем на судне стоит множество разнообразных задач. Основную из них можно сформулировать так: точно, безопасно, в установленные сроки провести судно по заранее выбранному, наивыгоднейшему и наиболее безопасному пути.

Чтобы правильно выбрать и наметить безопасный путь судна, судоводитель должен уметь хорошо читать карту. Для этого надо твердо усвоить все обозначения, знаки и сокращения, нанесенные на карту. Хорошо изучив район плавания судоводитель во время рейса будет быстро и безошибочно находить те пункты и ориентиры на карте, которые он наблюдает на местности с судна.

Одним из пособий, в которых содержатся сведения навигационного и гидрометеорологического характера, являются лоции, чье основное назначение состоит в том, чтобы дать судоводителю рекомендации о выборе курса при плавании в описываемом районе, осветить местные условия плавания, средства навигационного оборудования, фарватеры, помочь опознать географические пункты на местности, дать сведения и особые рекомендации по прохождению, следованию судна, которые нельзя получить из морской карты [6]. Сегодня все

лоции излагаются на едином международном английском языке, что и создает необходимость в изучении профессионального английского языка, который поможет будущим судоводителям читать, понимать и выполнять производственные действия на иностранном языке.

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

Проблемы обучения английскому языку курсантов судоводительской специальности изучались такими учеными, как: И. П. Пенина, И. С. Емельянова (1981), В.Ф. Сидорченко, Л.В. Сидорченко (1983), В. Ф. Тенищева (1984), Б.П. Бичаев, В.М. Зеленин, Л.И. Новик (1986), В. А. Леонтьев (1987), Ю. А. Песков, Л. С. Шверова (1987), И. В. Драгомирецкий (1988), И. Беляев (1989), Е. А. Нужная (1989), Е. В. Цибульская (1995), В. Н. Зыкова (2002).

Сегодня появляется все больше диссертаций, посвященных различным аспектам языковой подготовки морских специалистов: С.В.Козак (2001) [1], М. З. Шишло (2002) [7], М. В. Кулакова (2006) [2], О. И. Литикова (2009) [3], I. Ю. Литвиненко (2015) [4], У. И. Ляшенко (2016) [5]. Все авторы диссертаций утверждают, что владение английским языком, в частности морским английским, является профессионально значимым умением судоводителей. Однако за рамками исследований вышеперечисленных авторов остаются проблемы обучения чтению англоязычной профессиональной аутентичной документации, а именно лоций.

Формулирование целей статьи

Цель статьи: разработать алгоритм методических действий по развитию умений будущих судоводителей читать, понимать и выполнять производственные действия на иностранном языке.

Изложение материала исследования

Любая методика обучения, в том числе и методика обучения чтению аутентичных англоязычных лоций, представляет собой педагогический процесс, который включает в себя модель обучения, алгоритм методических действий и систему упражнений по достижению выдвинутых целей обучения. Предлагаемая экспериментальная система упражнений является восьмиблочной. При этом, каждый блок упражнений направлен на развитие умений читать лоции по одной из следующих тем: «Огни», «Буи и знаки», «Опасности», «Якорные стоянки», «Приливы и течения», «Наставления», «Портовые правила» и тут же выполнять производственные задания в соответствии с каждой из них. Однако, невзирая на содержательную и методическую самостоятельность каждой темы, а отсюда и каждого блока упражнений, соответствующего ей, они между собой взаимосвязаны. Эта зависимость обусловлена прежде всего естественной потребностью судоводителей одновременно воспринимать информацию по содержанию

многих тем. Именно этот факт предопределил методическую взаимосвязь всех блоков упражнений между собой.

Каждый блок представляет собой достижение трех целей обучения, первой - по приобретению знаний изолированной лексики по каждой из тем; второй - по формированию навыков употребления словосочетаний и предложений по этой же теме; третьей - по развитию читательских и соответствующих им производственных умений.

Рассмотрим детально группу упражнений, которые направлены на развитие читательских и соответствующих им производственных умений будущих судоводителей. Для достижения этой цели предлагается выполнение следующих упражнений: предречевых, речевых и интегрированных. Приведем пример упражнений по изучению темы «Навигационные огни».

Упражнение 1: предречевое, рецептивное. Цель: Научить читать аббревиатуры в форме соответствующих словосочетаний. Инструкция: Прочитайте аббревиатуры и расшифруйте их.

1. Fl. (2) 4 sec 14m 15 M – A group-flashing light (2 flashes in a group), the period is 4 seconds, the elvation is 14 metres, the distance of visibility is 15 miles.

2. Iso.G. 4sec 50f 7 M – An isophase light, green color, the period is 4 seconds, the elevation is 50 feet, the distance of visibility is 7 miles.

3. Alt. RG 8 sec 44m 7/5 M – An alternating light of red and green colours, the period is 8 seconds, the elevation is 44 metres, the distance of visibility is 7-5 miles.

4. LFl. 6 sec 30f 15 M – A long flashing light, the period is 6 seconds, the elevation is 30 feet, the distance of visibility is 15 miles.

5. Oc. (4) 6 sec 13 m 11 M – An occulting light (4 eclipses in a group), the period is 6 seconds, the elevation is 13 feet, the distance of visibility is 11 miles.

6. Q(4) 2 sec 24f 13 M – A quick flashing light (4 flashes in a group), the period is 2 seconds, the elvation is 24 feet, the distance of visibility is 13 miles.

Упражнение 2: предречевое, репродуктивное. Цель: Научить описывать огни с опорой на аббревиатуры. Инструкция: Опишите огни с опорой на аббревиатуры.

1. Fl. (3) 5 sec 28m 10 M

4. Iso.G 6 sec 45f 6 M

2. Alt. WR 6 sec 34m 8/6 M

5. LFl. 3 sec 35f 11 M

3. Oc. (2) 2 sec 12 m 12 M

6. Q(3) 3 sec 48f 9 M

Упражнение 3: речевое, рецептивно-продуктивное. Цель: Научить описывать значения всех изученных огней. Инструкция: Прочитайте характеристики следующих огней и опишите их значения: 1. A quick white light, 2. flashes in a group, 3. a red flashing light, 4. a very quick light, 5. flashes in a group, followed by a long flashing light, 6. a flashing white light, 7. a yellow flashing light.

Упражнение 4: интегрированное, рецептивное. Цель: Научить понимать суть производственного поведения в зависимости от указанных огней. Инструкция: Прочитайте описание производственных действий судоводителя в зависимости от указанных огней.

1. If you see a continuous very quick flashing light, it means that you should pass the danger marked by this light from the Northern side.

2. If you observe a quick white light, 3 flashes in a group, it means that you should pass the danger marked by this light from the Eastern side.
3. If you see a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light, you should pass the danger marked by this light from the Southern side.
4. If you notice a flashing white light, 2 flashes in a group, you should not approach it.
5. If you see red lights in a line, they indicate the port side of the channel when you go through it.
6. If you see green lights in a line, they indicate the starboard sides of the fairway.

Упражнение 5: интегрированное, продуктивное. Цель: Научить выполнять производственное задание, исходя из информации об огнях. Инструкция: Объясните: как вы проведете судно, если: **Например:** 1) *You see a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light.* - *If I see a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light, I will pass this light from the southern side.*

1. You notice a yellow flashing light;
2. You observe a quick white light, 3 flashes in a group;
3. You see a quick white light, 9 flashes in a group;
4. You notice a flashing white light, 2 flashes in a group;
6. You see red and green lights on your port and the starboard sides.

Упражнение 6: интегрированное, производственное. Цель: Научить выполнять производственное задание, исходя из обозначений огней: Инструкция: Объясните: как вы проведете судно, если вы видите на карте следующие обозначения:

- | | | |
|------------------------|----------------|------------------|
| 1. VQ Fl (3) 5s; | 3. Q Fl (2) 3s | 5. VQ Fl (9) 10s |
| 2. VQ Fl (6)+ LFl.10s; | 4. Oc W (3) 6s | 6. VQ Fl. |

Упражнение 7: интегрированное, производственное. Цель: Научить расшифровывать аббревиатуры огней на навигационной карте и объяснять, как будет зависеть проводка судна от этих огней. Инструкция: Расшифруйте аббревиатуры огней на навигационной карте и объясните, как будет зависеть проводка судна от них.

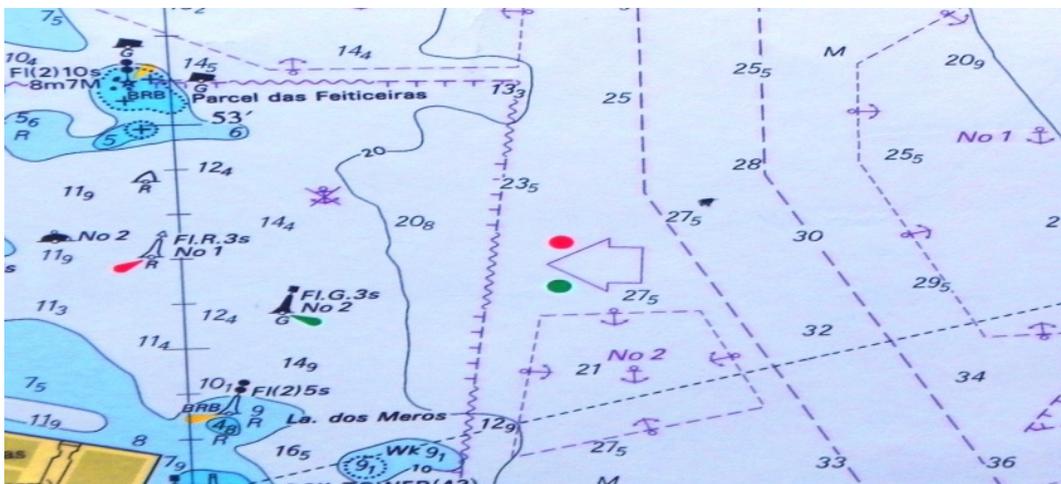


Рис. 1. Фрагмент навигационной карты к упражнению 7

Вторая группа упражнений, которую мы продемонстрируем, направлена на изучение темы «Буи». Для достижения цели предлагается выполнение заданий, связанных с описательными характеристиками не только буев, но и огней, которые изучались ранее. Виды предлагаемых упражнений: предречевые, речевые и интегрированные, которые направлены на обучение чтению лоций и выполнению на их основе производственных заданий.

Упражнение 1: предречевое, рецептивное. Цель: Повторить чтение аббревиатур для понимания содержания учебных лоций об огнях и буях. Инструкция: Прочитайте учебные лоции, расшифруйте аббревиатуры огней и переведите на их родной язык.

1. A pillar horizontally striped black and red buoy exhibiting Fl. (2) 4 sec 14m 15 M means a danger lying below the buoy.
2. A vertically striped white and red spherical buoy showing Oc.W (4) 6 sec 13 m 11 M indicates safe navigable waters.
3. A yellow over black spar buoy exhibiting Q(3) 3 sec 30f 15 M indicates danger to the West.
4. A can red buoy exhibiting Fl.R. 4sec 50f 7 M is a port hand mark in region A.
5. A yellow buoy with a black horizontal band showing VQ(9) 4 sec 24f 13 M indicates that one should pass this buoy from the West.
6. A conical yellow buoy exhibiting Iso.Y. 4 sec 13m 11M marks a special feature.

Упражнение 2: предречевое, ассоциативное. Цель: научить мгновенно ассоциировать предложение любой грамматической конструкции с его смыслом. Инструкция: Прочитайте первую группу предложений за 15 секунд и выберите из нее то, что обозначает: *На эти буи нельзя полагаться.*

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. These buoys cannot be relied upon; | 3. You can rely on these buoys; |
| 2. These buoys cannot rely upon you; | 4. No one can rely on these buoys. |

Прочитайте вторую группу предложений за 15 секунд и выберите из нее то, что обозначает: *Плавающий маяк не находится на штатном месте.*

- | | |
|---|---|
| 1. The light-vessel is on the station; | 3. The light-vessel is off the station; |
| 2. The lighting vessel is not at the station; | 4. The light-vessel is of this station. |

Прочитайте третью группу предложений за 15 секунд и выберите из нее то, что обозначает: *Фарватер к югу от порта не огражден.*

1. The fairway to the south of the port not buoy;
2. The fairway to the south of the port is unbuoyed;
3. The fairway in the south of the port is unbuoy;
4. The fairway to the south of the port be unbuoyed.

Упражнение 3: предречевое, репродуктивное. Цель: Научить описывать огни и буи на основании имеющейся информации. Инструкция: Прочитайте словосочетания, обозначающие разные виды опасности и скажите, какими огнями и буями они ограждаются.

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. danger to the North | 4. danger to the South |
| 2. danger below the buoy | 5. special feature |
| 3. danger to the East | 6. danger to the West |

Упражнение 4: речевое, рецептивно-продуктивное. Цель: Научить описывать значения всех изученных огней и буев. Инструкция: Прочитайте

характеристики следующих огней и буюв и опишите их значения. *Например: A pillar black buoy with yellow bands showing a quick white light, 3 flashes in a group indicates a danger lying to the west of this buoy.*

1. A spar black over yellow buoy showing a very quick or very quick continuous white light.
2. A spar yellow over black buoy exhibiting a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light.
3. A pillar black with a red band buoy showing a flashing white light, 2 flashes in a group.
4. A pillar yellow buoy with a black band showing a quick white light, 9 flashes in a group.
5. A spherical yellow buoy surmounted by a cross showing a yellow flashing light.

Упражнение 5: интегрированное, рецептивное. Цель: Научить понимать суть производственного поведения в зависимости от указанных огней и буюв. Инструкция: Прочитайте описание производственных действий судоводителя в зависимости от указанных огней и буюв.

1. If you see a continuous very quick flashing light exhibited from a pillar black over yellow buoy, it means that you should pass the danger marked by this buoy from the Northern side.
2. If you observe a black buoy with a yellow band showing a quick white light, 3 flashes in a group, it means that you should pass the danger marked by this buoy from the Eastern side.
3. If you see a pillar buoy painted yellow over black and exhibiting a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light, you should pass it from the Southern side.
4. If you notice a flashing white light, 2 flashes in a group, exhibited from a spar buoy painted in black and red horizontal bands you should not approach it. (a danger lies right below it)
5. If you see red flashing lights exhibited from red can buoys moored in a line, they indicate the port side of the channel when you go through it.
6. If you see green flashing lights exhibited from green conical buoys in a line, they indicate the starboard sides of the fairway when you go through it.

Упражнение 6: интегрированное, продуктивное. Цель: Научить выполнять производственное задание, исходя из информации об огнях и буюв.

Инструкция: Объясните: как вы проведете судно, если: *Например: You see a pillar buoy painted yellow over black and exhibiting a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light. - If I see a pillar buoy painted yellow over black and exhibiting a very quick light, 6 flashes in a group, followed by a long flashing light I will pass this buoy from the southern side.*

1. You see green flashing lights exhibited from green conical buoys in a line;
2. You notice a flashing white light, 2 flashes in a group, exhibited from a spar buoy painted in black and red horizontal bands;
3. You see red flashing lights exhibited from red can buoys moored in a line;

4. You see a continuous very quick flashing light exhibited from a pillar black over yellow buoy;

5. You observe a black buoy with a yellow band showing a quick white light, 3 flashes in a group.

Упражнение 7: интегрированное, производственное. Цель: Научить описывать правильный путь следования судна, исходя из указанных на карте буев, увенчанных соответствующими огнями. Инструкция: Расскажите, как вы проведете судно, исходя из указанных на карте следующих буев, увенчанных соответствующими огнями.

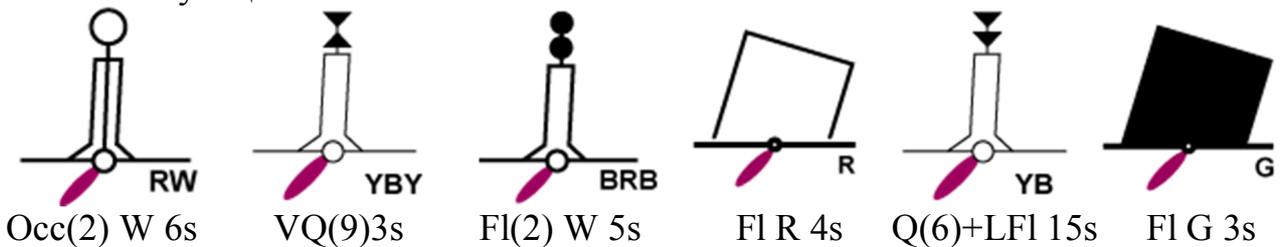


Рис. 2. Обозначение на карте буев, увенчанных соответствующими огнями

Упражнение 8: интегрированное, производственное. Цель: Научить расшифровывать условные обозначения буев на навигационной карте и объяснять, как будет зависеть движение судов от формы и цвета этих буев. Инструкция: Расшифруйте условные обозначения буев на навигационной карте и объясните, как будет зависеть движение судов от их формы и цвета.

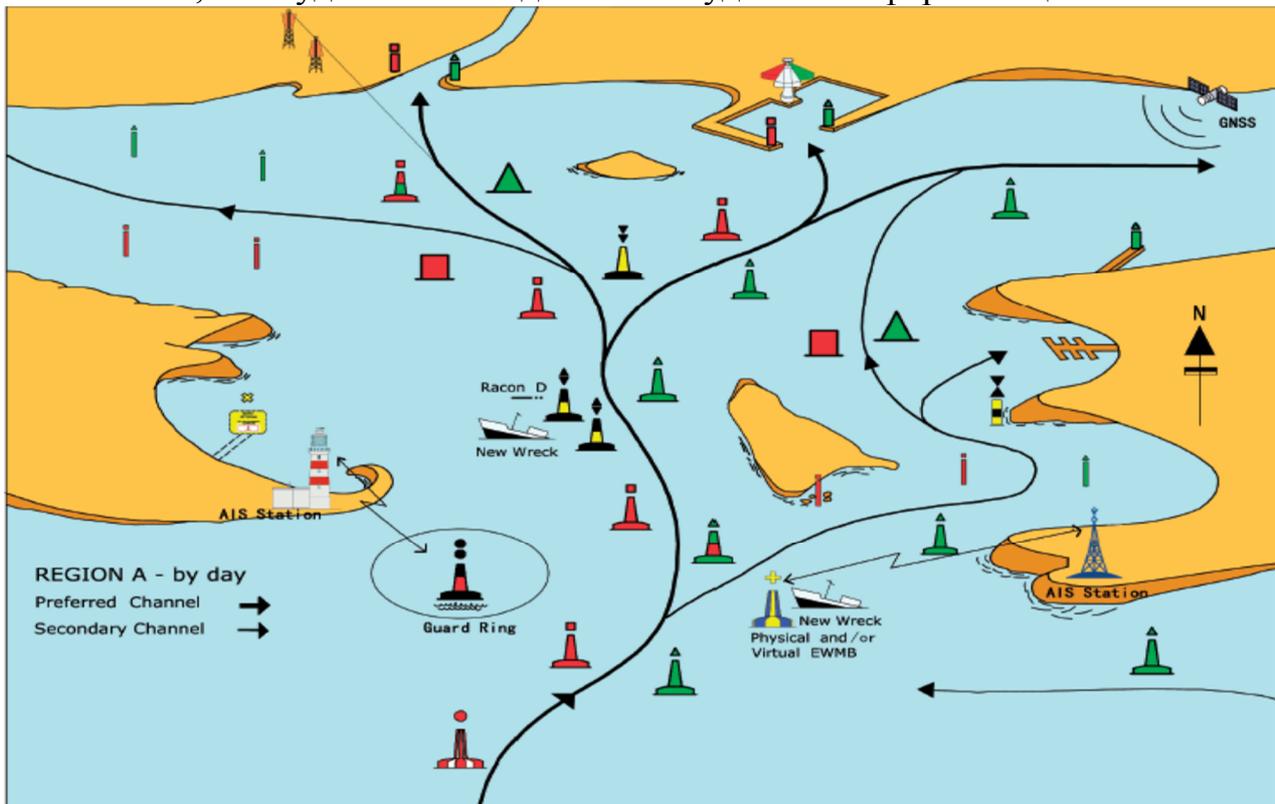


Рис. 3. Условные обозначения буев на навигационной карте

Таким образом, мы продемонстрировали примеры упражнений по темам «Огни» и «Буи», направленных на развитие читательских и соответствующих им производственных умений.

Хочется заметить, что вся методическая система по обучению будущих судоводителей чтению англоязычных аутентичных лоций состоит из однотипных упражнений во всех блоках и отличается лишь тем, что в каждом следующем блоке помимо усвоения нового материала, активизируется весь ранее изученный материал.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Подытоживая, следует отметить, что описанная группа упражнений по развитию читательских и соответствующих им производственных умений является частью теоретической конструкции, которая функционирует в пределах определённой системы упражнений по обучению будущих судоводителей чтению англоязычных аутентичных лоций. Поэтому перспективным направлением исследования может стать опытно-экспериментальная проверка реализации всей системы упражнений в реальных условиях процесса обучения будущих судоводителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козак С. В. Формирование иноязычной коммуникативной компетенции будущих специалистов морского флота: дис. ...канд. пед. наук / С. В. Козак. – О., 2001. – 234 с.
2. Кулакова М. В. Формування готовності до професійної діяльності в майбутніх фахівців у вищих морських навчальних закладах: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 - теорія і методика професійної освіти / М. В. Кулакова. – Одеса, 2006. – 255 с.
3. Літікова О. І. Комунікативний підхід до навчання англійської мови у вузі морського спрямування / О. І. Літікова // Педагогічні науки : зб. наук. праць. – Херсон : ХГУ, 2009. – Вип. ІІ. – С. 315-318.
4. Литвиненко І. Ю. Методика навчання студентів технічних спеціальностей англomовного читання на засадах інтеграції: дис. ... канд. пед. наук : спеціальність 13.00.02 - теорія і методика навчання: германські мови/ І.Ю.Литвиненко – К., 2015. – 253 с.
5. Ляшенко У. І. Педагогічні умови підготовки майбутніх судових механіків у процесі вивчення професійно-орієнтованих дисциплін: дис. ... канд. пед. наук : спеціальність 13.00.04 – теорія та методика професійної освіти / У. І. Ляшенко. – Херсон, 2016. – 267 с.
6. Рульков Д. И. Навигация и лоция / Д. И. Рульков. – М. : Транспорт, 1973. – 192 с.
7. Шишло М. З. Обучение будущих судоводителей аудированию в профессиональном радиообмене по УКВ на море (английский язык): дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 - теория и методика обучения и воспитания / М. З. Шишло. – Пятигорск, 2002. – 259 с.

УДК 656.61.052

COORDINATION OF THREE SHIPS PASSING BY SAFELY
КООРДИНАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО РАСХОЖДЕНИЯ ТРЕХ СУДОВ

E. N. Pjatakov, PhD associate professor, S. V. Kapanskiy, PhD student, E. L. Volkov, PhD student

Э. Н. Пятаков, к.т.н., доцент, С. В. Копанский, аспирант, Е. Л. Волков, аспирант

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

ABSTRACT

The system of coordination of passing by three dangerously approaching vessels, which satisfies the law of the necessary variety Ashby, is considered in the article. Four regions of mutual duties of vessels taking into account their status, speeds and additional parameter are defined. The conduct of each of interactive ships in the first region of mutual duties is regulated.

Keywords: safety of navigation, warning of collisions, system of coordinating cooperation/interaction.

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

Число столкновений судов в настоящее время остается на высоком уровне. Снижение аварийности по указанной причине требует разработки корректных практических рекомендаций судоводителям, позволяющих произвести выбор безопасного маневра расхождения. В интенсивных районах плавания нередко возникают ситуации одновременного опасного сближения более двух судов, когда выполнение маневра расхождения согласно требованиям МППСС-72 зачастую становится невозможным. Поэтому актуальным является вопрос разработки систем координации трех и более судов.

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

Принципам создания систем бинарной координации посвящены работы [1-4]. Вопросу определения угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [1], а возможный вариант системы, содержащей два иерархических уровня, рассмотрен в работах [2,3], причем описание первого уровня приведено в публикации [3], а формализация второго уровня рассмотрена в статье [4].

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является разработка структуры системы бинарной координации трех судов.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Необходимость в бинарной координация трех судов возникает, если взаимодействует группа из трех судов c_1 , c_2 и c_3 , в которой два и больше ситуационных возмущения отличны от нуля. Положим, что справедливы соотношения между скоростями судов $V_1 \geq V_2 \geq V_3$, поэтому $\rho_{12} \geq \rho_{13} \geq \rho_{23}$, где $\rho_{ij} = V_i/V_j$.

Рассмотрим возможные маневры, удовлетворяющие требованию закона необходимого разнообразия Эшби [5]. Для этого вначале рассмотрим множество безопасных относительных курсов M_{s_i} для каждого из судов. Судну c_1 характерны соотношения $\rho_{12} \geq 1$ и $\rho_{13} \geq 1$, поэтому по отношению к обоим судам при $V_1 > V_2 > V_3$ множество $M_{s_1} = s_1 = 2\pi$. Если хотя бы одна из скоростей судов c_2 и c_3 равна скорости V_1 , то $M_{s_1} = \pi$.

Для судна c_2 справедливо $\rho_{21} \leq 1$ и $\rho_{23} \geq 1$, из чего следует, что по отношению к обоим судам $M_{s_2} = s_2 \leq \pi$. Судну c_3 характерно $\rho_{31} \leq 1$ и $\rho_{23} \leq 1$, поэтому $M_{s_3} = s_3 \leq \pi$.

Множество недопустимых относительных курсов M_d определяется аналогично для каждого из судов и представляет собой объединение подмножеств недопустимых относительных курсов относительно остальных двух судов. Так, например, для судна c_1 множество $M_{d1} = M_{d1}^{(2)} \cup M_{d1}^{(3)}$. Здесь

$M_{d1}^{(2)} = 2 \arcsin \frac{D_d}{D_{12}}$ - подмножество недопустимых относительных курсов, возникающих из-за опасного сближения судна c_1 с судном c_2 , причем D_{12} - расстояние между судами c_1 и c_2 , а D_d - предельно-допустимое расстояние;

$M_{d1}^{(3)} = 2 \arcsin \frac{D_d}{D_{13}}$ - подмножество недопустимых относительных курсов

при опасном сближении судов c_1 и c_3 .

Наиболее неблагоприятным является вариант объединения, при реализации которого в случае $D_{12} = D_{13} = D_d$ величина $M_{d1} = d_1 = 2\pi$. Аналогично наиболее неблагоприятные значения d_2 и d_3 также равны 2π .

Так как при ситуационном возмущении $\omega_{ij}=1$ значение $D_{ij} < D_d$, то $d_i < 2\pi$. В этом случае закон необходимого разнообразия Эшби, согласно которому $d_i \subset s_i$, будет справедлив при маневрировании судна c_1 , либо при одновременном маневрировании судов c_2 и c_3 .

Рассмотрим возможные сочетания ситуационных возмущений ω_{ij} при опасном сближении трех судов. При этом учитываем, что не менее двух ситуационных возмущений ω_{ij} должны отличаться от нуля. Другими словами, каждое из ситуационных возмущений ω_{12} , ω_{13} и ω_{23} может принимать значения 0, 1 и 2, однако в сочетании трех ситуационных возмущений только одно из них может принимать значение равное 0.

В нижеследующей табл. 1 приведены возможные сочетания ситуационных возмущений ω_{12} , ω_{13} и ω_{23} , возникающих в ситуации опасного сближения.

Таблица 1. Возможные сочетания ситуационных возмущений

№ 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 показано в табл. 1, всего возможно 20 сочетаний ситуационных возмущений, причем в 10 сочетаниях одно из ситуационных возмущений ω_{ij} принимает значение равное 0.

Анализ таблицы показывает, что в ситуациях 1...4, когда в сочетаниях ситуационных возмущений их значения не превосходят 1, безопасное расхождение возможно стандартным маневром одного или двух судов. Поэтому 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. Такую ситуацию характеризует первая область взаимных обязанностей A.

При сочетаниях 2...4 для соблюдения требования закона необходимого разнообразия Эшби необходимо маневрирование двух судов c_1 и c_2 , а судно с минимальной скоростью c_3 является пассивным. Данные ситуации характеризуют вторую область взаимных обязанностей В.

Остальные сочетания 5...20 содержат ситуационные возмущения со значением 2, предполагающих экстренное маневрирование при расхождении.

Сочетания ситуационных возмущений с 5-го по 13-е содержат одно ситуационное возмущение, значение которого равно 2. В этих ситуациях суда, для которых $\omega_{ij} = 2$, являются активными и выполняют маневр экстренного расхождения с учетом мешающего судна, а третье судно является пассивным. Это область взаимных обязанностей С.

В сочетаниях с 14 по 20 не менее двух ситуационных возмущений характеризуются значениями, равными 2. Область взаимных обязанностей D связана с указанными сочетаниями. В этой области все три судна выполняют маневры экстренного расхождения, т. е. являются активными.

В табл. 2 приведены взаимные обязанности судов в зависимости от реализовавшейся области.

Таблица 2. Взаимные обязанности судов при расхождении

Области	c_1	c_2	c_3
A	активное std.	пассивное	пассивное
B	активное std.	активное std.	пассивное
C	активное экст.	пассивное	активное экст.
D	активное экст.	активное экст.	активное экст.

В таблице для каждой области взаимных обязанностей предусмотрены три ролевых типа поведения, которые в дальнейшем будем называть ролями. Причем в общем случае при координации трех судов обозначим роли следующим образом:

Ak1st – активное первое судно, выполняющее стандартный маневр;

Ak2st – активное второе судно, выполняющее стандартный маневр;

Ps – пассивное судно, сохраняющее неизменные параметры движения;

Akext – активное судно, выполняющее маневр экстренного расхождения.

При опасном сближении трех судов c_a , c_b и c_c распределение ролей в процессе расхождения предлагается в зависимости от их статусов St_i , скоростей, курсов сближения (попутных или встречных) и дополнительного параметра v_i .

Определение области производится по значениям ситуационных возмущений ω_{ij} , как показано в табл. 1. Если возникла область взаимных обязанностей A, то распределение ролей Ak1st, Ps и Ps по судам c_a , c_b и c_c производится следующим образом.

Если статусы судов разные, то судну с наименьшим статусом адресуются обязанности роли, а остальным двум судам приписывается роль Ps. Если же статусы двух судов одинаковые и больше статуса третьего судна, например, $St_a = St_c > St_b$, то судну с минимальным статусом St_b соответствует роль Ak1st, а двум остальными судам - роли Ps. В случае, когда статусы двух судов равны и меньше статуса третьего судна, например, $St_b > St_c = St_a$, судну с максимальным статусом St_b соответствует роль Ps, а между судами с равными статусами роли распределяются по соотношению скоростей. Судну с большей скоростью соответствует роль Ak1st, а судну с меньшей скоростью – роль Ps.

В случае же судов с одинаковыми статусами $St_a = St_b = St_c$ распределение ролей производится по отношению скоростей судов. При разных скоростях судов роль Ak1st соответствует судну с наибольшей скоростью, остальным судам адресуются роли Ps. Если скорости двух судов равны и больше скорости третьего судна, то судну с меньшей скоростью соответствует роль Ps. Распределение ролей между судами с одинаковой скоростью производится по соотношению их дополнительных параметров v_i , причем судну с большим значением параметра v_i соответствует роль Ak1st, а другому судну – роль Ps. В случае равенства скоростей двух судов, которые меньше скорости третьего судна, роль Ak1st соответствует судну с большей скоростью, а судам с равными скоростями адресуются роли Ps. Если скорости всех трех судов равны между собой, то распределение ролей производится по соотношению значений дополнительных параметров v_i , причем судну с наибольшим значением параметра v_i соответствует роль Ak1st, а остальным судам – роли Ps.

Алгоритм распределения ролей между судами в области взаимных обязанностей А представлен на рис. 1 и рис. 2. На рисунках алгоритма приняты следующие обозначения условий:

$$\begin{aligned}
 &Y1A \rightarrow St_a > St_b > St_c, Y2A \rightarrow St_a = St_b > St_c, Y3A \rightarrow St_a = St_c > St_b, \\
 &Y4A \rightarrow St_b = St_c > St_a, Y5A \rightarrow St_a > St_b = St_c, Y6A \rightarrow St_b > St_a = St_c, \\
 &Y7A \rightarrow St_c > St_a = St_b, Y8A \rightarrow V_b = V_c, Y9A \rightarrow V_b > V_c, Y10A \rightarrow v_b > v_c, \\
 &Y11A \rightarrow V_a = V_c, Y12A \rightarrow V_a > V_c, Y13A \rightarrow v_a > v_c, Y14A \rightarrow V_a = V_b, \\
 &Y15A \rightarrow V_a > V_b, Y16A \rightarrow v_a > v_b, Y17A \rightarrow V_a = V_b = V_c, Y18A \rightarrow v_a > v_b > v_c, \\
 &Y19A \rightarrow v_b > v_a > v_c, Y20A \rightarrow v_c > v_a > v_b, Y21A \rightarrow V_a > V_b = V_c, \\
 &Y22A \rightarrow V_b > V_a = V_c, Y23A \rightarrow V_c > V_a = V_b, Y24A \rightarrow V_a = V_b > V_c, \\
 &Y25A \rightarrow v_a > v_b, Y26A \rightarrow V_a = V_c > V_b, Y27A \rightarrow v_a > v_c, \\
 &Y28A \rightarrow V_b = V_c > V_a, Y29A \rightarrow v_b > v_c.
 \end{aligned}$$

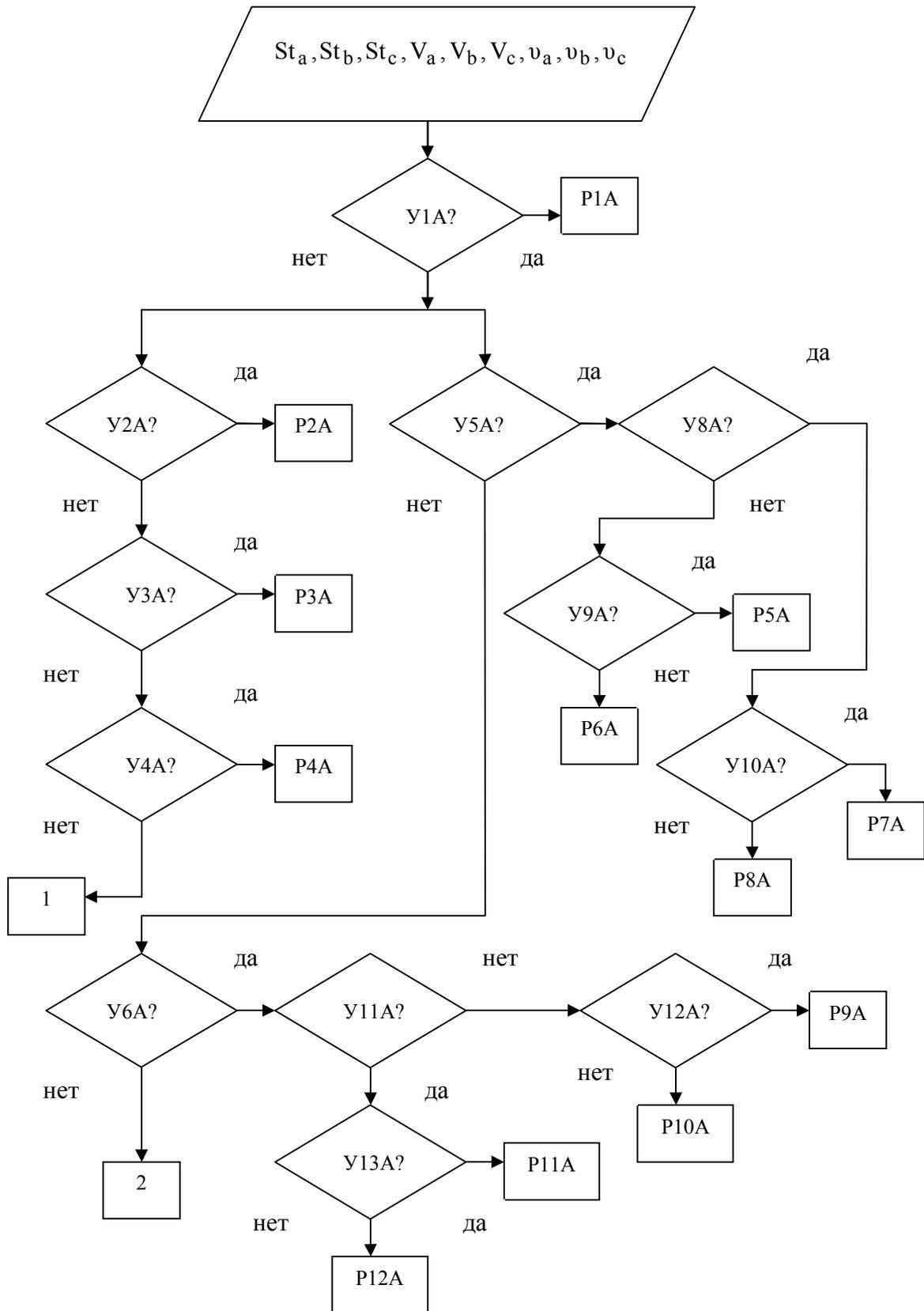


Рис. 1. Алгоритм взаимных обязанностей судов в области А

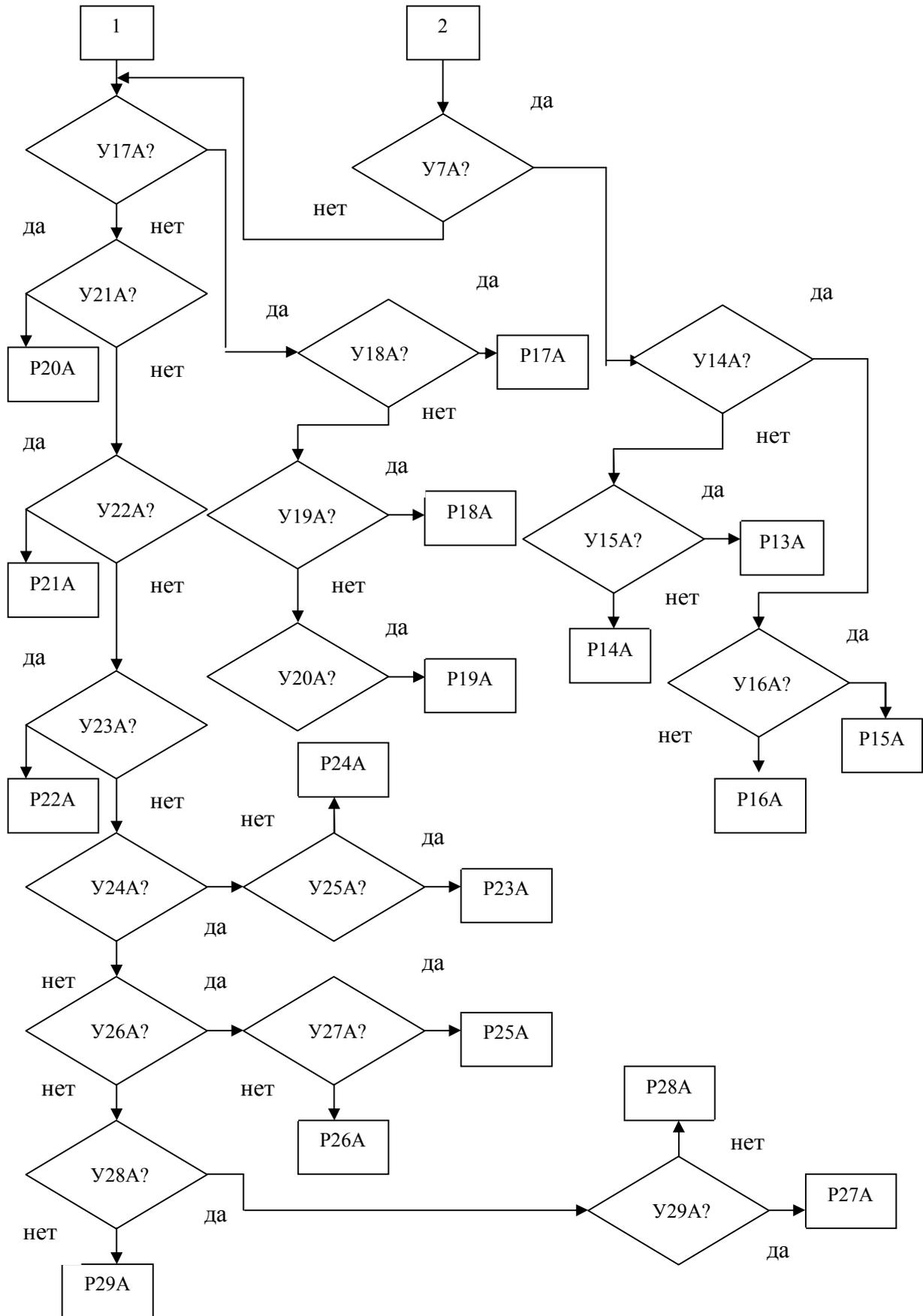


Рис. 2. Продолжение алгоритма взаимных обязанностей судов в области А

Результаты распределения судов по ролям обозначаются:

$P1A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$, $P2A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P3A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$, $P4A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$,
 $P5A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$, $P6A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P7A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$, $P8A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P9A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $P10A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P11A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $12A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P13A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $P14A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$,
 $P15A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $P16A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$,
 $P17A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $P18A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$,
 $P19A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$, $P20A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$,
 $P21A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$, $P22A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P23A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $P24A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$,
 $P25A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$, $P26A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P27A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$, $P28A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$,
 $P29A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, рассмотрена система координации расхождения трех опасно сближающихся судов. Показано, что предложенная система координации удовлетворяет требованиям закона необходимого разнообразия Эшби. Определены четыре области взаимных обязанностей судов и поведение каждого из взаимодействующих судов в первой области. В дальнейшем целесообразно рассмотреть взаимные обязанности судов в трех оставшихся областях.

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. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику/ У. Росс Эшби. - М.: Мир, 1959. – 256 с.

УДК 656.615.073

**THE METHOD OF THE LOADING OF LOW-TONNAGE
MONOHOLD VESSEL WITH FEW TYPES OF BULK CARGO****СПОСОБ ЗАГРУЗКИ МАЛОТОННАЖНОГО
ОДНОТРЮМНОГО СУДНА НЕСКОЛЬКИМИ ВИДАМИ
НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ****V.D. Savchuk, PhD, professor, V.Yu. Khomiakov
В.Д. Савчук, к.т.н., с.н.с., професор, В.Ю. Хомяков***National University «Odessa Maritime Academy»
Національний університет «Одесская морская академия»***ABSTRACT**

On m/v «Wilson Bilbao» while carrying few types of bulk cargo simultaneously was determined that if the loading is carried out on an even keel, the cargo is placed in such a way, that at the head and the stern part of the hold the stack has got right-angled triangle or rectangular trapezoid shape. In the middle of the hold, depending on the volume of cargo stack, its shape is isosceles trapezoid or isosceles triangle. If the vessel has got the initial trim, when loading bulk cargo, especially, the shift of stack surface happens and its volume shifting of deck tilt takes place. The angles at stack base change by the angle of trim difference: one of the angle increases, another – decreases. The shift of the center of gravity of a stack of the moved cargo is necessary to be considered by cargo officer at the calculation of stability after the loading completion. The method of the loading of monohold vessel with few types of bulk cargo for their simultaneous carrying is treated in the article.

Keywords: vessel «coaster», bulk cargo, trim difference, loading.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. Практика эксплуатации малотоннажных однотрюмных судов (типа «коастер») показывает, что часто возникает ситуация, когда по условиям фрахтования необходимо одновременно перевозить несколько видов навалочных или насыпных грузов. Во избежание их смешивания применяется метод «естественной» сепарации. В таких рейсах грузовому помощнику капитана, при составлении грузового плана судна, необходимо выполнить расчеты количества и размеров каждого штабеля, а также определить координаты их центров тяжести. Это позволяет уменьшить ошибки в дальнейших расчетах остойчивости судна после окончания погрузки.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Вопросам безопасной перевозки навалочных и насыпных грузов уделено внимание в трудах отечественных и зарубежных исследователей [1, 2]. Выбор оптимального варианта проведения грузовых операций балкеров с целью

обеспечения их мореходной безопасности рассмотрен в работе [3]. Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» и возможное смещение его центра тяжести представлены в публикациях [4, 5]. Метод «естественной» сепарации и диаграмма графического расчета массы навалочных грузов опубликован в [6, 7]. Удифферентовка балкера при транспортировке навалочных грузов рассмотрена в статье [8]. Математическая модель определения конфигурации поверхности насыпного груза в трюме судна методом Нелдера-Мида изложена в [9]. Система автоматизированного контроля грузовых операций крупнотоннажного балкера представлена в статье [10]. Однако, по сей день не рассмотрены случаи, когда грузовому помощнику капитана необходимо выполнить расчеты грузового плана и остойчивости малотоннажного судна при наличии дифферента. Натурные наблюдения в реальных рейсах т/х «Wilson Bilbao» и теоретические исследования позволили авторам предложить формулы для расчета координат центра тяжести каждого штабеля насыпного груза, при наличии дифферента судна [11].

Целью статьи является описание способа оптимальной загрузки малотоннажного однотрюмного судна (типа «коастер») несколькими видами навалочных грузов отдельными штабелями с учетом возникновения дифферента, как во время проведения грузовых операций, так и при его плавании на волнении.

Изложение материала исследования. Рейсовые наблюдения на т/х «Wilson Bilbao» позволили установить, что при отсутствии дифферента судна, продольное сечение штабеля груза, который расположен в центральной части трюма, в зависимости от его высоты и объема, имеет форму равнобедренного треугольника (Рис.1, III) или равнобедренной трапеции (Рис.1, II). Углы при их основании равны углам естественного откоса данного груза. Штабели груза, расположенные в носовой и кормовой части трюма, могут иметь форму прямоугольного треугольника либо прямоугольной трапеции (Рис.1, I, IV).

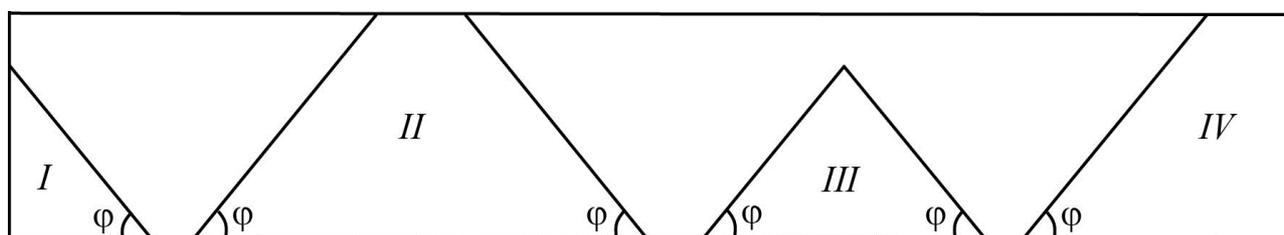


Рис. 1 Расположение штабелей груза при отсутствии дифферента судна

При наличии дифферента судна углы при основании этих штабелей груза изменяются на угол дифферента: один из углов увеличивается, другой – уменьшается (Рис. 2).

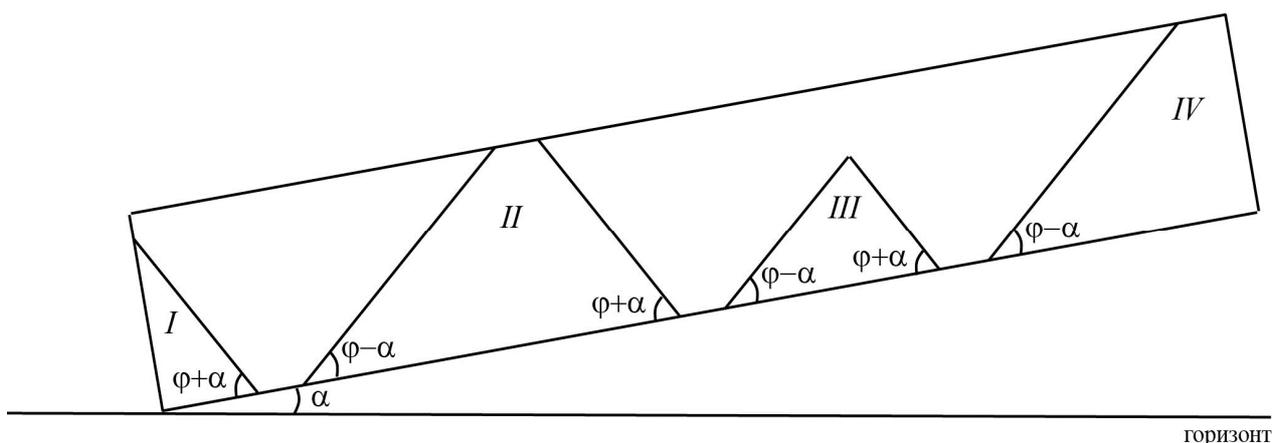


Рис. 2 Расположение штабелей груза при наличии дифферента судна

Для предотвращения возможного смешивания разных партий навалочных грузов, при их одновременной перевозке в трюме малотоннажного судна, предлагается способ размещения таких грузов с использованием метода «естественной» сепарации. По предлагаемому способу разные партии навалочных грузов в виде штабелей (не менее двух) размещаются в трюме, в любой последовательности, на заранее рассчитанных площадях палубы. Расстояния между основаниями штабелей устанавливаются с учетом необходимого запаса свободного пространства, которое может быть заполнено смещающейся массой груза. Величина расстояний зависит от угла естественного откоса каждого вида груза, высоты насыпи и дифферента судна, как при погрузке, так и во время его плавания на волнении. Размещение штабелей на заранее определенные площади палубы трюма так, чтобы груз высыпался по направлению носа и кормы судна одинаково от плановой точки загрузки береговым перегружателем позволяет обеспечить устойчивость штабеля и возможность одновременной перевозки нескольких видов или фракций навалочных грузов.

Штабеля груза предлагается размещать в трюме так, чтобы сумма длин оснований штабелей составляла бы величину меньше длины трюма, т.е. соответствовала выражению $\sum_{k=1}^N L_k < L$, где L – длина трюма, L_k – сумма длины нижних оснований всех штабелей, которые будут погружены в трюм, k – количество штабелей.

Расстояние между запланированными точками загрузки от кормовой либо от носовой переборки трюма рассчитывается в Блоке 2 системы расчета грузового плана малотоннажного судна (Рис. 3).

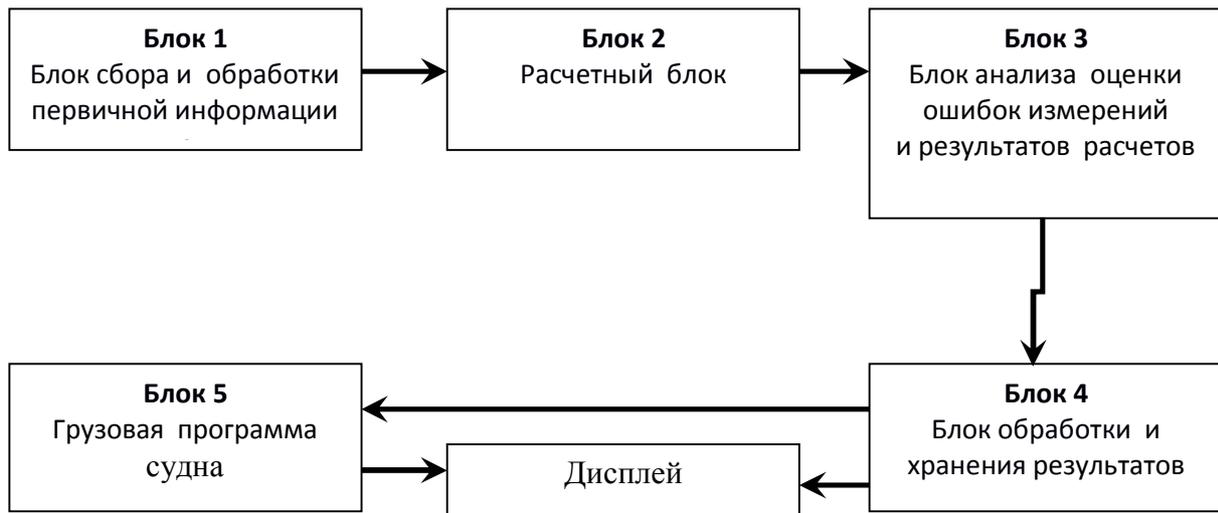


Рис. 3 Система расчета грузового плана малотоннажного судна

Способ размещения грузов в трюме судна заключается в следующем.

Грузы различного вида или фракций размещаются в трюме однотрюмного малотоннажного судна штабелями, каждый из которых имеет соответствующую форму и габариты, в зависимости от места его расположения по длине судна, а также и координаты его центра тяжести (ЦТ).

Груз загружают у кормовой и носовой переборок трюма, установив береговой перегружатель в заранее рассчитанных точках погрузки. Затем засыпают груз в центральную часть трюма (Рис. 4 б, в). В таком случае штабели будут расположены на расстоянии один от другого, которое учитывает необходимый запас длины палубы трюма для смещения груза при возникновении дифферента судна.

Штабели груза, не менее двух, загружаются на запланированные площади палубы трюма, которые определяются с использованием блока 2 системы расчетов размеров штабелей (Рис. 3).

В Блоке 2 для каждого из грузов рассчитывается форма и габариты штабеля при различных вариантах их размещения (нос, центр трюма, корма). Например, для штабеля I (Рис. 2):

высота штабеля

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\text{ctg}(\varphi + \alpha)}}, \quad (1)$$

длина его основания

$$L = \sqrt{2S \text{ctg}(\varphi + \alpha)}, \quad (2)$$

где $S = \frac{m}{\rho d}$ - площадь продольного разреза штабеля, м^2 ;

m - масса штабеля, т;

d - ширина трюма, м;

ρ - насыпная плотность груза, т/м^3 ;

φ - угол естественного откоса груза, град;

α - угол дифферента судна, град.

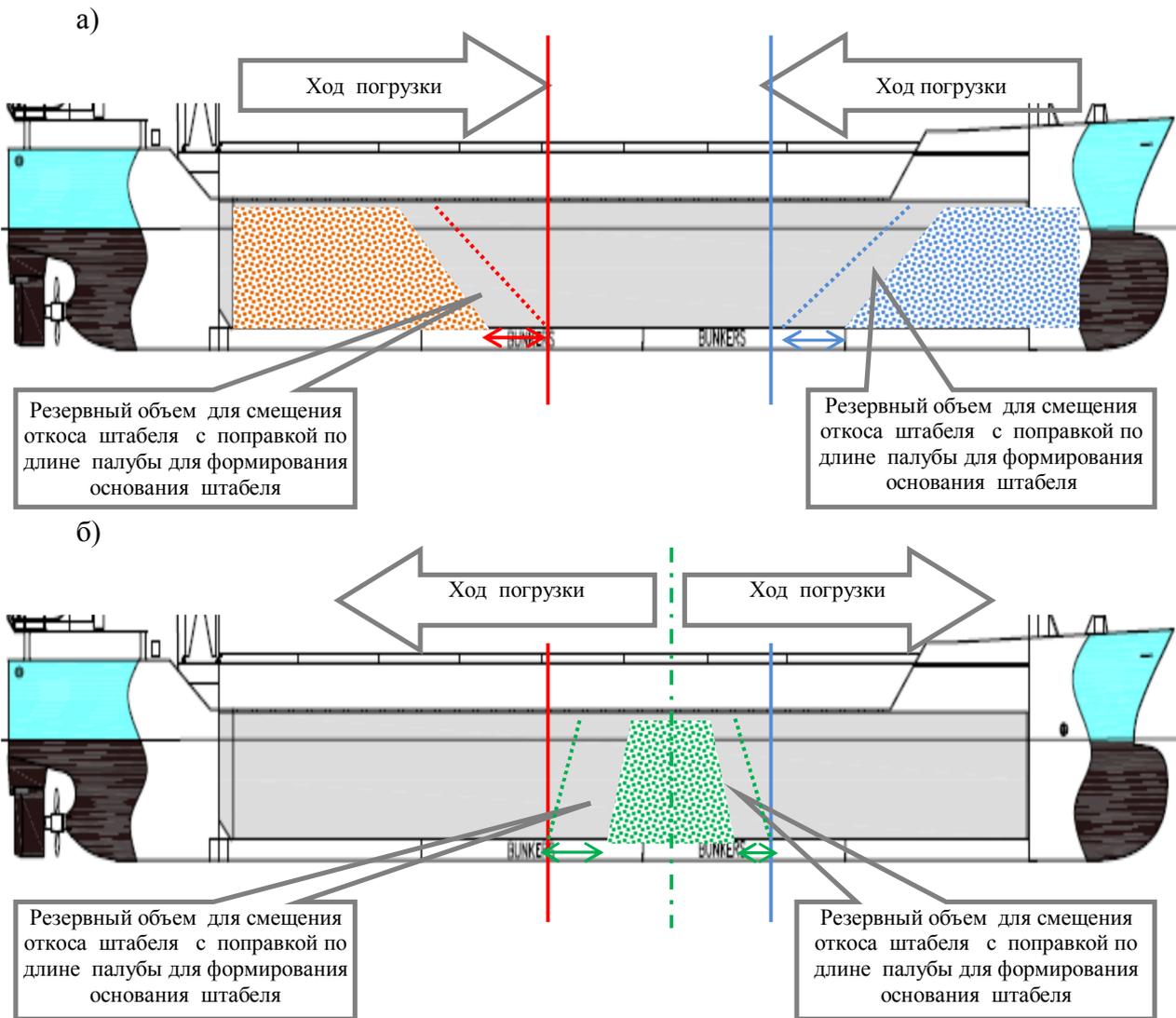


Рис. 4. Варианты погрузки штабелей разных навалочных грузов

Координаты ЦТ штабеля определяются при условии, что начало системы координат размещено в левой стороне его основания:

$$P_1 \left(\frac{h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3}; \frac{h}{3} \right) \tag{3}$$

Для штабеля IV (Рис. 2):
высота штабеля

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}}, \tag{4}$$

длина его основания:

$$L = \sqrt{2S \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)} \tag{5}$$

Координаты ЦТ штабеля

$$P_1 \left(\frac{2h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}; \frac{h}{3} \right) \tag{6}$$

Аналогично выполняются расчеты для штабелей, которые имеют иную форму (Рис. 2, II, III). Затем рассчитывается сумма длины нижних оснований всех штабелей грузов $\sum_{k=1}^N L_k$. Если для запланированного способа размещения штабелей выполняется условие $\sum_{k=1}^N L_k < L$, то такой способ размещения считается допустимым. Если же есть несколько допустимых способов размещения, то выбирается оптимальный, для которого сумма $\sum_{k=1}^N L_k$ принимает минимальное значение. После этого определяется расстояние между основаниями отдельных штабелей, размеры и координаты центра тяжести (ЦТ) каждого штабеля.

Если условие $\sum_{k=1}^N L_k < L$ не выполняется для рассматриваемых вариантов размещения грузов, то это подтверждает, что такой набор грузов разместить невозможно. Чтобы избежать риска смешивания партий грузов необходимо уменьшить массу, а, следовательно, и объем, одного из запланированных к перевозке грузов.

Пример использования способа.

При выполнении рейсов т/х «Wilson Bilbao» (DW = 3500 т, размер грузового трюма L x B x H = 62,4 x 10 x 6 м, V = 3744 м³), часто возникала необходимость загружать судно несколькими видами грузов. для чего использовался метод «естественной» сепарации. В одном из рейсов, порт погрузки Eikefet (Норвегия), порт выгрузки Коеге (Дания) фрахтователем была поставлена задача, загрузить судно щебнем (масса по коносаменту 3450 т, удельный погрузочный объем – 0,6-0,8 м³/т, угол естественного откоса – 32-43°) с обязательным разделением груза на три отдельные штабели. Щебень в трёх штабелях грузовой партии имел различный гранулометрический состав, размеры частиц составляли 8-12 мм, 18-25 мм и 30-40 мм, что и стало причиной таких требований фрахтователя. Расположение штабелей груза представлено на рис. 5.



Рис. 5 Загрузка трёх различных штабелей груза щебня методом «естественной» сепарации на т/х «Wilson Bilbao»

Перед началом погрузки формы штабелей, которые рассчитали для положения судна «на ровном киле» поочередно были заведены в судовую грузовую программу (Рис. 3, Блок 2).

Далее, в грузовой программе было зафиксировано положение корпуса, с максимально возможным дифферентом судна на каком-либо этапе его погрузки. В Блоке 2 был выполнен расчет поправок запаса длины трюма, которую необходимо иметь между штабелями на случай смещения груза для каждого штабеля, с учетом возможных углов дифферента.

На этапе фактического процесса погрузки длина палубы трюма была разделена на отрезки, которые равнялись длине основания каждого штабеля плюс поправка на ссыпания его откосов.

В приведенном примере загрузки трюма средний штабель ссыпался из обеих откосов, кормовой – только из носового откоса, а носовой – из кормового откоса.

Для штабелей возле носовой и кормовой части трюма загрузка начиналась от кормовой или носовой переборки. (Рис. 4а). Момент окончания погрузки каждого отдельного штабеля груза определялся его массой и размерами основания. Пространство, которое оставалось у подошвы штабеля является тем запасом длины палубы трюма, которая заранее была рассчитана в Блоке 2 для возможного ссыпания откоса груза при возникновении дифферента судна.

Загрузку центральной части трюма начинали с установки берегового перегружателя в точку, которая учитывала возможное ссыпание откосов штабеля, как в направлении носа судна, так и в направлении его кормы. (Рис.4б).

В результате выполненных расчетов были определены все необходимые характеристики каждого штабеля груза щебня, масса носового штабеля составила 1457 т, среднего – 504 т, кормового - 1489 т. Грузовой план судна рассмотренного рейса приведен ниже (рис. 6).

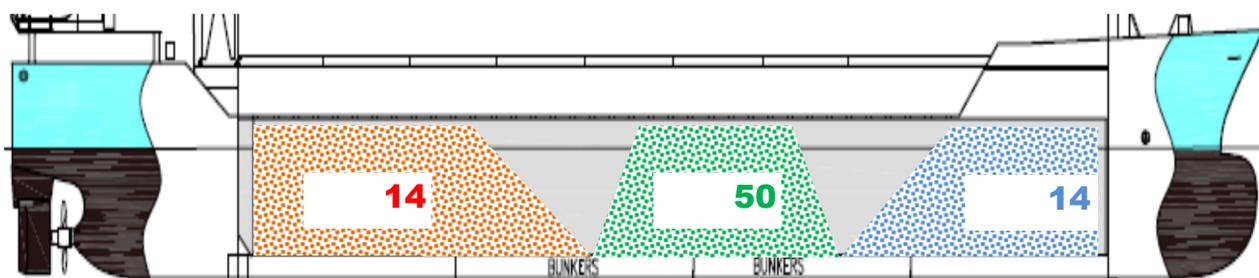


Рис. 6 Грузовой план т/х «Wilson Bilbao» при перевозке щебня с использованием «естественной» сепарации

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.

1. Грузовому помощнику капитана, при составлении грузового плана малотоннажного судна, необходимо рассчитывать величину расстояний между основаниями отдельных штабелей. Величина расстояний зависит от угла естественного откоса каждого вида груза, высоты насыпи и дифферента судна, как при погрузке, так и во время его плавания на волнении.

2. Предлагаемый способ загрузки малотоннажного однотрюмного судна несколькими видами навалочных грузов позволяет использовать метод «естественной» сепарации отдельных партий, учитывает возможное смещение груза и позволяет определить координаты центра массы каждого сместившегося штабеля в зависимости от линейных размеров трюма, угла естественного откоса груза и начального дифферента судна.

3. Этот способ служит дополнением к судовой грузовой программе, на 8-10% сокращает затраты времени грузового помощника капитана при выполнении расчетов грузового плана и мореходных качеств судна после его погрузки, что приводит к снижению себестоимости перевозки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский М.Е. Безопасность морской перевозки навалочных грузов / М.Е. Барановский – М.; Транспорт, 1985. – 189 с.
2. *Tope I.E.* Carriage of Bulk grain without temporary fitting – *Naval Architect*, № 3. 1971. p. 457-471.
3. Цымбал Н.Н. Расчет границ множества допустимых стратегий проведения грузовых операций навалочных судов / Н.Н. Цымбал, Ю.Ю. Васьков // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 8. – Одесса: «Феникс», 2004. – С. 22-31.
4. Хомяков В.Ю. Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В.Ю. Хомяков, В.Д. Савчук // Материалы научно-теоретической конференции «Судоходство: перевозки, технические средства, безопасность», 19-20 ноября 2013 года. – Одесса: ОНМА, 2013. – С. 136-139.
5. Хомяков В.Ю. Смещение центра тяжести штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В.Ю. Хомяков, В.Д. Савчук // Материалы VIII Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений» 2-6 декабря 2013 года. – Севастополь: 2014. – С. 159-164.
6. Хомяков В.Ю. Загрузка судна типа «коастер» навалочным грузом с использованием метода «естественной» сепарации / В.Ю. Хомяков, В.Д. Савчук // Научный вестник Херсонской государственной морской академии: Научн. журнал. - Херсон: Издательство ХГМА, 2014. – № 1 (10). – С.64-70.
7. Хомяков В.Ю. Диаграмма графического расчета массы навалочных грузов при перевозке с «естественной» сепарацией / В.Ю. Хомяков, В.Д. Савчук // Материалы шестой Международной научно-практической конференции «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» (MINTT – 2014) 27-29 мая 2014 года. – Херсон: ХГМА, 2014. – С. 147-148.

8. Клименко Е.Н. Удифферентовка балкера при перевозке навалочных грузов / Е.Н. Клименко, В.Д. Савчук // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 10. – Одесса: «Феникс», 2005. – С. 63- 66.
9. Клименко Е.Н. Использование метода Нелдера-Мида для определения конфигурации поверхности насыпного груза в трюме судна / Е.Н. Клименко, В.Д.Савчук // Журнал «Вестник Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова – 2014. – № 3(8). – Новороссийск – С. 41-48.
10. Клименко Е.Н. Система автоматизированного контроля грузовых операций балкера / Е.Н. Клименко // Судовождение: Сб. научн. трудов /ОНМА. – Вып. 24. – Одесса: «Издат-Информ», 2014. – С. 84-91.
11. Савчук В.Д. Расчет координат центра тяжести штабеля груза при дифференте малотоннажного судна / В.Д. Савчук, В.Ю. Хомяков // Журнал «Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова – 2016. – № 1(35). – Санкт-Петербург – С. 36-46.

УДК 656.61.052.484

**FORMALIZATION OF SYSTEM OF DECISION MAKING ON
TRAFFIC CONTROL OF SHIP****ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО
УПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА**V.E. Sikirin, *senior lecturer*В.Е. Сикирин, *старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

Formal specification of the system of decision making on the traffic control of ship in terms of theory of the hierarchical multilevel systems is resulted in the article. It is shown that on a functional characteristic the system contains three strats and by decomposition characteristic.

Keywords: safety of navigation, system on the traffic control of ship, hierarchical multilevel systems.

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

Важнейшей проблемой повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах, чему способствует повышение точности реализации судном программной траектории движения. Эту задачу решает система принятия решений по управлению движением судна.

Для выявления возможностей дальнейшего повышения безопасности судовождения путем увеличения точности проводки судна следует исследовать систему принятия решений по управлению движением судна, что в первую очередь требует произвести ее формальное описание. Указанной задаче посвящена данная статья.

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

Предварительный анализ показал, что система управления движением судна является решающей системой (системой принятия решений), которая имеет иерархическую структуру, причем принципы и закономерности многоуровневых иерархических систем изложены в работе [1].

В работе [2] также показано, что динамическая n -управляемая система взаимодействующих судов может быть описана в терминах иерархических многоуровневых систем во всех трех аспектах формализации.

Формулировка целей статьи

Данная статья посвящена формальному описанию системы принятия решений по управлению движением судна методами теории иерархических многоуровневых систем.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В данной статье рассматривается описание системы принятия решений по управлению движением судна S_m , как решающей системы, для выяснения влияния ее характеристик на эффективность функционирования судна с позиций реализации программной траектории.

Рассмотрим систему принятия решений по управлению движением судна S_m с позиций стратифицированного описания [1], которая может быть представлена иерархией, содержащей три страты, как показано на рис. 1.

Наиболее обобщенная верхняя, - третья, - страта содержит систему принятия решений по управлению движением судна S_m , которая влияет на процесс движения судна P_t относительно программной траектории, входом которого являются управляющие воздействия судна или, в зависимости от специфики рассматриваемой частной задачи, их скорости и курсы. Также на вход процесса движения судна P_t поступают внешние возмущения ψ_t , а выходом является текущее значение истинного положения судна относительно программного.

Вторая страта представляет собой состав системы принятия решений по управлению движением судна S_m , в общем случае содержащей систему управления движением судна C_C , систему навигационной информации C_I и систему обеспечения структурной устойчивости C_R .

Тактические цели перечисленных систем следующие. Система управления движением судна C_C предназначена для компенсации динамических, навигационных и ситуационных возмущений. Назначением системы навигационной информации C_I является минимизация информационных шумов и получение полной и достоверной информации об окружающей обстановке с учетом ограничения на время измерений. Тактическая цель системы обеспечения структурной устойчивости C_R заключается в поддержании максимального уровня эксплуатационной надежности при наличии ограничений на стоимостные затраты.

Первую страту получаем путем дальнейшей декомпозиции систем C_C , C_I и C_R . В частности, система навигационной информации C_I в своем составе содержит совокупность навигационных приборов А, В, F и Н с имеющимися между ними связями (рис. 1.). В свою очередь, система управления движением судна C_C , помимо реализаторов управляющих воздействий, содержит набор

альтернативных алгоритмов их формирования по информации, получаемой от системы C_I .

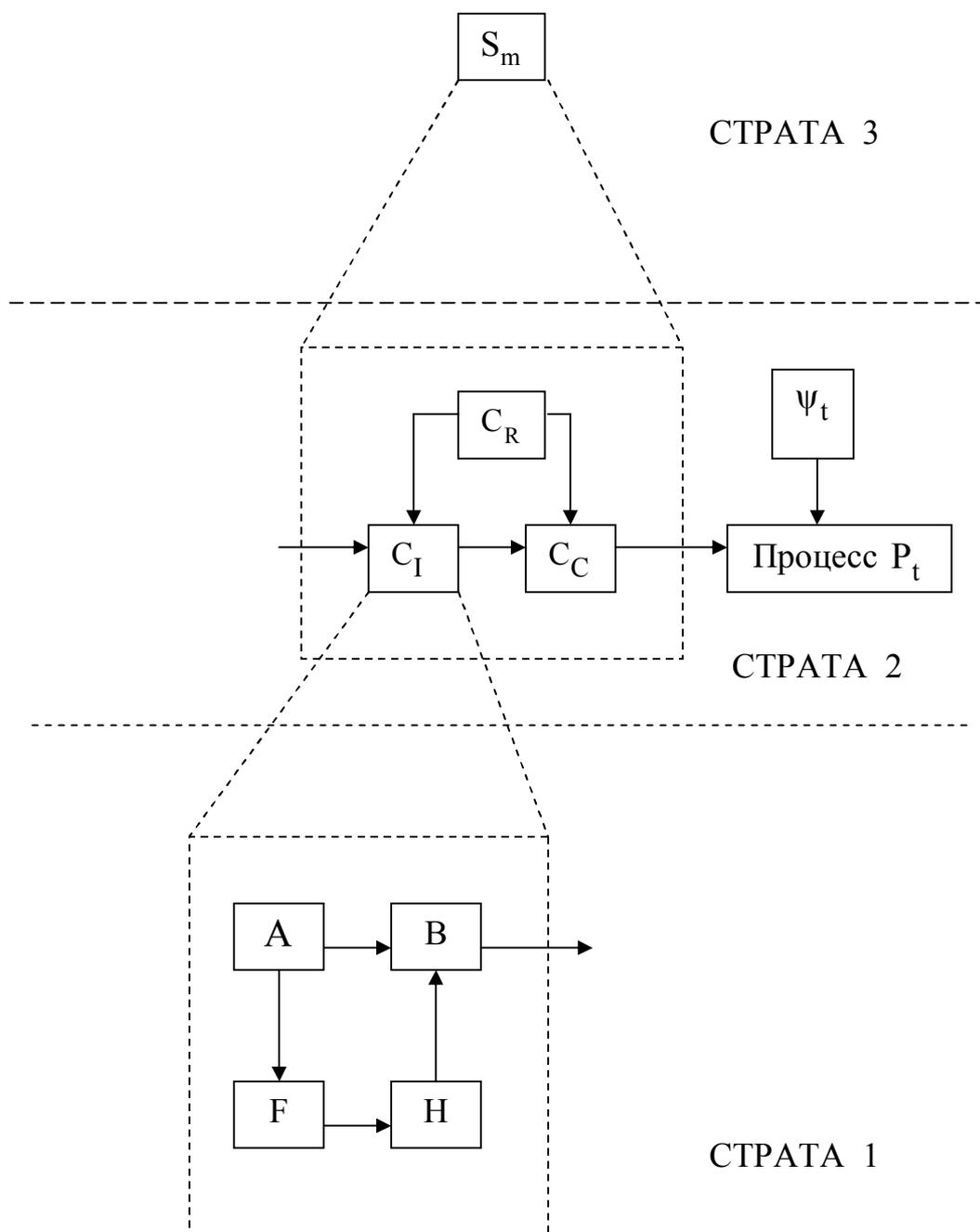


Рис. 1. Стратифицированное описание системы S_m

Обращаем внимание на то, что система S_m не является организационной иерархией, поэтому данный аспект описания S_m отсутствует.

Из анализа рис. 1 следует, что вторая страта является многослойной иерархической системой [1], так как на ней производится решение задачи, которое содержит несколько уровней сложности и решение каждого

вышестоящего уровня параметризует задачу следующего нижнего уровня (рис. 2).

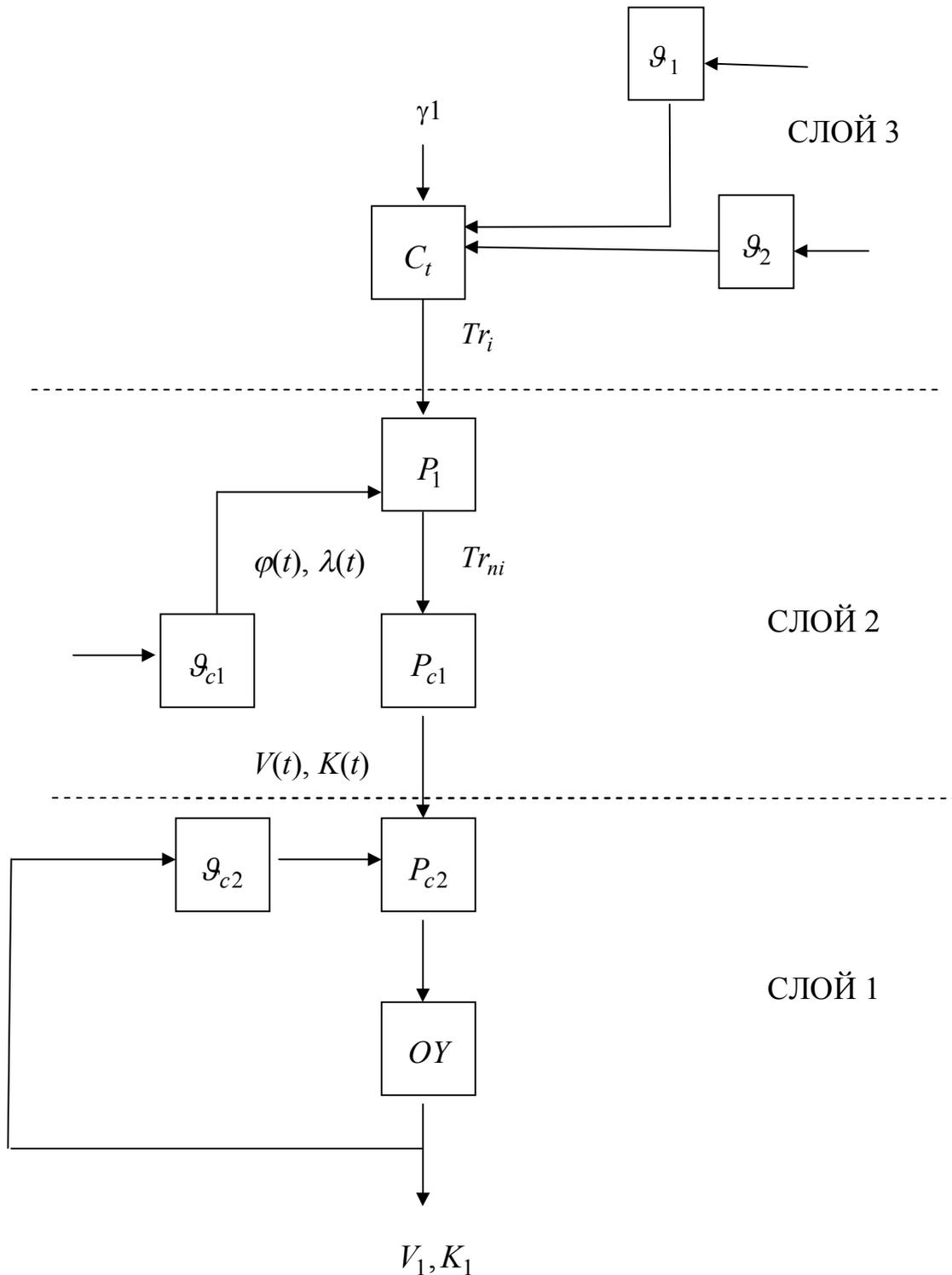


Рис. 2. Многослойное описание системы S_m

Так, слой наибольшей сложности, - третий, решает задачу выбора программной траектории движения судна, причем имеются два основных

аспекта этой задачи. Во-первых, константы среды на маршруте перехода (границы навигационных опасностей, изобаты и т.п.) и детерминированные процессы (течения, приливо-отливные явления) позволяют сформировать предварительную программную траекторию на весь переход судна.

Во-вторых, в процессе реализации программной траектории могут возникать ситуационные возмущения, порождаемые опасно движущимися окружающими судами, что требует расчета безопасных фрагментов программной траектории с целью компенсации ситуационных возмущений. Однако задачу компенсации ситуационных возмущений в данной работе рассматривать не будем. Следовательно, задачей третьего слоя является формирование программной траектории движения судна.

Полученное решение задачи программного движения судна является исходным для второго слоя решающей системы. На втором слое производится компенсация навигационных возмущений, т.е. решается задача проводки судна по заданной программной траектории. С этой целью осуществляется контроль текущего места судна, и формируются параметры движения (курс и скорость судна) для его проводки по программной траектории. При этом системой навигационной информации измеряются необходимые навигационные параметры и по результатам измерений рассчитываются корректирующие значения параметров движения.

На первом слое решения задачи производится стабилизация значений курса и скорости судна. Решением этой задачи являются значения оборотов винта (заданной скорости) и угла кладки пера руля.

Третий слой (рис. 2) содержит системы \mathcal{G}_1 , \mathcal{G}_2 и C_t , с помощью которых происходит формирование исходной программной траектории. Причем \mathcal{G}_1 – система знаний о константах среды на маршруте перехода, \mathcal{G}_2 – система знаний о детерминированных процессах среды, C_t – система, решающая и при необходимости корректирующая программную траекторию движения судна. Таким образом, системы \mathcal{G}_1 , \mathcal{G}_2 и C_t решают задачу выбора исходной траектории движения судна Tr_i .

Второй слой содержит системы P_1 , P_{c1} и \mathcal{G}_{c1} , которые решают задачу проводки судна по заданной траектории. Назначение систем следующее:

P_1 – система, осуществляющая прогноз траектории движения судна на некоторый участок Tr_{ni} , P_{c1} – система, реализующая стабилизацию судна на траектории Tr_{ni} , производя расчет поправок ΔK и ΔV с целью компенсации сноса судна, \mathcal{G}_{c1} – информационная система, реализующая обратные связи и определяющая текущие координаты судна $\varphi(t)$ и $\lambda(t)$.

Системы P_{c2} и \mathcal{G}_{c2} составляют первый слой, и решают задачу стабилизации параметров движения судна. Система \mathcal{G}_{c2} является информационной и определяет текущие параметры движения судна, система P_{c2} является системой стабилизации судна по курсу и скорости и она

формирует управляющие воздействия: обороты двигателя $n(t)$ и угол кладки пера руля $\beta(t)$.

Следует отметить, что все три уровня системы принятия решения S_m функционируют в циклическом режиме, только периодичности циклов на каждом уровне разные.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, система S_m является сложной иерархической системой, содержащей по функциональному признаку три страты, а по признаку декомпозиции решаемой задачи – три слоя. В дальнейшем для оценки уровня эффективности функционирования системы принятия решений по управлению движением судна S_m целесообразно разработать соответствующий показатель эффективности, учитывающий полученное формальное описание системы S_m .

ЛИТЕРАТУРА

1. Месарович М. Теория иерархических много-уровневых систем / Месарович М., Мако Д., Такахара И. - М.: Мир, 1973. - 344 с.
2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

УДК 656.61.052

**THE CONCEPT OF ECONOMIC ASSESSMENT OF
NAVIGATION RELIABILITY****К ВОПРОСУ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
НАДЕЖНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ**

V.G Torskiy ¹, *PhD, professor*, V.P. Topalov ¹, *PhD, Captain, professor*,
V.V. Torskiy, *Chief officer*

В.Г. Торский ¹, *к.т.н., профессор*, В.П. Топалов¹, *к.д.н., к.т.н., профессор*,
В.В. Торский ², *ст. помощник капитана*

¹ *National University Odessa Maritime Academy, Ukraine*

² *Westerngeco*

¹ *Национальный университет «Одесская морская академия», Украина*

² *Westerngeco*

ABSTRACT

Navigation is a kind of activity aimed to accomplish economical, cultural, scientific, recreational and other human needs. Safety of the working operations and processes is the condition for its effective implementation. Reliability of navigation is a question of high importance related to seagoing vessel's goal achievement, that is in fact the reliability of the "Human - Navigational Complex" system.

The reliability of such system determined by the level of adaptation for functions performance and reflected in the ship's financial results.

Certain accident rate, not optimal shipping and related losses matches to certain level of navigation reliability.

Economic assessment allows establishment of optimal in economical sense level of navigation reliability, under which the maximum possible profit from the operation of the vessel achieves..

Keywords: reliability of navigation, shipping quality, navigational complex, profit.

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

В современных условиях работы морского транспорта большое значение придается проблеме обеспечения высокой надежности перевозки грузов на морских судах. Под этим подразумевается использование на всех этапах перевозочного процесса совокупности средств и мероприятий, способствующих сохранной доставке грузов в заданные пункты в установленные сроки.

Названная проблема включает ряд частных задач, среди которых особое место принадлежит обеспечению надежной работы флота, осуществляющего грузоперевозки. Актуальность решения этой задачи обусловлена спецификой

деятельности морского транспорта, для которой характерна реально существующая опасность аварий (отказов) целых производственных предприятий - морских судов. Развивающиеся тенденции мирового судоходства: увеличение интенсивности движения, количества, размеров и скорости судов способствуют повышению этой опасности, а возрастающая стоимость судов и грузов - увеличению убытков от аварий, вызванных потерей судна, груза, фрахта, загрязнением моря.

По имеющимся данным, ежегодно в море гибнет около 100 судов, число аварийных происшествий исчисляется тысячами, а связанные с этими событиями убытки составляют сотни миллионов долларов. Исследования показывают, что значительная часть всех аварий происходит по навигационным причинам, т.е. вследствие неверного управления судном во время плавания. На эти аварии приходится и большая доля убытков морского транспорта как издержек из-за недостаточной надежности перевозок грузов. Причем убытки от навигационных аварий (посадок на мель и столкновений судов) – это только часть убытков, возникающих в результате ошибок судовождения. Другая их составляющая, которую трудно количественно оценить, является следствием неэффективных в экономическом смысле решений по управлению судном в процессе грузоперевозок. К ним относятся, например, выбор неоптимального (по минимуму ходового времени) маршрута следования судна, неверные оценки текущих ситуаций и т.п. Все они в конечном итоге приводят к отклонению от наивыгоднейшего пути, задержкам во время плавания и отрицательно сказываются на экономических результатах работы судна. Из практики известно, что только изредка такие решения вызываются особыми обстоятельствами (обход зоны урагана, оказание помощи бедствующему судну), поэтому в общем случае их можно причислять к недостаткам судовождения.

Из приведенных рассуждений очевидно, что эффективность работы морского транспорта прямо зависит от качества судовождения и улучшается с повышением последнего. Это предопределяет высокие требования к надежности судовождения, так как по определению «надежность – это качество, развернутое во времени».

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

Ходовые мостики современных морских судов насыщены многочисленными приборами, индикаторами и органами управления. Такой электронный комплекс предназначен для решения задач навигации, радиосвязи, контроля технических средств судов и совместно с судоводителем образует человеко-машинную систему управления движением судна. Основное назначение этой системы состоит в обеспечении вахтенного офицера достаточными, достоверными и удобно представленными данными, необходимыми для принятия решений в различных условиях плавания. Однако опыт мореплавания убеждает, что улучшение навигационных средств не привело к существенному сокращению числа аварий. Результаты

расследования аварий на море свидетельствуют, что в большинстве случаев причины их комбинированные: техника плюс люди. Другими словами, недостатки и слабости, присущие персоналу и техническим устройствам судов, которые особенно заметно проявляются в процессе их взаимодействия («человек-машина») в сложных условиях плавания, признаются основными причинами аварий на флоте [1-5]. Очевидно, что в настоящее время повышение надежности судовождения является актуальной проблемой, требующей соответствующей разработки и решения. При этом важное значение имеет экономический аспект: сколько нужно затратить денег, чтобы получить достаточный уровень надежности судовождения и, следовательно, безопасности судна на переходе морем.

Цель статьи рассмотреть один из возможных подходов к обеспечению оптимального в экономическом смысле уровня надежности судовождения.

Изложение основного материала исследований

Вследствие относительной новизны надежностной оценки качества транспортной продукции представляется необходимым сначала сформулировать основные определения, имеющие отношение к данной проблеме. Процесс грузоперевозки рассматривается как процесс функционирования некой человеко-машинной транспортной системы, составляющими элементами которой являются основные производственные подразделения морской отрасли – суда и порты. Под термином «качество» понимается степень пригодности продукции для использования по назначению. Способность продукции сохранять качество при данных условиях эксплуатации определяет ее надежность. Исходя из этого и учитывая, что целевое назначение морской перевозки грузов заключается в своевременном и сохранном перемещении груза между заданными пунктами, очевидно, что ее качество определяется двумя основными свойствами: скоростью доставки и сохранностью грузов. При качественной перевозке фактические показатели названных свойств должны соответствовать установленным (плановым) стандартам.

Каждая грузоперевозка - это результат деятельности определенного комплекса «порт-судно» как звена более сложной транспортной системы, включающей судовладельца, обслуживающие предприятия. Таким образом, качество перевозки прямо зависит от качества работы этого комплекса, его элементов, их взаимодействия в процессе производства. Учитывая, что такие комплексы предназначены для многократных перевозок, необходимым условием эффективного функционирования морского транспорта следует считать надежную работу портов и флота, то есть их способность во взаимодействии стабильно поддерживать заданный уровень качества грузоперевозок.

Элементы транспортной системы находятся под влиянием многочисленных возмущений, таких как: гидрометеорологические и навигационные условия, сбои в работе смежных видов транспорта, изменения

коммерческой ситуации; поэтому нужно ожидать, что в их работе будут происходить отказы. Под отказом в данном случае понимается утрата или видоизменение свойств элемента, которые существенно снижают надежность функционирования и, следовательно, эффективность системы перевозок, но не вызывают его полного прекращения. Характерные отказы в деятельности портов: отсутствие необходимых складских помещений, недостаточная интенсивность перегрузочных работ, остановки из-за погодных условий; в практике работы флота — это частичная или полная потеря мореходных качеств судов по навигационным и другим причинам.

Надежностная оценка функционирования системы грузоперевозок, являясь достаточно общей, все же отражает лишь одну сторону дела. Необходимо помнить, что любые мероприятия по повышению надежности, улучшая качество грузоперевозок, влекут за собой дополнительные расходы. Очевидно, что окончательное суждение о целесообразности тех или иных мероприятий и необходимой надежности элементов системы перевозок должно основываться на экономических оценках.

В настоящее время имеются технические возможности для создания высоконадежных транспортных систем, например, посредством многократного резервирования; однако на практике они не реализуются, ибо стремление к максимальной надежности, как правило, оказывается экономически неоправданным. С другой стороны, нельзя допускать, чтобы надежность их работы была чрезмерно низкой, так как снижение качества перевозок (несохранность или нарушения сроков доставки груза) вызывают ухудшение экономических результатов работы флота, снижают конкурентоспособность судоходного предприятия.

Судовождение как процесс, включающий выбор пути следования судна и управление его движением, осуществляется операторами-судоводителями, которые при этом используют известные им методы, доступные пособия и технические средства. Таким образом, в качестве структурного элемента сложной «системы судовождения» можно рассматривать человеко-машинный комплекс, основным назначением которого является выработка управляющих воздействий с целью обеспечения безаварийного перемещения судов между заданными пунктами. Параметры управляющего сигнала должны соответствовать текущим задачам управления и зависят от сложившейся обстановки.

В соответствии с положениями теории надежности отказом навигационного комплекса (НК) можно считать выработку сигнала, не обеспечивающего в данной ситуации эффективного решения задач управления; в частном случае сигнал может вообще отсутствовать. Следовательно, отказом НК является и неверный выбор курса в результате ошибочного определения места судна, и неправильный маневр при расхождении со встречным судном, обусловленный неполной информацией о параметрах его движения. В первом случае отказ приводит к экономическим потерям за счет отклонения судна от намеченного маршрута, во втором - убытки появляются в случае столкновения судов, как следствие отказа.

Таким образом, отказ навигационного комплекса еще не означает аварию судна, однако в одних случаях он является причиной, а в других – предпосылкой снижения экономических результатов от грузоперевозки.

Приведенные рассуждения позволяют определять надежность судовождения как способность НК осуществлять в течение требуемого промежутка времени безотказное управление судном при заданных режимах и условиях работы. Исходя из того, что отказы НК можно считать событиями случайными (они являются результатом совместного действия многочисленных факторов), целесообразно оценивать надежность судовождения вероятностным показателем. Таким критерием, например, может служить вероятность отсутствия отказов навигационного комплекса в течение времени рейса. Однако, с позиций экономического исследования, больший интерес вызывают не сами отказы, а их экономические последствия, то есть потери от аварий и неэффективного управления. Рассмотрим эти вопросы несколько подробнее.

Навигационные аварии – события редкие и происходят большей частью в стесненных условиях (проливы, подходы к портам), где главной задачей судовождения является обеспечение безопасного плавания.

На переходах открытым морем и в океане, вдали от навигационных опасностей, основной целью управляющего комплекса становится осуществление эффективного по экономическому критерию судовождения.

Исходя из этого и в соответствии с приведенным выше определением, надежность судовождения P_c в общем случае можно описать выражением:

$$P_c = P_{нп} \times P_{эп}, \quad (1),$$

где $P_{нп}$, $P_{эп}$ – соответственно, вероятность отсутствия навигационных происшествий и экономических потерь по навигационным причинам.

При практических расчетах с целью определения фактического значения P_c имеет смысл использовать формулу (1) для конкретных судоходных маршрутов (линий). В этом случае величина $P_{нп}$ может быть рассчитана путем синтеза через показатели надежности отдельных элементов НК. Очевидно, структура навигационного комплекса должна быть такой, чтобы величина P_c превышала минимально допустимый уровень надежности судовождения на данном маршруте, который можно определить, исходя из научно обоснованных требований к точностным, временным и другим качественным характеристикам НК. Основное требование при этом будет, по-видимому, предъявляться к точности и быстродействию НК при выработке управляющих сигналов в условиях неполной информации, что предопределяет необходимость создания структурной избыточности комплекса.

Существенной особенностью составляющей $P_{эп}$ общей надежности является то, что один или несколько элементарных отказов такого рода не приводят к полному отказу всей системы судовождения (выход за установленные временные и качественные параметры грузоперевозки), а снижает ее эффективность, то есть приспособленность к выполнению своих функций в заданных условиях. Разумеется, низкая эффективность отрицательно влияет на экономические результаты работы судна, особенно при многократных перевозках.

Добиться полного устранения таких отказов в настоящее время практически невозможно, поэтому целесообразно установить минимальную границу снижения эффективности, выход за которую считать недопустимым. В качестве характеристики этой границы можно принять такой уровень надежности судовождения, при котором обеспечивается получение прибыли не ниже заданной. В этом случае, наряду с рассмотренными, возникают дополнительные требования к НК: обеспечение возможности сбора и обработки достаточно большого объема информации с целью наиболее эффективного в экономическом смысле управления движением судна. Отказ системы судовождения должен как можно быстрее ликвидироваться, то есть НК работает как система с «восстановлением». Это обуславливает необходимость создания информационной и временной избыточности управляющего комплекса.

На основе изложенного можно сделать заключение о том, что надежность, являясь свойством управляющего навигационного комплекса, придает ему определенную ценность, которая определяется степенью приспособленности НК к выполнению своих функций и проявляется в финансовых результатах работы судна. Действительно, каждому уровню надежности судовождения соответствует определенный уровень аварийности, неоптимальных перевозок и связанных с этим убытков.

В общем случае система будет обладать оптимальной в экономическом смысле надежностью, если от ее эксплуатации, при прочих равных условиях, получается максимально возможная прибыль. Зная функциональную зависимость прибыли от надежности, можно найти зону экономически целесообразного повышения надежности судовождения. Однако, практически это трудно осуществимая задача. В качестве одного из более простых случаев рассмотрим следующий. Пусть два уровня надежности судовождения (все другие условия одинаковы) характеризуются, соответственно, величинами:

$P1, P2$ — вероятности безотказной работы НК;

$D1, D2$ — доходы рассматриваемых судов от грузоперевозок;

$C1, C2$ — затраты на создание и поддержание уровня надежности.

При этом соблюдаются условия: $C2 > C1$; $D2 > D1$, то есть во втором случае система надежней, что потребовало дополнительных затрат:

$$\Delta C = C2 - C1. \quad (2)$$

Очевидно, увеличение надежности до уровня $P2$ имеет смысл в случае, если $\Delta D = D2 - D1 > \Delta C$. В финансовом результате функционирования второй

$$П = \Delta D - \Delta C \quad (3)$$

Таким образом, повышение надежности системы судовождения может выступать в качестве своеобразного источника дополнительной прибыли. Положительная составляющая этой прибыли ΔD создается как результат повышения надежности судовождения и образуется за счет двух источников: сокращения ходового времени, то есть в конечном итоге увеличения провозной способности судна, и предотвращения возможных убытков в результате навигационных аварий.

Формулу (3) можно использовать в практических расчетах для оценки экономической целесообразности повышения надежности НК судов, работающих на определенных маршрутах. Расходы ΔC складываются из дополнительной стоимости элементов НК (навигационных устройств) и повышения стоимости суточного содержания судна за счет добавочных амортизационных отчислений. Соответствующая величина ΔC может быть найдена расчетным путем.

В более широком плане, задача оптимизации надежности судовождения должна решаться по следующим направлениям:

- обеспечение максимальной надежности НК при ограничении его стоимости;
- обеспечение требуемой надежности при минимальных затратах на создание и эксплуатацию навигационного комплекса.

Для решения этих задач необходимо выполнить дополнительные исследования, этапы которых можно сформулировать следующим образом:

1. Оптимизация надежности элементов НК по критерию стоимости.
2. Обоснование требований к надежности системы судовождения в целом, исходя из разработанных нормативов функционирования НК в предвидимых реальных ситуациях работы судна.
3. Обоснование структурных схем использования элементов НК в различных ситуациях (условиях) плавания, как «перестраивающейся» навигационной системы, обеспечивающих максимальную надежность судовождения.
4. Оптимальный по максимуму надежности НК подбор элементов навигационного комплекса, с учетом условий предстоящей эксплуатации судна и ограниченного уровня затрат.

5. Обоснование оптимальных режимов технического обслуживания, профилактики, ремонта средств навигации и связи — элементов НК.

По многим упомянутым вопросам уже давно ведутся исследования, по некоторым начаты разработки, и они еще ждут своего разрешения.

При этом необходимо учитывать, что в реальных условиях работы системы судовождения периодически изменяется взаимодействие и значимость компонентов надежности, к которым относится число звеньев НК, характер их связей и надежность каждого звена.

Звено системы образуют элементы, обеспечивающие решение различных частных задач судовождения. Последние в зависимости от содержания могут быть причислены к одной из трех групп, функции которых состоят в следующем:

1. Сбор и обработка информации — выработка, передача, восприятие, переработка и представление информации о сложившейся навигационной обстановке.
2. Выработка управляющего сигнала — анализ поступивших данных и выработка сигнала управления судном, соответствующего конкретной ситуации.

3. Исполнение сигнала, то есть трансляция его на органы управления судном и воздействие с их помощью на параметры движения.

Каждая группа задач решается соответствующей группой звеньев, которые по этому признаку можно классифицировать как информативное, управляющее, исполнительное. Навигационная система в каждом конкретном случае создается путем последовательного соединения указанных групп звеньев, однако внутри этих групп звенья могут соединяться по любой схеме: последовательно, последовательно-параллельно и параллельно, в зависимости от ситуации.

Таким образом, общую надежность судовождения P_c можно выразить через надежности соответствующих групп звеньев, то есть:

$$P_c = P_1 \times P_2 \times P_3 \dots P_i, \quad (4)$$

что в совокупности с формулой (1) создает предпосылки для оценки соответствия экономически целесообразной надёжности НК расчетному минимально допустимому ее уровню при заданных условиях плавания судна.

Следует отметить, что характерной особенностью навигационного комплекса является дублирование с помощью разнотипных звеньев. Это значит, что для решения одной задачи параллельно включаются несколько звеньев, реализующие разные принципы. Большинство звеньев первой группы используется эпизодически и, как правило, не одновременно. Они включаются в работу по усмотрению оператора – судоводителя с целью уточнения или получения данных о текущей обстановке. Таким образом, в процессе управления судном производится, по существу, оперативный набор рабочей схемы навигационного комплекса, то есть перестройка управляющей системы. При этом следует иметь в виду, что наличие данного звена в составе НК еще не означает возможности его использования в рабочей схеме, так как некоторые из них неавтономны и работают только при определенных условиях (в зоне действия береговых систем, при отсутствии помех и т.п.)

Надежность навигационного комплекса в значительной мере определяется надежностью человеческого звена, тем более, что от этого зависит правильность выбора схемы управляющего комплекса в конкретной ситуации. Проблема надежности действий человека в психологии почти не разработана. Одним из труднейших вопросов при этом считают установление критериев надежности. Дело в том, что описание свойств человека-оператора еще не дает достаточных оснований для суждений о надежности его работы. В составе системы оператор выступает как звено саморегулирующееся по не изученным пока законам, и это особенно явно проявляется в критических ситуациях.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что надежность человека-оператора в общем случае обусловлена тремя факторами:

– степенью инженерно-психологической согласованности техники с психофизиологическими возможностями оператора для решения возникающих у него задач;

– уровнем подготовки и натренированности оператора при выполнении задач;

– физиологическими данными, в частности особенностями нервной системы, состоянием здоровья, порогами чувствительности, а также психологическими особенностями его личности.

В практической деятельности надежность оператора в значительной мере зависит от характера решаемой задачи, условий работы, особенностей техники и т.п. Нужно также учитывать компенсаторные возможности человека-оператора, позволяющие в данном конкретном виде деятельности восполнить недостатки одних качеств за счет других. Однако человек способен и положительно влиять на надежность системы. Он может обнаруживать и устранять отказы машины в случае их возникновения, может, даже при отдельных сбоях, удерживать вахтенные параметры машины в заданных пределах и не допускать при этом ее полного отказа. Человек с его большими приспособительными и творческими возможностями самим фактом своего участия в системе управления судном способствует повышению ее надежности.

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению

Следует отметить, что поднятые в настоящей статье вопросы рассмотрены в постановочном плане и далеко не исчерпывают всех проблем экономического обоснования необходимой надежности морских грузоперевозок и возможных путей их решения. Вместе с тем очевидно, что рассмотренный подход позволяет объективно оценить достигнутый в этом отношении качественный уровень и наметить эффективные пути его дальнейшего улучшения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahvenjarvi S. Poor Monitoring of the Navigation and Steering Equipment in causes the reaction time in Fault Situations. /S. Ahvenjarvi / 7-th Annual General Assembly and Conference. October 16-18, 2006. The International Association of Maritime Universities.
2. Hadnett E. Bridge too Far. / E. Hadnett // «Seaways», NI, London, Jan, 2008
3. N.Joykody, Liu Zhengiang. Modern Tehnology. Mariners awareness, competence and confidence/ N.Joykody, Liu Zhengiang // Seaways, NI-September 2008, p. 27-30
4. Lutzhoft M. The Technology Great when it Works. Maritime Technology and Human Integration on the Ship's Bridge / «Seaways», NI, London, June, 2005.
5. Топалов В.П., Торский В.Г., Торский В.В. о надежности функционирования системы «Судоводитель - навигационный комплекс»// Судовождение. Сб. Научных трудов/ ОНМА, Вып. 22 – Одесса, «Информиздат», 2013 –с. 211-218

УДК 656.61.052.484

BLOCK DIAGRAM OF THE ALGORITHM FOR CALCULATING THE MANEUVER OF LAST MOMENT

БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА МАНЕВРА ПОСЛЕДНЕГО МОМЕНТА

A.M. Berestovoy, PhD., professor, O.Y. Yanchetsky, PhD student, A. A. Chernysh, PhD student

А.М. Берестовой, д.т.н., профессор, А.В. Янчецкий, аспирант, А.А. Черныш, аспирант

AMI NUOMA, Ukraine

АМІ НУОМА, Україна

ABSTRACT

When selecting the actual actions to maneuver of last moment, there are some difficulties that hinder concerted action in a situation dangerous proximity of vessels. In the future, it is advisable to conduct further analysis to determine the distance of the convergence, the forces acting on the ship, the time interval between the rudder, speed and resistance, respectively, which requires some research.

Key words: maneuver of last moment, forces, analysis, pivot point, block diagram.

Постановка проблемы в общем виде

В процессе маневрирования судов наступает момент, когда происходит чрезмерное, опасное или аварийное их сближение, когда судоводитель не может выполнять расчеты по выбору маневра и ему необходима помощь в виде системы поддержки принятия решения. Такая система, должна оперативно в момент наступления сближения выдать рекомендации по виду маневрирования. Не смотря на то, что в настоящее время формализованные модели (расчетные схемы) разработаны достаточно подробно, блок-схемы алгоритмов выполнения ряда расчетов разработаны не достаточно.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является разработка блок-схемы алгоритма расчетов маневра судна для предупреждения чрезмерного, опасного или аварийного его сближения с другим судном, что может являться функциональной схемой поддержки принятия решения.

Анализ последних исследований и публикаций по решению проблемы

В работах [1, 2] рассмотрены вопросы обеспечения навигационной безопасности при управлении движением судов при их сближении. При этом отсутствует четкое определение термина «маневр последнего момента», под

которым обычно понимают маневрирование, направленное на предотвращение столкновения судов при неожиданно определенной визуальной угрозе столкновения, когда на обдумывание или решение задачи нет времени и необходимо действовать мгновенно, применяя маневры «лево или право на борт», «полный задний ход», а чаще их сочетание.

Термин «маневр последнего момента» можно кратко объяснить множеством его характеристик, что требует проведения научных исследований в направлении разработки соответствующих практических рекомендаций судоводителям.

Цель «маневра последнего момента» (МПМ) - это расхождение судна с препятствием на безопасном расстоянии, а так же избежание касания, а не разойтись на расстоянии более заданного и тогда маневр последнего момента достигнут, даже если суда разошлись на расстоянии менее заданного.

В работе [3] приведены аналитические зависимости на основе аксиом на базе которых разработана модель процесса расхождения с одиночной целью.

На рис 1. представлена схема движения судна с переложенным рулем и подробно описано влияние различных сил на судно.

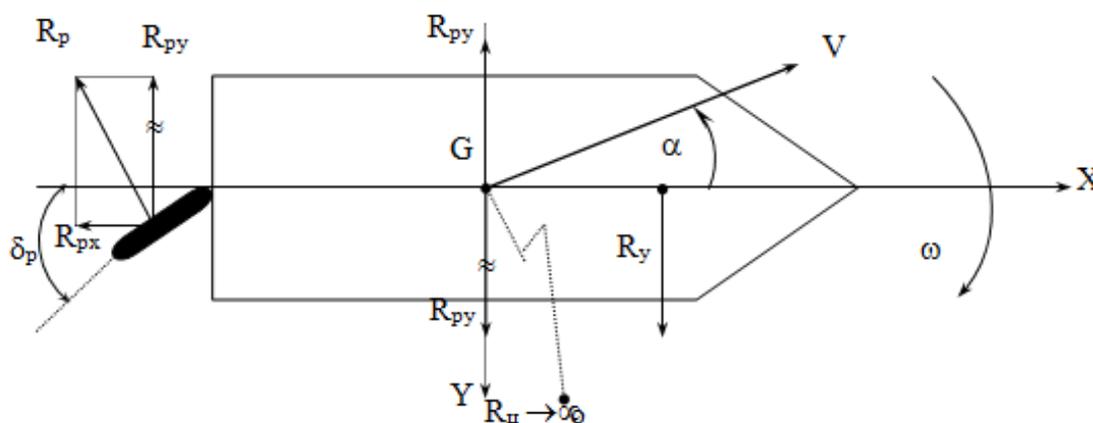


Рис. 1 Силы, действующие на судно с переложенным рулем в начальной стадии поворота судна.

Под влиянием поперечной составляющей, корпус испытывает приложенную в центре тяжести силу R_{py} и момент M_p относительно вертикальной оси Z .

После начала поворота под влиянием R_{py} центр тяжести судна приобретает боковое перемещение во внешнюю сторону поворота - обратное смещение. При этом, появляется угол дрейфа α , а значит и поперечная гидродинамическая сила R_y на корпусе, направленная внутрь поворота.

Её точка приложения в соответствии со свойствами крыла смещена в нос от центра тяжести, а момент силы M_r имеет тот же знак, что и момент руля M_p , поэтому появляется и начинает быстро возрастать угловая скорость ω , рис 1.

При движении центра тяжести G по криволинейной траектории с радиусом $R_{ц}$, каждая точка по длине судна описывает относительно общего центра O

свою траекторию, значение которой возрастает по мере удаления в сторону кормы. В нос от центра тяжести углы дрейфа уменьшаются.

В настоящее время методика формирования блок-схем и алгоритмов выполнения расчетов по предотвращению столкновения судов практически отсутствует.

В работе [4] рассмотрена система обеспечения движения и управления судна, а также построение автоматических систем управления курсом, скоростью и его положением. Одновременно рассмотрены основные задачи электронных систем и методы информационной поддержки принимаемых решений по управлению движением. Однако вопросы оценки опасного сближения с другими судами и объектами, а так же соответствующие системы поддержки принятия решений по предупреждению аварийного происшествия не рассмотрены.

Проанализировав ряд аксиом для расхождения [3], можно сделать вывод, что цели опасны и существует столкновение, а так же выполняется условие $(d\Pi/dt)=0$, $(d\Pi/dt)<0$.

Для получения аналитических зависимостей и учета маневренных характеристик судна при выполнении маневра последнего момента в момент сближения, необходимо определить на каком расстоянии нужно начинать изменять параметры движения и когда наступает время последнего момента, при котором еще можно предупредить столкновение.

Зависимости для оценки расстояния в момент начала маневрирования имеют вид [3]:

$$D_{\text{ПМТ}} = H_{\text{T}}M\sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (1)$$

$$D_{\text{ПМП}} = H_{\text{П}}M\sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (2)$$

$$D_{\text{ПМЛ}} = H_{\text{Л}}M\sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (3)$$

где $H_{\text{T}}M$ – расстояние, которое пройдет собственное судно от момента подачи команды на задний ход до полной остановки;

$H_{\text{П}}M$ – расстояние, которое пройдет собственное судно, от момента подачи команды «право на борт» до момента расхождения;

$H_{\text{Л}}M$ – расстояние, которое пройдет собственное судно от момента подачи команды «лево на борт» до момента расхождения;

k – относительная скорость судна.

Приведенные зависимости (1)-(3) позволяют выработать ряд необходимых рекомендаций по выполнению маневра последнего момента, а также автоматизировать процесс выбора его вида, изображенный на рис 2. [5]

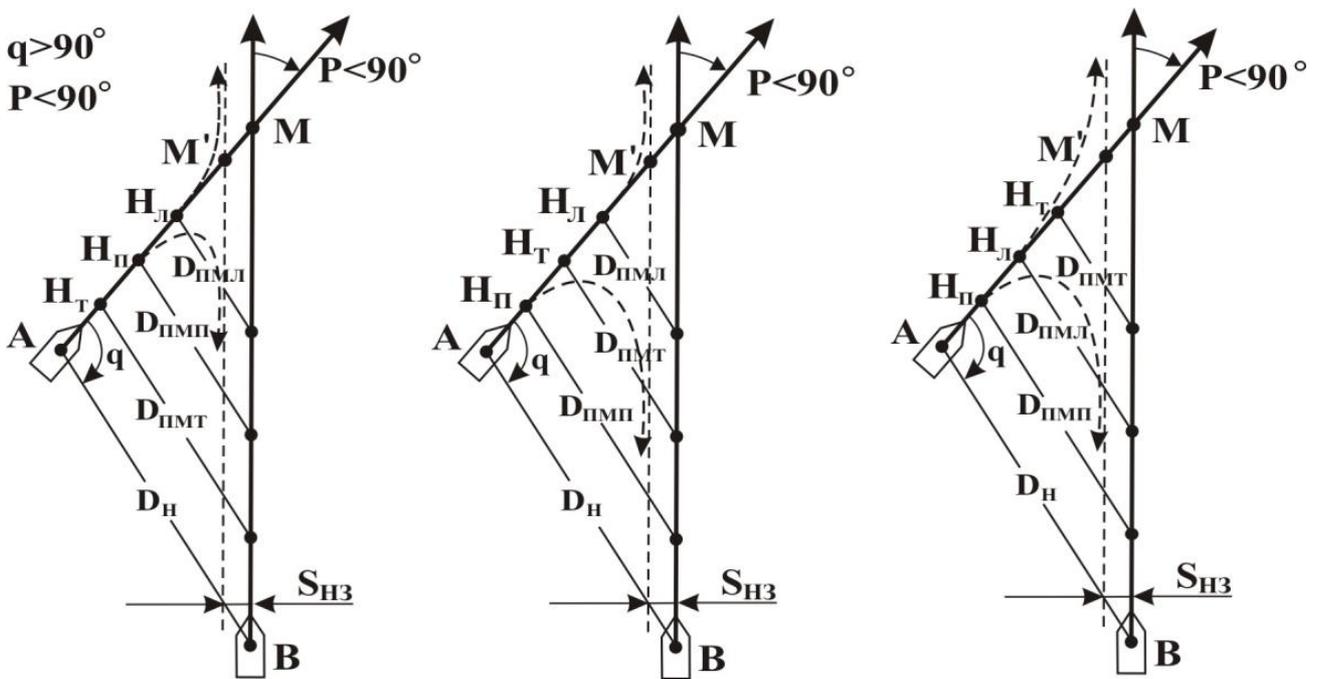


Рис 2. Расчетная схема для оптимизации выбора маневра последнего момента

А и В – суда, идущие своими курсами; H_T – начало торможения; $H_П$ – начало отворота вправо; $H_Л$ – начало отворота влево; S_{H3} – величина навигационного запаса; $D_{ПМТ}$, $D_{ПМП}$, $D_{ПМЛ}$, – расстояние между судами в момент начала торможения, отворота вправо и влево соответственно; P – угол пересечения курсов; MM' – точка пересечения курсов до и после поворота; q – курсовой угол.

Учитывая вышеупомянутые зависимости, момент времени, когда следует выполнять МПМ торможением, определяется формулой [3]:

$$T_{ПМТ} = (D_H - D_{ПМТ})/V_0 \cdot R, \tag{4}$$

где D_H - расстояние до другого судна, в момент начала расчетов

Время наступления маневра последнего момента отворотом влево:

$$T_{ПМЛ} = (D_H - D_{ПМЛ})/V_0 \cdot R, \tag{5}$$

Время наступления маневра последнего момента отворотом вправо будет иметь вид:

$$T_{ПМП} = (D_H - D_{ПМП})/V_0 \cdot R, \tag{6}$$

Для определения выбора маневра последнего момента необходимо рассчитать и произвести сравнение указанных видов маневров, а так же определить расстояние до другого судна и время, когда наступает последняя возможность предупредить столкновение маневром собственного судна с учетом навигационного запаса и сил действующих на него. Такие расчеты

рекомендуется выполнять заблаговременно для режима движения собственного судна и другого, которое является опасным.

Блок-схема алгоритма расчета вида маневра для предупреждения чрезмерного, опасного или аварийного сближения представлена на рис 3.

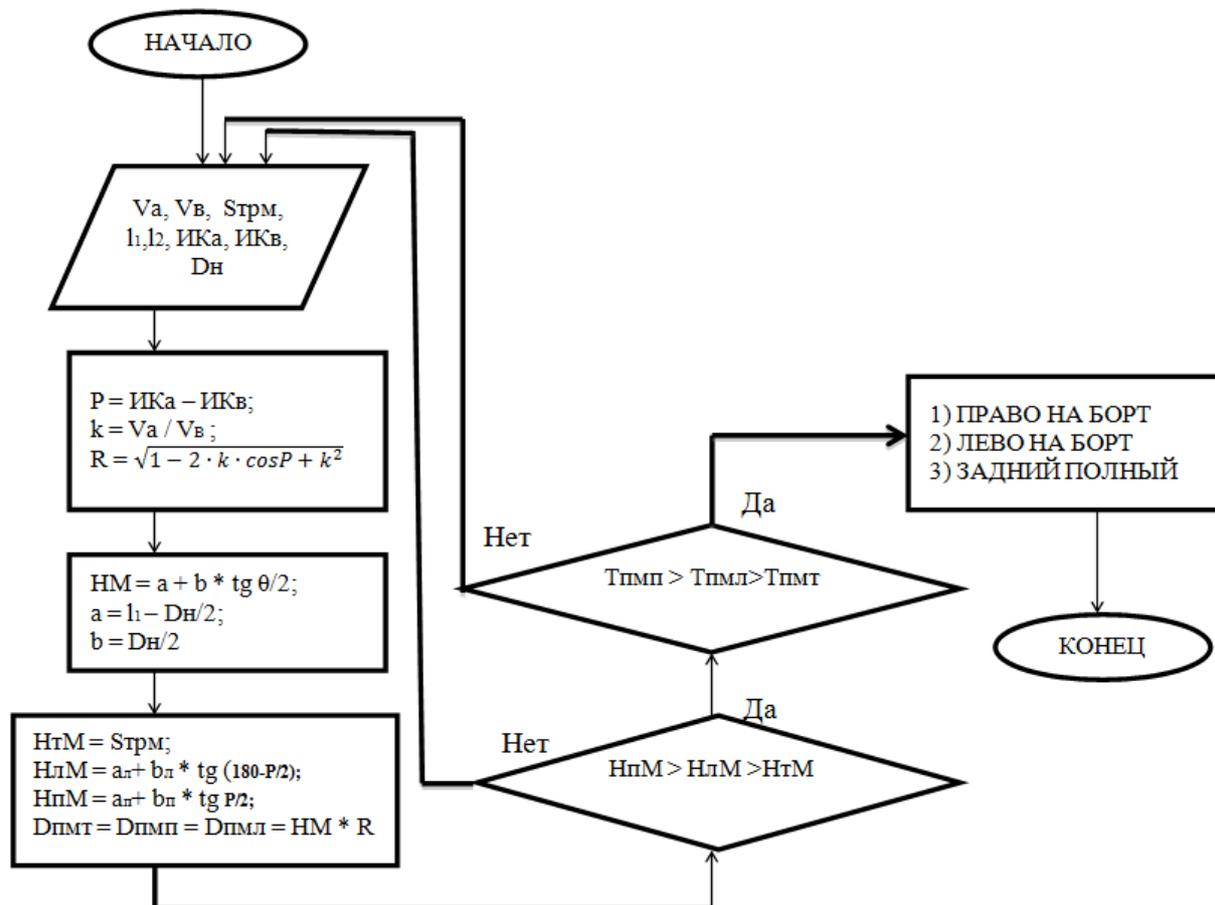


Рис. 3 Блок-схема алгоритма расчета вида маневра

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

При выборе актуального действия осуществляемого маневра последнего момента существуют определенные сложности, которые затрудняют согласованные действия в ситуации опасного сближения судов. Для этой цели разработана одна из возможных блок-схем алгоритма расчета вида маневра последнего момента. В дальнейшем целесообразно провести дополнительный анализ в части определения расстояний сближения, сил действующих на судно, промежутков времени между перекладками руля, скорости движения и соответственно сопротивления, что требует определенных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ольшамовский С. Б. Маневр последнего момента / С. Б. Ольшамовский, А. И. Студеникин, А. И. Кондратьев // Морской транспорт. Серия: Безопасность мореплавания, М.: Мортехинформреклама. – 2002. – Вып. 11 (402) – С. 1-31

2. Кондратьев А. И. Оперативный выбор безопасных маневров последнего момента в судовых навигационно-информационных системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13, 05.22.19. – Новороссийск СПб., 2002. – 113 с.
3. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002 – 208с.
4. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна – Одесса.: Латстар, 2002. – 310с
5. Мамонтов В. В. Алгоритмы и расчетные схемы оценки предисторий аварийного происшествия с судном. / В. В. Мамонтов // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып. 20 – Одесса: «ИздатИнформ», 2013. с. 144-154.

УДК 656.62.004

DYNAMIC MODELS OF ENC IN THE ESTUARIES OF RIVERS**ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНК НА УСТЬЕВЫХ УЧАСТКАХ РЕК****I.I. Gladkykh, DSc, professor, A.P. Checha, senior lecturer****И.И. Гладких, д.т.н., профессор, А.П. Чеча, ст. преподаватель***National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

The rapid development of modern information technology allows us to pose and solve the most complex tasks in the field skipper timely information on the occurrence of imminent danger and to choose ways to avoid it. One of these tasks is to create a dynamic ENC, an image which is changed and displayed in real time, depending on fluctuations in sea surface and bottom topography changes. In the article the algorithm for creating dynamic ENCs by mathematical modeling of the dynamics of the surface oscillations of the sea and sea bottom.

Keywords: dynamic of sea surface, sea bottom, pressure, density, temperature, fluid, fluctuation, motion, equation, dynamic modeling.

Problem setting in general and its connection with important scientific and practical tasks

The Maritime practice determined an established trend of increased accident vessels associated with the grounding in shallow water in the estuaries of rivers. In these areas, there are permanent dynamic processes associated with changes in the bottom relief, changes in water levels in rivers and seas, the excitement ebbs and surges etc. In these circumstances, as is often the areas of coastal vessels with a limited draft, it is important to take into account the dynamic processes occurring in the environment. For instance, in the close maritime area of the Danube estuary, nearest the outlet Bystroe high of the waves reaches up to 7m where depth average is about 8-12m. It is clear that for passing ships in this weather you need to know the depths dynamic components of the changes in real time. So, as practice shows, for safety navigation this dynamic should be taken into account in real time.

Analysis of recent achievements and publications, in which a solution of the problem and the selection of the unsolved aspects of the problem are being under studying

Solution of this problem is stipulation to the fact that the sea surface is in permanently motion, both in the vertical and horizontal planes. In confirmation of this fact we can show below the *figures 1,2* which eliminated changes in the sea level

surface in time, received from the satellites. In fig.1 we can see how to change the ocean level surface which was measured by satellite altitude observations. Daily change of the Black sea level surface reaches in fig.2

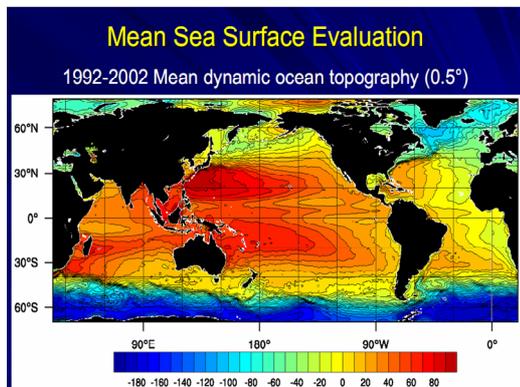


Fig.1. Ocean surface motion

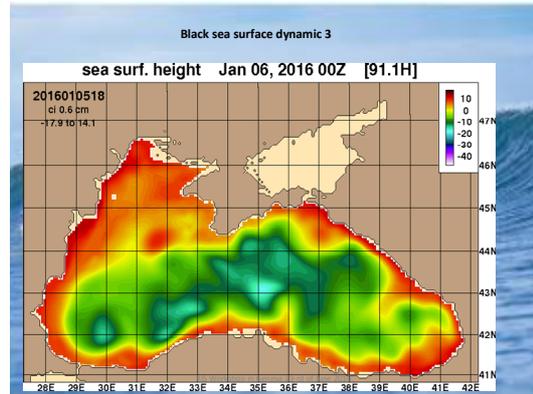


Fig.2. Black sea surface motion

The example of a research conducted by the Turkish, Ukrainian and Romanian scientists we can see that the Black Sea surface is in permanently motion as shown by the arrows in fig.3.

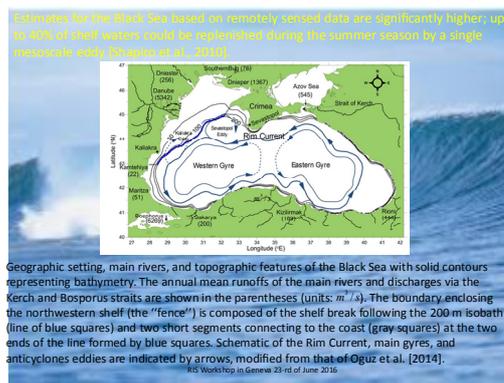


Fig.3. Black sea surface current

Purposes of the article (problem setting)

To create a mathematical model of the dynamics of the ENC in the mouth of the Danube carried out a number of studies, during which we installed hydro-meteorological buoy at the output of river (fig.4)



Fig.4. Hydrometeorological buoy

As a result of observation data obtained such that the parameters given below:

- Wind speed and direction; directional waves; visibility;
- Air temperature, air pressure and air humidity; buoy tracker;
- Current meter and sea temperature; current profiler; AIS unit.

At the same time hydro-meteorological observations performed repeated soundings by multibeam echosounder on the approaches to the Danube via the Bystroe Outlet, the results of which are shown in fig.5 (a,b,c,d)

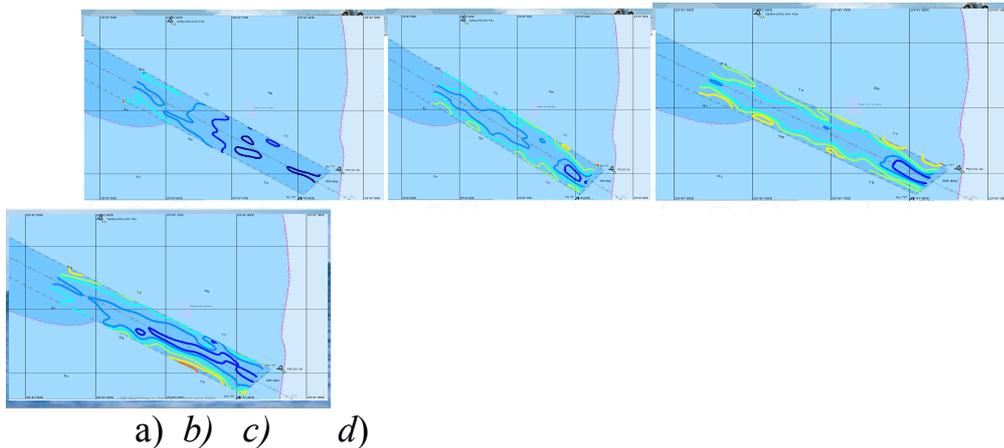


Fig.5. Soundings by multibeam echosounder

Main material research description with detailed analysis of the scientific results obtained

The results of repeated soundings indicate that in this area varies rather rapidly bottom relief over time. On the basis of field studies we developed an algorithm for constructing a dynamic model of the card shown in fig.6

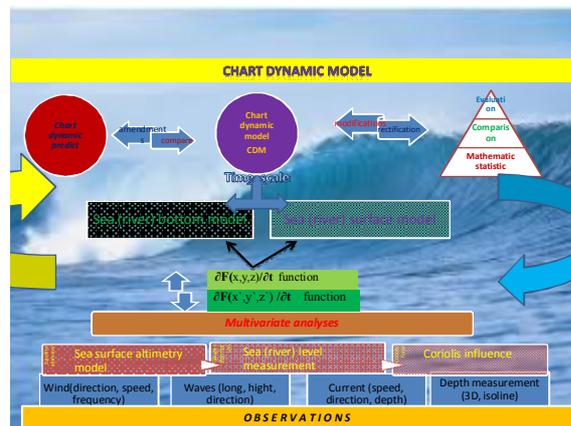


Fig.6. Chart dynamic modeling by algorithm

For modeling the dynamics of the sea level surface as a reference take Euler's equation to describe the motion of an inviscid fluid:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U, \nabla) = -\frac{1}{\rho} gradP + F \tag{1}$$

with condition that $div U = 0$. (2)

Remark, that equation (1) we obtain from second Newton's law, where

U – fluid velocity; P – fluid pressure; ρ – fluid density; F – function of parameters

(x,y,z) and- t - time.

Velocity $U(x,y,z,t)$ consist from components : $u(x,y,z,t)$; $v(x,y,z,t)$; $\omega(x,y,z,t)$ defined any point of surface (x,y,z,t) and t time.

Formulas (1) and (2) related to time $t \in (t_0; t_1)$.

We can take four restricted conditions, which is below [1]

∂D_1 – coastline;

∂D_2 – seasurface;

∂D_3 – floatingvessel;

∂D_4 – simply / coastalsurface.

For each condition we can define velocity vector properties – U .

For $\partial D_1; U_n = 0$ or $(U, n) = 0$.

For $\partial D_2 \rightarrow z = \xi(x, y, t)$ we following to the next conditions $\frac{\partial \xi}{\partial t} + (U, grad \xi) = \omega$;

$P = P_a$, where P_a – atmosphere pressure.

For $\partial D_3 \rightarrow G(x, y, z, t) = 0$ we following to the next conditions

$$\frac{\partial G}{\partial t} + (U, grad G) = 0.$$

For ∂D_4 we need certain velocity vector of explicit function. Whereas Euler's equations (1) and (2) closed to hyperbola, considering fluid in the field of action of potential forces:

$F = grad A$, where A – fluid flow potential in gravity field which action on the plumb line direction – z axis. $A = gz$.

For potential of movement velocity vector Γ along an arbitrary closed fluid circuit l is defined as

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} = \frac{d}{dt} \int_l (U, d_x) = 0. \tag{3}$$

Using the Stokes theorem, we can write

$$\int_l (U, d_x) = \int_\Sigma (rot U, U) d\Sigma, \tag{4}$$

where - Σ is surface with circuit l . Whereas Σ is arbitrary surface, it's mean that for all the time

$$rot U = 0, \tag{5}$$

and called vorticity. In (5) there is no rotation, in this reason we can use scalar function $\varphi(x,t)$ – velocity potential

$$U = grad \varphi, \tag{6}$$

here φ is harmonious function of Laplace

$$\Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \tag{7}$$

taking into account of inertia equation can be written

$$grad \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{u^2 + v^2 + \omega^2}{2} + \frac{P}{\rho} - A \right) = 0, \tag{8}$$

and equation Koshi LaGrange

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{u^2 + v^2 + \omega^2}{2} + \frac{P}{\rho} - A\right) = \Phi, \quad (9)$$

where $\Phi = \Phi(t)$ – arbitrary function at time t.

Assuming that

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= 0; U = \text{grad}\varphi \\ \frac{u^2 + v^2 + \omega^2}{2} + \frac{P}{\rho} - A &= \text{const} \end{aligned} \quad (10)$$

Equation of inviscid compressed fluid motion are shown below

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U, \nabla)U = -\frac{1}{\rho} \text{grad}P + F; \quad (11)$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\rho U) = 0; \quad (12)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\partial s}{\partial t} + (U, \nabla)_s = 0; \quad (13)$$

$$P = P(\rho, s), \quad (14)$$

where - s is entropy for water flow = const.

For shallow water we can write [2]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} = g \frac{\partial \xi}{\partial x}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + U \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g \frac{\partial \xi}{\partial y}; \quad (16)$$

as a result of the dynamics of the sea surface equation can be written in the form of a medium-sized changes in the turbulent field:

$$\frac{\partial U}{\partial t} - \left[1 - m \left(\frac{n}{m}\right) U\right] v + \frac{m}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} v_u \frac{\partial U}{\partial z} + F^u; \quad (17)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left[1 - m \left(\frac{n}{m}\right) v\right] U + \frac{n}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} v_v \frac{\partial v}{\partial z} + F^v; \quad (18)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} - g\rho = 0; \quad (19)$$

$$m \left[\frac{\partial U}{\partial x} + n \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v}{m}\right) \right] + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0; \quad (20)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} v_T \frac{\partial T}{\partial z} + F^T; \quad (21)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} v_S \frac{\partial S}{\partial z} + F^S; \quad (22)$$

$$\rho = \rho(T, S, P) \text{ in space } D(x, y, z) \quad (23)$$

Equations (17 – 23) making of solution our task in left side coordinate system(x,y,z),

where x – axis in along the latitude direction on east;

y - axis in along the longitude direction jn north;

z - axis in along plumb line direction in the center of earth.

D space is limited of ∂D for the undisturbed sea surface, i.e. $Z=0$, coastline Σ and bottom relief $H(x,y)$ along the normal n_H . U, ϑ, ω – components of the velocity vector; T – potential of the temperature; S – salinity; P – pressure; ρ – density; $\nu_u, \nu_\vartheta, \nu_T, \nu_s$ – coefficients of vertical turbulent velocity and diffusion; $\mu_u, \mu_\vartheta, \mu_T, \mu_s$ – coefficients of horizontal turbulent velocity and diffusion; l – Coriolis parameter.

CONCLUSION

Studies on the mouths of the Danube show us sufficiently intense dynamic processes as the water level of the surface and the bottom relief. On this basis, we propose in these areas to develop dynamic ENC that reflect the current situation isobaths in real time. An algorithm for constructing such ENCs proposed in this article.

REFERENCES

1. [K. E.Trenberth. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures / K. E.Trenberth, G. W.Branstator, D.Karoly// Journal of Geophysical research, 1998.- p. 210-265. - Wiley Online Library.](#)
2. A. J. Kettle. A global database of sea surface dimethylsulfide (DMS) measurements and a procedure to predict sea surface DMS as a function of latitude, longitude, and month / A. J. Kettle, M. O. Andreae, D. Amouroux, T. W. Andreae, T. S. Bates // *Global biogeochemical Cycles*, Volume 13, Issue 2, - June 1999, Pages 399–444.
3. S.H. Yueh. Polarimetric measurements of sea surface brightness temperatures using an aircraft K-band radiometer / S.H. Yueh, W.J. Wilson, F.K. Li // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.33, issue 1.- 1995, pages 85-92.
4. [T. Hengl. Mathematical and Digital Models of the Land Surface / T.Hengl, I.S. Evans// - *Developments in Soil Science. -Volume 33*, 2009, Pages 31–63. Geomorphometry — Concepts, Software, Applications](#)
5. Аббасов И. Б. Моделирование нелинейных волновых явлений на поверхности мелководья - М.: Физматлит, 2010. - 128 с.
6. Емельянов, С.В. Труды ИСА РАН: Алгоритмы. Решения. Математическое моделирование. Управление рисками и безопасностью - М.: Ленанд, 2014. - 102 с.

РЕФЕРАТЫ

УДК 656.61.052

Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С. Идентификация закона распределения погрешностей измерений // Судовождение: Сб. научн. трудов / НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 10–14.

В статье представлены результаты проверки гипотез распределения погрешностей навигационных измерений по статистическим материалам, полученным в реальных условиях эксплуатации. Показано, что погрешности измерений навигационных параметров, выборка которых сформирована в течение двух суток, подчинены смешанным законам обоих типов.

Ключевые слова: погрешности навигационных измерений, проверка гипотез распределения погрешностей, смешанные законы распределения.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – нет.

УДК 005.961:656.6

Бобыр В.А., Райнов А.О. Чувствительность судовой эргатической функции определение места судна//Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 15–25.

Определена чувствительность судовой эргатической функции определение места судна. Разработана методика оценки погрешностей определения широты и долготы места судна в зависимости от погрешности в измеряемом навигационном параметре. Установлены условия для уменьшения энтропии судовой эргатической функции определение места судна, при которых: 1) точность определения координат места судна будет находиться в пределах фактической точности измерения навигационного параметра; 2) точность измерения навигационных параметров будет максимальной.

Ключевые слова: судовая эргатическая функция, определение места судна, чувствительность, энтропия, погрешности измерений, навигационный параметр, широта и долгота места.

Библиография – 9 источников, иллюстраций – 0.

УДК 656.61.052.484

Бужбецкий Р.Ю. Формализация взаимодействия судов при опасном сближении // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 26–31.

Показано, что при опасном сближении пары судов между ними возникает взаимодействие, которое подробно описано в публикации. Взаимодействие направлено на компенсацию возникшего ситуационного возмущения

маневрами расхождения судов.

Кратко рассмотрена система бинарной координации, регулирующая взаимодействие пары судов в части их согласованного маневрирования, ведущего к увеличению дистанции кратчайшего сближения.

Приведен фрагмент формализации МППСС-72, как бинарного координатора, для ситуации опасного сближения судов в условиях хорошей видимости.

Ключевые слова: безопасность судовождения, взаимодействие судов, бинарная координация, формализации МППСС-72.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – 1.

УДК 656.61.052

Бурмака И.А. Условие существования множества маневров расхождения судов изменением скоростей // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 32–37.

В статье представлен вывод условия существования непустого множества маневров расхождения пары судов изменением их скоростей и приведены аналитические выражения полученного условия с учетом выбранного режима торможения судов.

Ключевые слова: безопасность судовождения, маневр расхождения судов изменением скоростей, множество допустимых маневров.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – 1.

УДК 656.61.052

Вагущенко А.А. Планирование расхождения с судами уменьшением скорости с возвращением к прежнему ее значению / А.А. Вагущенко // Судовождение: Сб. науч. трудов НУ «ОМА», –2017. – Вып. 27 – С.38–45.

Для обеспечения в ряде ситуаций безопасного расхождения с судами, предлагается метод облегчения определения трех этапного маневра скоростью, при котором отклонение по времени от плана рейса минимально. Этот маневр включает уменьшение скорости, движение с пониженным ее значением, возвращение к прежней скорости. При оценке результатов планируемого маневра используются метки точек кратчайшего сближения «целей» с судном оператора.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, планирование маневра, изменение скорости, метки опасности.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – 3.

УДК 656.61.052

Вагущенко А.Л. Прогноз зоны, отражающей ограничение «цели» на В-маневр / А.Л. Вагущенко, А.А.Вагущенко // Судовождение: Сб. науч. трудов НУ «ОМА», –2017. – Вып. 27. – С.46–52.

Предлагается методика для прогноза границ опасных зон акватории, отражающих ограничения «целей» на В-маневр судна оператора в области истинного движения. Построение границ этих зон производится проектированием доменов опасности «целей» из области относительного движения в поле истинного перемещения. Эта задача рассматривается на примерах кругового домена и домена полукруг-полуэллипс. Отображение опасных зон акватории облегчает планирование В-маневров для расхождения с несколькими судами.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, В-маневр, зона опасности.

Библиография– 3 источника, иллюстраций – 6.

УДК 656.61.052

Вагущенко Л.Л. Предотвращение столкновения при чрезмерном сближении /Л.Л.Вагущенко, А.А.Вагущенко //Судовождение: Сб. науч. трудов НУ «ОМА», – 2017. – Вып. 27. – С. 53–61.

Рассматривается методика выбора срочных мер для предотвращения столкновения в ситуации чрезмерного сближения, основанная на компьютерном прогнозировании в реальном времени траекторий возможных изменений курса оперирующего судна и перемещения «цели». Реакция судна на управляющее воздействие предсказывается с помощью нелинейной разностной модели, учитывающей взаимозависимость его кинематических параметров и динамику силовых средств.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – 12.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, чрезмерное сближение, планирование маневра.

УДК 656.61:519.673

Вишневский Д.О., Вишневская О.Д. Моделирование закрепления универсальных судов за схемами движения // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 62–70.

Универсальные (многоцелевые) суда – один из значимых типов специализированных судов мирового морского торгового флота. Конструктивная специфика данной категории судов, наличие собственного перегрузочного оборудования обуславливают многофункциональность и универсальность данных судов с точки зрения морских перевозок широкой

номенклатуры грузов, в том числе между портами и портопунктами, в которых отсутствует специализированное перегрузочное оборудование.

На сегодняшний день размеры универсальных судов варьируются от 3000 т дедвейта до 35000 т и более, на смену твиндечным судам приходят суда с подвижными палубами, – такое разнообразие размеров и конструкций позволяет использовать данные суда на перевозках как тарно-штучных грузов небольшими партиями, так и негабаритных грузов, предназначенных для масштабных строительных проектов.

Анализ рынка морских перевозок показал, что спрос на универсальные суда достаточно устойчив как в трамповом секторе морских перевозок, так и в линейном, не смотря на значительные объемы контейнеризации морских перевозок и развития контейнерных линий.

Библиография – 13 источников.

Ключевые слова: контейнеризация, универсальные и твиндечные суда, трамповые и линейные перевозки, дедвейт, перегрузочное оборудование, генеральный груз.

УДК 656.61.052

Ворохобин И.И., Северин В.В. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 71–76.

В случае распределения случайных погрешностей навигационных измерений по закону Гаусса предложен способ преобразования системы двух зависимых погрешностей в систему независимых погрешностей с помощью ортогональной матрицы преобразования, полученной расчетом угла поворота, обращающего второй смешанный момент в ноль.

Для нормального закона предложена процедура формирования одномерной плотности распределения погрешности бокового отклонения из двумерной плотности распределения вероятностей позиционной векториальной погрешности.

Ключевые слова: навигационная аварийность, система зависимых и независимых случайных погрешностей, одномерная и двумерная плотность распределения.

Библиография – 11 источников, иллюстраций – 1.

УДК 656.61.052

Гайченя А.В. Аналитическое описание загрузки судна методами теории исследования операций // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 77–84

В статье приведены требования теории исследования операций к

аналитическому описанию грузовых операций навалочных и универсальных судов. Причем вначале приведены этапы проведения научного исследования с позиций теории исследования операций, а затем показано их применение к задаче разработки метода ввода базы данных грузовой программы судна для навалочных и универсальных судов.

Ключевые слова: загрузка судна, аналитическое описание, теория исследования операций.

Библиография – 3 источника, иллюстраций – 0.

УДК 629.123.03

Заїчко С.І., Сандлер А.К., Карпілов О.Ю. Система керування роторним багатосекційним вітрорушієм. // Судовождение: Сб. научных трудов/ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 85–90.

Для побудови системи навігаційної безпеки руху судін с вітрорушіями необхідно здійснювати ефективне керування вітрилом як улументом пропульсивного комплексу. Існуючі системи керування не у повній мірі за своїми специфікаційними та технічними характеристиками відповідають задачам керування багатосекційними вітрильними рушіями. Можливості існуючих відомих систем мають обмеження по глибині використання та компенсації впливу навігаційних та метрологічних експлуатаційних факторів.

Запропоновано нове схемотехнічне рішення системи керування роторним багатосекційним вітрорушієм.

У розробленій системі реалізована керування на підставі найважливіх чинників, що впливають на ефективність та безпеку судноплавста судна з допоміжними вітрилами.

Ключові слова: вітрило, система керування, навігаційні чинники.

Библиография – 8 источников, иллюстраций -3.

УДК 378.016:811.811

Іванова А.С. Навчання майбутніх судноводіїв міжнародних правил попередження зіткнень суден у морі англійською мовою через використання мнемонічних прийомів // Судовождение: Сб. научн. трудов. / НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 91–95.

В статті розглядається проблема навчання майбутніх судноводіїв Правил МППЗС англійською мовою через використання мнемонічних прийомів. Описуються труднощі у вивченні студентами специфічних текстів професійної спрямованості. Обґрунтовується необхідність використання мнемонічних прийомів, а саме послідовності зорових опор у формі спеціальних позначок для закріплення в пам'яті великих за обсягом об'ємів інформації. Виділені етапи роботи при навчанні майбутніх судноводіїв Правил МППСС

через використання мнемонічних прийомів.

Ключові слова: навчання специфічних текстів професійної спрямованості, мнемонічні прийоми, послідовність символів для зорової підтримки, застосування мнемонічних прийомів у навчальному процесі.

Бібліографія — 7 джерел, ілюстрації — 2.

УДК 656.61.052

Казак Ю.В. Влияние погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. — Одесса: «ИздатИнформ», 2017. — С. 96–100.

В статье рассмотрена процедура оценки векториальной погрешности, возникающей при повороте судна. Показано, что величина векториальной погрешности зависит как от погрешности кладки пера руля, так и от модели поворотливости судна.

Получены аналитические выражения векториальной погрешности в зависимости от характеристики инерционности судна при повороте.

Ключевые слова: безопасность судовождения, векториальная погрешность поворота судна, существенные факторы векториальной погрешности.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – нет.

УДК 621.396.969.3

Кошевой В.М., Пашенко Е.Л. Анализ апериодических составных многофазных сигналов с дополнительной амплитудной модуляцией // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. — Одесса: «ИздатИнформ», 2017. — С. 101–111.

В данной работе мы исследовали сигналы с дополнительной амплитудной модуляцией при контролируемом пик-факторе. Результаты были получены для различных пик-факторов сигналов. Представленный класс сигналов может уменьшить уровень боковых лепестков функции неопределенности вокруг центрального пика. Таким образом, такие сигналы имеют хорошие показатели разрешения по дальности и по скорости. Было проведено сравнение составных многофазных сигналов без дополнительной амплитудной модуляции, но после весовой обработки с составными многофазными сигналами с дополнительной амплитудной модуляцией, но при согласованной обработке.

Библиография – 6 источников, иллюстраций – 10.

Ключевые слова: ambiguity function, cross ambiguity function, compound signal, additional amplitude modulation.

УДК 656.61.052.484

Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 112–118.

В статье рассмотрена процедура компьютерного графического определения оптимального маневра расхождения двух опасно сближающихся судов изменением их скоростей при сохранении неизменных курсов. Приведен конкретный вариант опасной ситуации сближения и реализация предложенной процедуры.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновений, оптимальный маневр расхождения изменением скоростей.

Библиография – 4 источника, иллюстраций – 6.

УДК 656.615

Лысый А.А., Прогнозирование тренд – сезонных процессов при обеспечении судоходства в Азовском море // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 119–126.

В статье обоснована необходимость использования в управлении производственной деятельностью порта анализа и прогнозирования тренд-сезонных колебаний.

Приводятся статистические данные, показывающие значительное снижение грузооборота в порту Мариуполь в период ледовой обстановки и простои ледокольного буксира в течении всего года.

Разработан специальный подход к формированию информационной базы для различных форм производственной деятельности порта в ледовых условиях, отвечающих требованиям непрерывного планирования и регулирования портовой деятельности с учетом регулярного периодического появления определенных погодных условий, связанных со сменой сезонов.

Ключевые слова: ледовые условия, сезонные колебания, прогнозирование, колебания грузооборота.

Библиография – 3 источника, таблицы – 2.

УДК 656.614.073.238-047.36+629.544.065-047.36

Нікольський В.В., Накул Ю.А., Стовматенко В.О. Система контролю завантаження контейнеровозів // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 127–136.

В роботі створено систему контролю завантаження контейнеровозів, розглянуто деталі реалізації подібної системи та обрано найбільш ефективні її деталі. Детально описано її роботу.

Ключевые слова: контейнеровоз, завантаження, контроль, бездротовий зв'язок, мікроконтролер, інерційні навігаційні системи, декартовий простір.

Бібліографія – 9 источников, иллюстраций – 6.

УДК 656.61.052

Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 137–142.

В работе рассмотрена процедура формирования стохастической составляющей минимально-допустимой дистанции сближения судов, зависящей от погрешностей радиолокационных измерений и погрешностей определения параметров движения сближающихся судов. Получено аналитическое выражение для оценки значения стохастической составляющей минимально-допустимой дистанции сближения судов.

Ключевые слова: безопасность судовождения, минимально-допустимая дистанция, стохастическая составляющая.

Бібліографія – 5 источников, иллюстраций – 1.

УДК 656.61.052

Петриченко Е.А. Имитационное моделирование процесса расхождения судов в стесненных водах // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 143–148.

В статье приведено описание компьютерной программы имитационного моделирования процесса расхождения судов маневром изменения курса при наличии линейной навигационной опасности в районе маневрирования судов.

Ключевые слова: безопасность судовождения, процесс расхождения судов, навигационные опасности, имитационное моделирование.

Бібліографія – 6 источников, иллюстраций – 4.

УДК 656.615

Петров И.М. Моделирование параметров судов, влияющих на продолжительность их обслуживания в сервисных эргатических системах// Судовождение: Сб. научн. Трудов / НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С.149–158.

В работе изложены материалы решения задачи моделирования степени влияния выделенных параметров судна на продолжительность его грузовой обработки в порту. Модели разработаны с помощью методов регрессионно – корреляционного анализа для двух типов судов – сухогрузов и балкеров.

Модели обладают достаточной достоверностью и могут быть использованы для повышения эффективности оперативного планирования и управления работой грузового терминала морского порта. Также они информативно полезны при составлении грузового плана судна.

Ключевые слова: сервисная эргатическая система, оператор, корреляционный анализ, мультипликативные и полиномиальные модели, сухогрузы, балкеры, параметры судна, номограмма.

Библиография – 10 источников, иллюстраций -2.

УДК 656.61.052

Пипченко А. Д. Анализ аварийности мирового флота 2005-2015// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 159–168.

В статье приведена статистика и произведен анализ аварийности мирового флота за 2005-2015 гг. Аварии проанализированы по типам судов и видам происшествий. Рассмотрены основные причины происшествий. Произведен анализ потерь судов относительно состава мирового флота.

Ключевые слова: аварийность судов, состав мирового флота, инциденты, потери судов.

Библиография – 14 источников, иллюстраций – 10.

УДК656.61.052

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./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 169–176.

С целью оценки характеристик маневра скоростью судна была разработана модель движения в продольном направлении. Результаты моделирования были сопоставлены с данными ходовых испытаний. Ввиду неопределённостей связанных с расчетом коэффициентов модели по формулам, применимым к широкому диапазону судов обнаружили большие погрешности расчета относительно эксперимента. Для уменьшения этих погрешностей были применены методы численной оптимизации. При корректировке модели ходкости предложено использовать симплексный метод Нелдера-Мида, что позволило получить результаты достаточной точности.

Ключевые слова: маневрирование судна, математическая модель, особо крупный контейнеровоз, ходовые испытания, численная оптимизация.

Библиография – 17 источников, иллюстраций – 4.

УДК: 371.15+629.5.072.8+811.111

Примина Н. Н. Развитие профессиональных умений будущих судоводителей на основе прочитанных англоязычных лоций // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 177–184.

В статье раскрываются проблемы обучения чтению лоций на английском языке и выполнению производственных действий на основе понимания информации, прочитанной в англоязычных лоциях. Представлена система упражнений по обучению чтению лоций на английском языке. Основное внимание в статье уделяется группе производственных упражнений, на основе которых развиваются профессиональные умения будущих судоводителей. Автор приводит конкретные примеры производственных заданий, которые студенты обязаны выполнить на иностранном языке, руководствуясь знаниями, которые они получили при чтении англоязычных лоций.

Ключевые слова: чтение, лоции, производственная деятельность, будущие судоводители, иностранный язык.

Библиография – 7 источников, иллюстраций – 3.

УДК 656.61.052

Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. Координация безопасного расхождения трех судов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 185–193.

В статье рассмотрена система координации расхождения трех опасно сближающихся судов, которая удовлетворяет требованиям закона необходимого разнообразия Эшби. Определены четыре области взаимных обязанностей судов с учетом их статусов, скоростей и дополнительного параметра. Регламентировано поведение каждого из взаимодействующих судов в первой области взаимных обязанностей.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновений, система координации взаимодействия.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – 2.

УДК 656.615.073

Савчук В.Д., Хомяков В.Ю. Способ загрузки малотоннажного однотрюмного судна несколькими видами навалочных грузов // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 194–202.

В статье предложен способ загрузки малотоннажного однотрюмного судна несколькими видами навалочных грузов, который позволяет

использовать метод «естественной» сепарации отдельных партий, учитывает возможное смещение груза, позволяет определить координаты центра массы каждого сместившегося штабеля в зависимости от линейных размеров трюма, угла естественного откоса груза и начального дифферента судна.

Ключевые слова: судно «коастер», навалочный груз, дифферент, погрузка.

Библиография – 11 источников, иллюстраций – 6.

УДК 656.61.052

Сикирин В.Е. Формализация системы принятия решений по управлению движением судна // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017. – С. 203–208.

В статье приведено формальное описание системы принятия решений по управлению движением судна в терминах теории иерархических многоуровневых систем. Показано, что по функциональному признаку система содержит три страты, а по признаку декомпозиции решаемой задачи – три слоя.

Ключевые слова: безопасность судовождения, система по управлению движением судна, иерархические многоуровневые системы.

Библиография – 2 источника, иллюстраций – 2.

УДК 656.61.052

Торский В.Г., Топалов В.П., Торский В.В. К вопросу экономической оценки надежности судовождения // Судовождение: Сб. научн. трудов/ ОНУ «ОМА», Вып. 27 – Одесса, «Информиздат», 2017. – С. 209–217.

В статье рассматривается один из возможных подходов к обеспечению оптимального в экономическом смысле уровня надежности судовождения как условия эффективной работы морского транспорта.

Ключевые слова: надежность судовождения, качество перевозки, навигационный комплекс, прибыль.

Библиография – 5 источников.

УДК 656.61.052.484

Берестовой А.М., Янчецкий А.В., Черныш А.А. Блок схема алгоритма расчета маневра последнего момента // Судовождение: Сб. науч. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 27.- Одесса: «ИздатИнформ», 2017.- С. 218–223.

В настоящей статье рассмотрены вопросы маневрирования судов при опасном или аварийном их сближении в условиях ограниченности времени, с учетом действующих сил и навигационного запаса. Приведены зависимости,

позволяющие выработать необходимые рекомендации по выполнению маневра последнего момента, его вида и параметров. Составлена блок-схема алгоритма расчета вида маневра для предупреждения чрезмерного, опасного или аварийного сближения судов.

Ключевые слова: маневр последнего момента, силы, анализ, сближение судов, блок-схема.

Библиография – 5 источников, иллюстраций – 2.

УДК 656.62.004

Гладких И.И., Чеча А.П. –Динамическое моделирование ЭНК на устьевых участках рек // Судовождение. – Сб. научн.трудов / НУ «ОМА», Вып. 27.- Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 224–229.

Одной из наиболее ярких особенностей судовождения является постоянно изменяющаяся поверхность морей и океанов вследствие погодных условий, изменения магнитного поля Земли и т.д. Это особенно ощутимо на мелководье в прибрежной зоне плавания судов, а также в устьевых участках крупных рек. В статье рассматриваются вопросы моделирования динамики изменения поверхности моря и отображение колебаний уровня на морских электронных картах в реальном режиме времени.

Ключевые слова: надежность судовождения, качество перевозки, навигационный комплекс, прибыль.

Библиография – 5 источников.

Наукове видання

СУДНОВОДІННЯ
SHIPPING&NAVIGATION

Збірка наукових праць

Випуск 27

E89 **Судноводіння: Зб. наук. праць / ОНМА. – Вип. 27. – Одеса:**
«ВидавІнформ», 2017. – с. 242.
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 6.02.2017.
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Обл-вид. арк. 14,06.
Наклад. 300 прим. Замовлення № И17-03-83

«ВидавІнформ» НУ «ОМА»
Свідоцтво ДК № 1292 від 20.03.2003
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8 кор. 7, к. 206
тел./факс: (0482) 34-14-12.
publish@ma.odessa.ua