



#11 (27), 2017 część 1

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michałak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

#11 (27), 2017 part 1

East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michałak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo
Naukowe**

**Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-
land**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Волков А.Н., Булгаков А.Ю., Голиков А.А. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОЖДЕНИЯ СУДНА В СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ МЕТОДОМ ВИРТУАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ	4
Волков Е.Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ НЕДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПРИ ЛОКАЛЬНО-НЕЗАВИСИМОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ	14
Ворохобин И.И., Сикирин В.Е., Фусар И.Ю. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИНОМОВ ЭРМИТА ДЛЯ ОРТОГОНАЛЬНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ	24
Астайкин Д.В., Северин В.В., Казак Ю.В. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ РАЙОНАХ ..	31
Бурмака И.А., Кулаков М.А., Пасечнюк С.С. ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ НЕДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ СУДОВ ПРИ ИХ ВНЕШНЕМ УПРАВЛЕНИИ	40
Бурмака А.И., Чапчай Е.П. ВЫБОР ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВОРОТЛИВОСТИ СУДНА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРА ЭКСТРЕННОГО РАСХОЖДЕНИЯ	48
Омельченко Т.Ю., Пятаков Э.Н., Тюпиков Е.Е. ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ РАСХОЖДЕНИЯ СУДНА УКЛОНЕНИЕМ ВПРАВО В МНОЖЕСТВО ФОРМ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ	58
Линючева О.В., Гулян Р.И., Бык М.В., Мигас С.В. ОКСИДИРОВАНИЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ В РАСТВОРАХ ХРОМОВОЙ КИСЛОТЫ.....	70
Глазков Ю.Е., Доровских Д.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	74
Кульбякина А.В. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ	80
Миронюк Т.В., Миронец И.В., Бабенко В.Г., Сысоенко С.В. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕСТАНОВОК, УПРАВЛЯЕМЫХ ИНФОРМАЦИЕЙ, ДЛЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	85
Шлеенков А.С., Сурков А.Ю., Новгородов Д.В., Кукушкин А.Н. ВЫЯВЛЕНИЕ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА ГАЗОПРОВОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ	93
Яковишина Т.Ф. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПОЕЛЕМЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТІВ УРБОЕКОСИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ НОРМ ЕКОБЕЗПЕКИ	96
Хапилин В.К., Осетинский И.О., Яшков И.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЙЛОВ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	104

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volkov A.N.

PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»

Bulgakov A.Y.

PhD, senior lecturer,
National University «Odessa Maritime Academy»

Golikov A.A.

PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»

Волков Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры Судовождение,
Национальный университет "Одесская морская академия"

Булгаков Александр Юрьевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры ТСС,
Национальный университет "Одесская морская академия"

Голиков Антон Александрович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой Морских технологий,
Национальный университет "Одесская морская академия"

FORMING OF PROCESS OF DIVERGENCE OF SHIP IN SITUATION OF DANGEROUS RAPPROCHEMENT BY METHOD OF VIRTUAL REGIONS ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОЖДЕНИЯ СУДНА В СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ МЕТОДОМ ВИРТУАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Summary: Analytical expressions of transformation of safe region of ship from space of relative motion in space of veritable motion are resulted. Procedure of reflection of virtual regions is offered on an electronic chart and the method of divergence of ship with a few dangerous targets, different evident, operative and simplicity is developed. The example of choice of safe strategy of divergence of ship is resulted by the change of course with two dangerous targets by application of virtual regions of circular form.

Key words: safety of navigation, preventing of collision of vessels, virtual region, spaces of relative and veritable motion, divergence by the change of course.

Аннотация: Приведены аналитические выражения преобразования безопасной области судна с пространства относительного движения в пространство истинного движения. Предложена процедура отображения виртуальных областей на электронной карте и разработан способ расхождения судна с несколькими опасными целями, отличающийся наглядностью, оперативностью и простотой. Приведен пример выбора безопасной стратегии расхождения судна изменением курса с двумя опасными целями применением виртуальных областей круговой формы.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновения судов, виртуальная область, пространства относительного и истинного движения, расхождение изменением курса.

Постановка проблемы.

Значительную часть своего эксплуатационного времени морские суда работают в стесненных районах, где ширина свободного прохода для судов ограничена в навигационном отношении опасностями, или интенсивным судоходством. К плаванию в таких районах относится плавание в проливах, каналах, реках, вблизи побережья и т. д. В силу этих особенностей при плавании в стесненных водах требуются особенно высокая точность, четкость, безошибочность, быстродействие всей системы управления движением судна. Основные задачи - наблюдение, навигация, предупреждение столкновений - должны решаться одновременно и взаимосвязано.

В случае опасного сближения судов в стесненных водах при выборе маневра расхождения оперирующим судном помимо опасной цели необходимо

учитывать мешающие суда и навигационные опасности в районе маневрирования. Существующие методы одновременного учета опасных целей и навигационных опасностей носят аналитический характер и являются громоздкими и малоэффективными. Поэтому существует необходимость разработки оперативных и наглядных методов предупреждения столкновений судов при плавании в стесненных водах.

Анализ последних достижений и публикаций.

Вопрос учета имеющихся в районе предстоящего расхождения навигационных опасностей рассмотрен в работах [1-3]. Процедура оценки возможности расхождения судна с опасной целью при наличии навигационной опасности приведена в работе [1], в которой получено условие существования множества допустимых маневров расхождения

с учетом навигационных опасностей. Аналитическая процедура учета навигационных опасностей при достижении возможного поворота судна на курс выхода в сторону программной траектории движения предложена в работе [2]. В работе [3] формализованы разные типы навигационных опасностей (точечная, линейно распределенная и т.п.) и предложены процедуры выбора безопасного маневра расхождения для каждого типа навигационных опасностей. Анализ предложенных процедур в указанных работах показал, что их реализация в судовых навигационных системах потребует значительных усилий и затрат для аппроксимации границ навигационных опасностей.

В работах [4, 5] рассмотрены вопросы бинарной координации и мера их эффективности. На необходимость формализации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения обращается внимание в работе [6]. Показано, что основным способом описания взаимодействия пары опасно сближающихся судов является бинарная координация, которая реализована в МППСС-72, причем в данной работе предложена их формализация.

В работе [7] предлагается навигационные опасности учитывать путем использования электронных карт, на которых следует отображать процесс расхождения. В ситуациях чрезмерного сближения судов правилами МППСС-72 их взаимодействие не координируется, однако, для предупреждения их столкновений в работе [8] подробно рассмотрены экстренные стратегии расхождения, структура которых зависит не только от особенностей ситуации сближения, но и от поведения цели в процессе расхождения.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Как следует из проведенного анализа, учет навигационных опасностей при выборе маневра расхождения является сложной процедурой, требующей использования базы данных по навигационным опасностям. С другой стороны, предложен способ безопасного плавания с помощью виртуальных областей. Если отображать виртуальные области опасных целей на электронной карте, то проблема учета навигационных опасностей, которые нанесены на электронную карту, при использовании виртуальных областей для расхождения теряет свою актуальность. Такой подход является перспективным и в настоящей статье предлагается обсуждение его использования для расхождения с несколькими целями.

Цель статьи.

Целью настоящей статьи является описание способа использования виртуальных областей для безопасного расхождения с несколькими опасными целями.

Изложение основного материала.

Безопасная область судна B_3 задается в пространстве относительного движения определенной фигурой, граница которой задается относительно цели C уравнением $y = f(x)$ в системе координат OXY (рис. 1). Покажем, как в этом случае производится преобразование границы области B_3 из пространства относительного движения в пространство истинного движения.

Положение цели C относительно судна, находящегося в точке O_1 , в пространстве относительного движения задается дистанцией D_0 и пеленгом α_0 , а область безопасности судна B_3 построена относительно цели C , являющейся началом координат OXY . Пространство истинного движения, которое отображается на обычной или электронной карте содержит навигационные опасности, однако области безопасности цели не могут иметь форму, заданную в пространстве относительного движения.

Направления в пространстве относительного движения определяются углами α , а расстояния отрезками D , как показано на рис.1.

Точка M в системе координат OXY характеризуется координатами X и Y , а в системе координат O_1, X_1, Y_1 - координатами X_{1f} и Y_{1f} , причем:

$$\begin{aligned} X_{1f} &= X_0 + x, \quad Y_{1f} = Y_0 + y, \quad (1) \\ \text{где } X_0 &= D_0 \sin \alpha_0, \quad Y_0 = D_0 \cos \alpha_0. \end{aligned}$$

Отображение безопасной области судна из пространства относительного движения в пространство истинного производится с помощью преобразования полярных координат области [3]. Поэтому границу безопасной области представим в полярных координатах D и α . Очевидно, в пространстве относительного движения полярные координаты точки границы безопасной области судна выражаются следующим образом:

$$D = \sqrt{X_{1f}^2 + Y_{1f}^2}, \quad \alpha = \text{Arctg}\left(\frac{X_{1f}}{Y_{1f}}\right). \quad (2)$$

Конкретная точка границы безопасной области, связанная с целью, может быть достигнута судном в пространстве относительного движения, если относительный курс будет равен направлению α и точка будет достигнута через время $t = D/V_{от}$. Указанное условие достижения каждой точки границы безопасной области является определяющим для преобразования в пространство истинного движения.

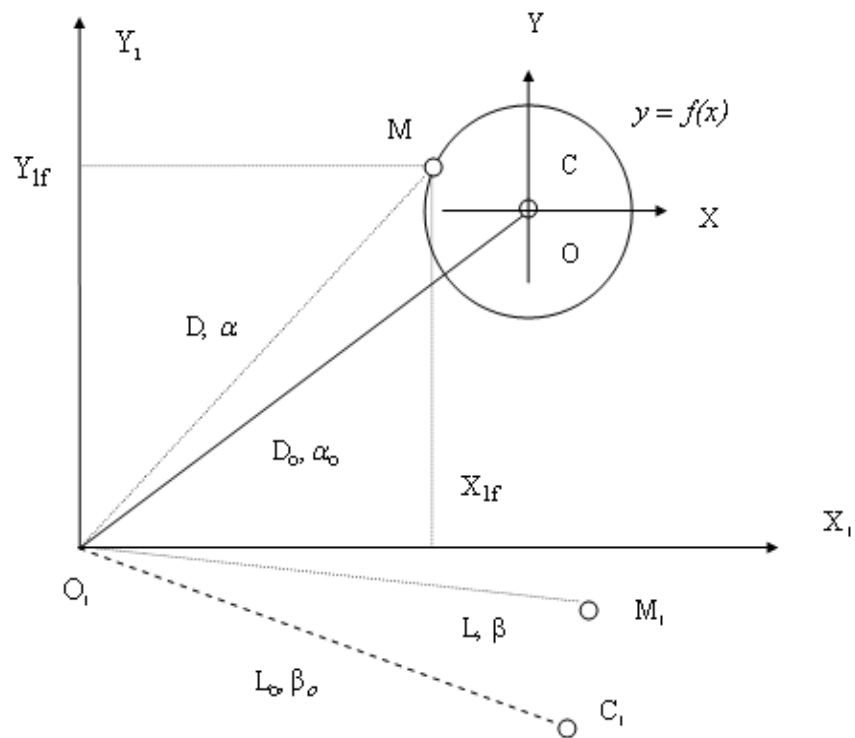


Рис. 1. Преобразование границ судовой безопасной области

В пространстве истинного движения направлению α соответствует истинное направление движения судна β , а время достижения точки остается неизменным, поэтому:

$$L = \frac{V_o}{V_{ot}} D, \quad (3)$$

где V_{ot} и V_o -соответственно относительная скорость и скорость судна.

Исследованием [4] установлено, что в случае, когда отношение скоростей судна V_o и цели V_c

$p = \frac{V_o}{V_c}$ удовлетворяет неравенству $p > 1$, то происходит однозначное отображение множества относительных направлений α в множество истинных направлений β , причем искомое отображение описывается зависимостью:

$$\beta = \alpha + \arcsin[p^{-1} \sin(K_c - \alpha)], \quad (4)$$

где K_c - курс цели.

Поэтому каждой точке границы безопасной области судна, заданной в пространстве относительного движения полярными координатами D и α , соответствует точка границы в пространстве истинного движения с полярными координатами L и β . Множество точек с полярными координатами L и β составляет границу безопасной области в пространстве истинного движения, заданной в системе координат O_1, X_1, Y_1 .

В случае, когда выбрана форма безопасной области судна в пространстве относительного движения, вначале необходимо задать уравнение $y = f(x)$ границы безопасной области в системе координат OXY . Затем с помощью формулы (1) для каждой точки границы определяются координаты X_{1f} , Y_{1f} в системе координат O_1, X_1, Y_1 и преобразуются в полярные координаты D , α , используя выражение (2).

Завершающим шагом в формировании безопасной области судна в пространстве истинного движения является преобразование полярных координат D и α каждой точки границы безопасной области с помощью формул (3) и (4) в полярные координаты L и β .

Рассмотрим случай, когда безопасная область судна имеет форму круга и уравнение ее границы можно записать в параметрическом виде:

$$x = D_d \sin \varphi, \quad y = D_d \cos \varphi \quad (\varphi \in (0, 360)),$$

где D_d - предельно-допустимая дистанция кратчайшего сближения.

В дальнейшем с помощью выражений (1) – (4) формируется граница безопасной области в пространстве истинного движения.

Для проверки корректности предлагаемой процедуры преобразования судовой безопасной области, заданной в пространстве относительного движения, в пространство истинного движения разработана компьютерная программа. В качестве примера рассмотрена ситуация сближения судна с

целью, причем задана безопасная область цели круговой формы. Параметры ситуации имеют значения: $D_o = 3,5$ м, $\alpha_o = 350^\circ$, $K_o = 75^\circ$, $K_c = 105^\circ$,

$V_o = 20$ уз, $V_c = 17$ уз, $D_d = 1$ м.

Безопасные области цели в пространстве относительного и истинного (желтый цвет) движения для указанной ситуации показаны на рис.2.

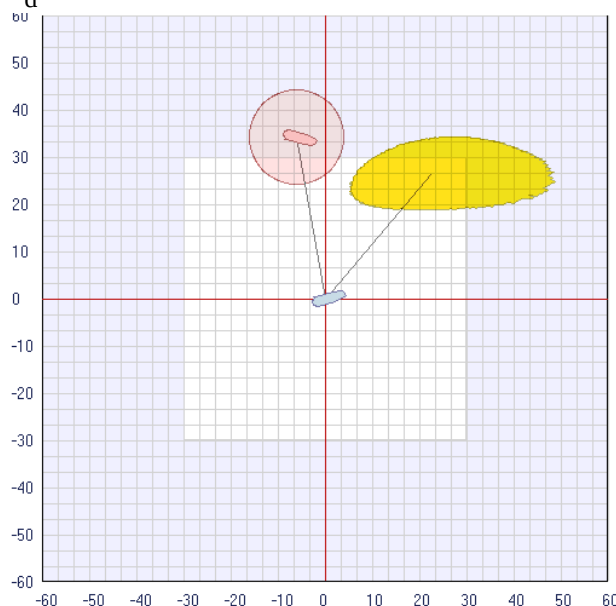


Рис. 2. Отображение безопасной области цели круговой формы

Безопасную область судна, построенную относительно позиции цели и отображенную в пространстве истинного движения, будем называть виртуальной областью $S_{vt}^{(F)}$ цели относительно судна. Рассмотрим основные свойства виртуальной области, которые не зависят от ее формы и необходимы для выбора безопасной стратегии расхождения при опасном сближении судна с целью.

Основное свойство виртуальной области $S_{vt}^{(F)}$ заключается в наглядном представлении опасности сближения судна с целью. Если программная траектория движения судна (синий цвет) пересекает область $S_{vt}^{(F)}$, то при неизменных параметрах движения цели дистанция кратчайшего сближения судна с целью D_{min} меньше предельно-допустимой дистанции D_d , т. е. $D_{min} < D_d$ (рис. 3).

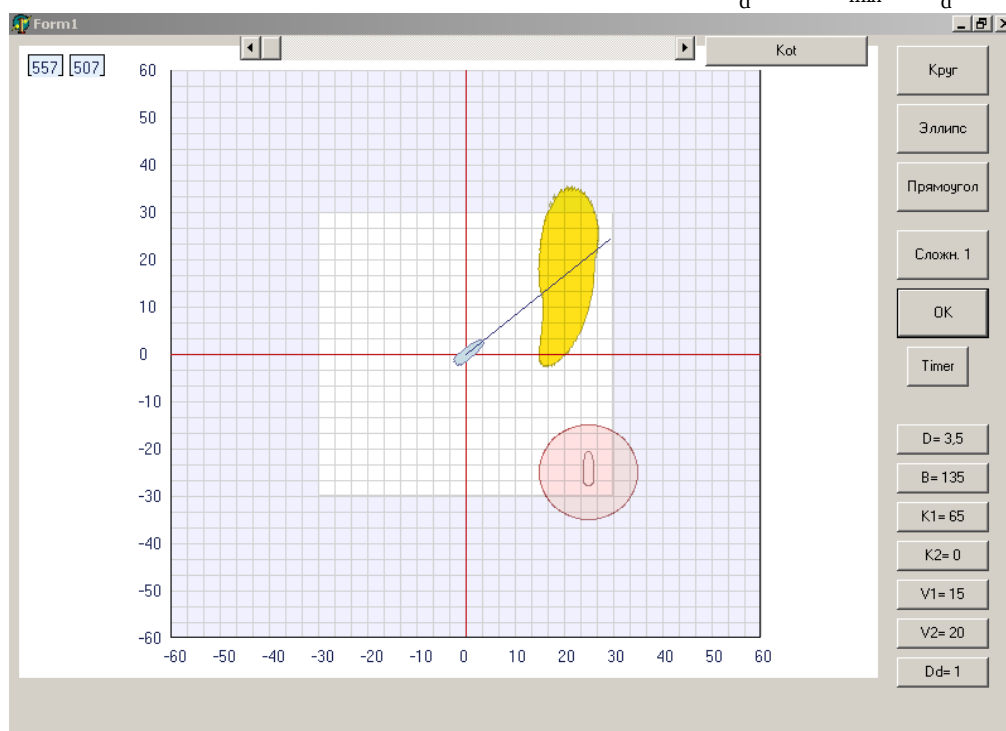


Рис. 3. Ситуация опасного сближения судна с целью.

На рис. 4 судно, следуя курсом $K_0 = 90^\circ$, без-
опасно сближается с целью, так как его программ-
ная траектория движения не пересекает виртуаль-
ную область $S_{vt}^{(F)}$.

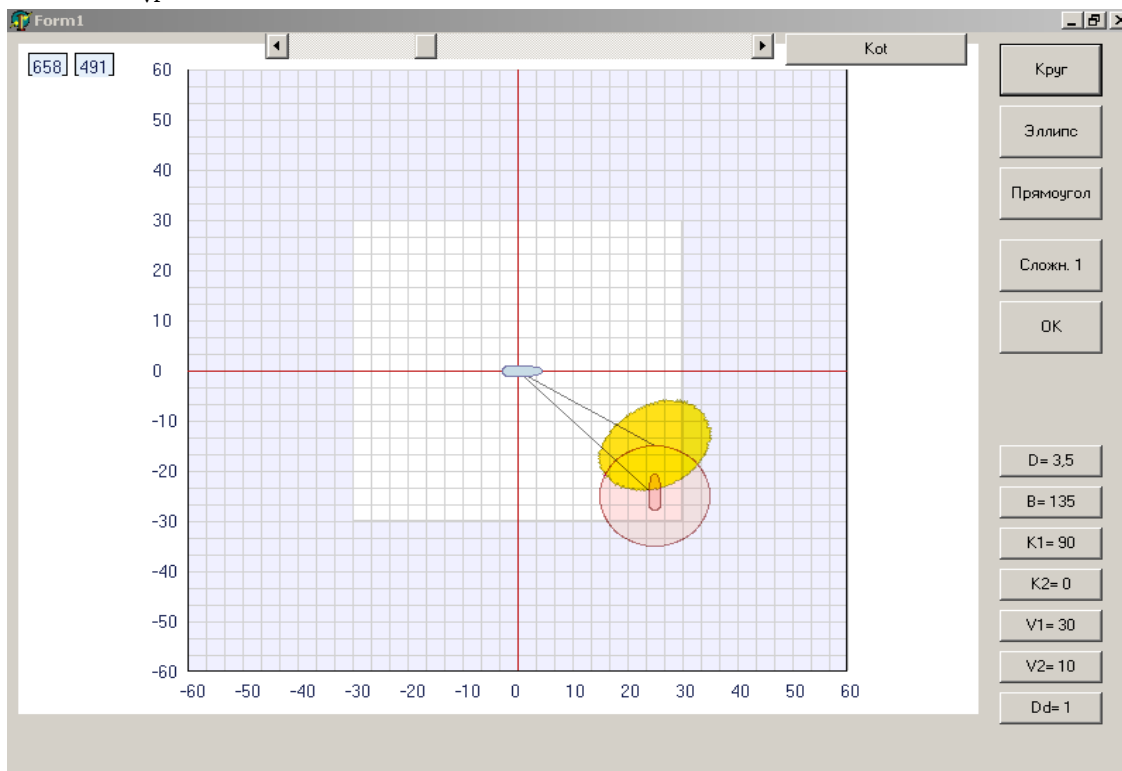


Рис. 4. Безопасное сближение судна и цели

Для выбора безопасной стратегии расхожде-
ния судна с опасной целью следует учитывать сле-
дующие свойства виртуальных областей:

1. Признаком опасного сближения судна с це-
лью, когда дистанция кратчайшего сближения
судна с целью меньше заданной предельно-допу-
стимой дистанции сближения, является попадание
текущего участка программной траектории движе-
ния судна в виртуальную область цели.

2. Дистанция кратчайшего сближения судна с
опасной целью будет равна заданной предельно-до-
пустимой дистанции сближения, если направление
текущего участка программной траектории движе-
ния судна является касательным к границе вирту-
альной области.

3. Равенство дистанции кратчайшего сближе-
ния судна с целью и заданной предельно-допусти-
мой дистанции сближения сохраняется при следо-
вании судна по касательной к границе виртуальной
области до момента кратчайшего сближения.

Поэтому траектория расхождения судна с
опасной целью с момента времени его уклонения с
программной траектории движения и до момента
времени возвращения судна на нее после расхожде-
ния выбирается с учетом указанных свойств вирту-
альных областей. Для выбора стратегии расхожде-
ния необходимо обеспечить отображение вирту-
альных областей целей на электронной карте и их

изменение во времени при заданных параметрах
движения судна и цели, как показано на рис. 5.
Судно следует программной траекторией движе-
ния, состоящей из двух участков, и сближается с
двумя целями, причем сближение с обеими целями
опасное, так как виртуальные области целей нахо-
дятся на первом участке траектории движения
судна. Причем цели и их виртуальные области
имеют одинаковые номера. Анализ рис. 5 показы-
вает, что судно находится в ситуации, когда проис-
ходит его сближение с двумя опасными целями, и
необходимо уклоняться с программной траектории.
При уклонении влево существует угроза дальней-
шего сближения с целью 1 после уклонения от цели
2. Поэтому на 5-й секунде планируется изменение
курса судна вправо до значения 151° , когда траек-
тория уклонения является касательной к ближай-
шей виртуальной области цели 2 (рис. 6) и переме-
щаем позицию судна по линии выбранного курса до
момента времени кратчайшего сближения с целью
2, как показано на рис. 7. В этот момент времени
 $t_2 = 204$ с кратчайшая дистанция $D_2 = 1,02$
мили сравнивается с предельно-допустимой ди-
станцией и выбирается второй курс уклонения, ко-
торый равен 113° .

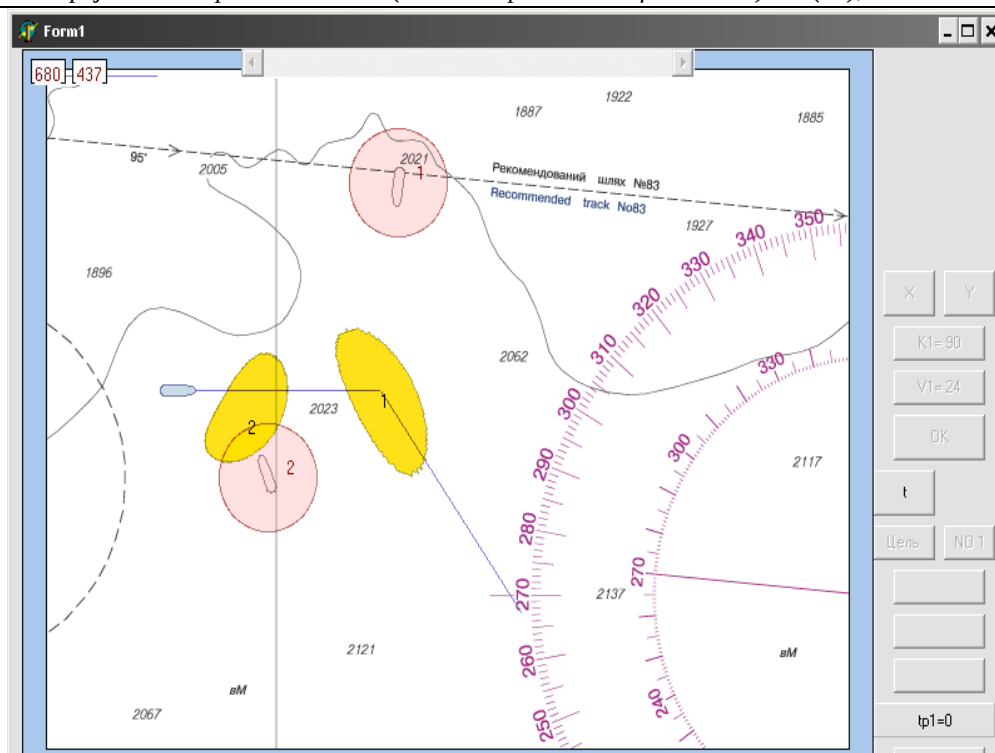


Рис. 5. Начальная ситуация опасного сближения

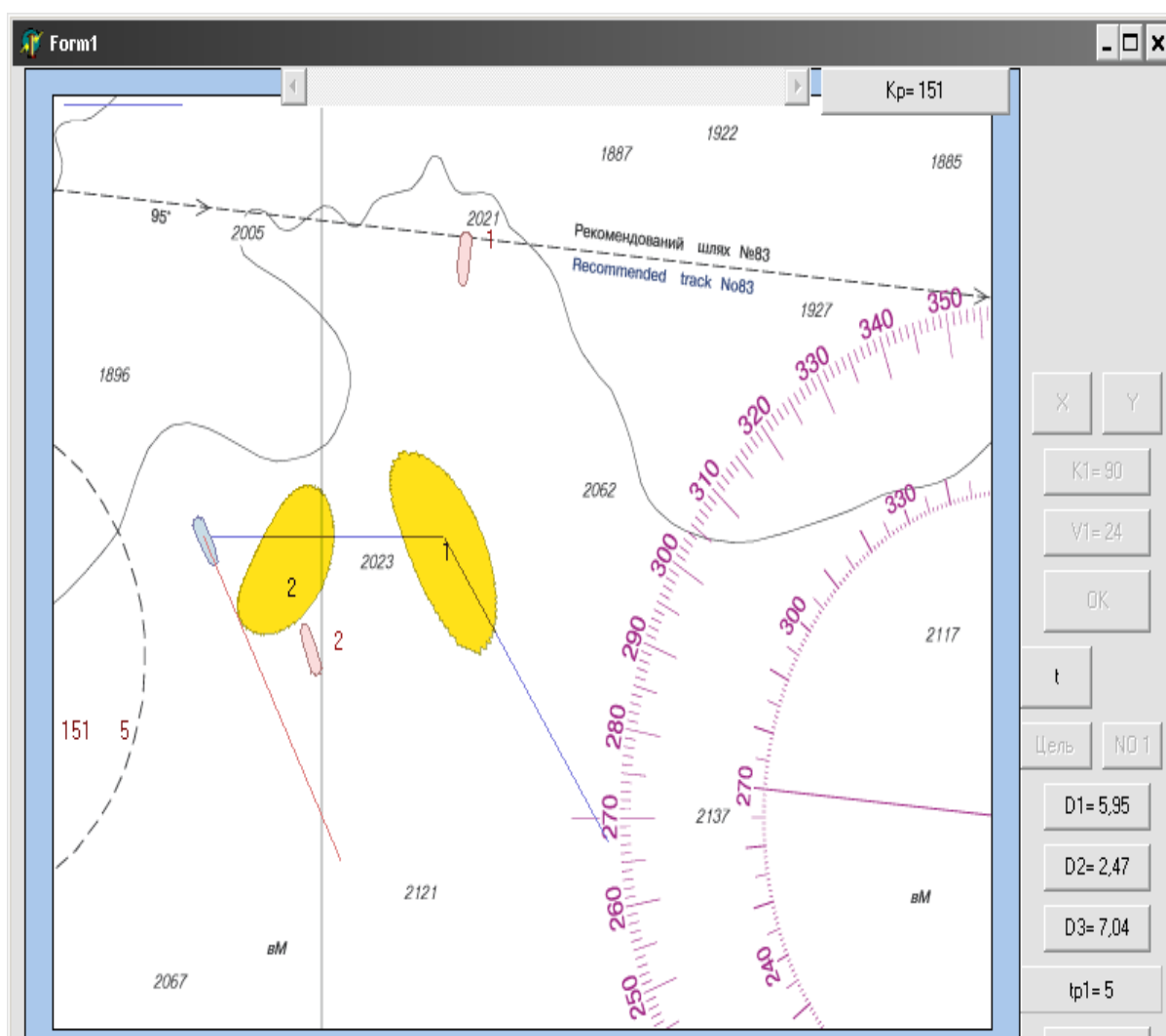


Рис. 6. Выбор первого курса уклонения судна

На рис. 8 показан момент времени достижения дистанции кратчайшего сближения с целью 1.

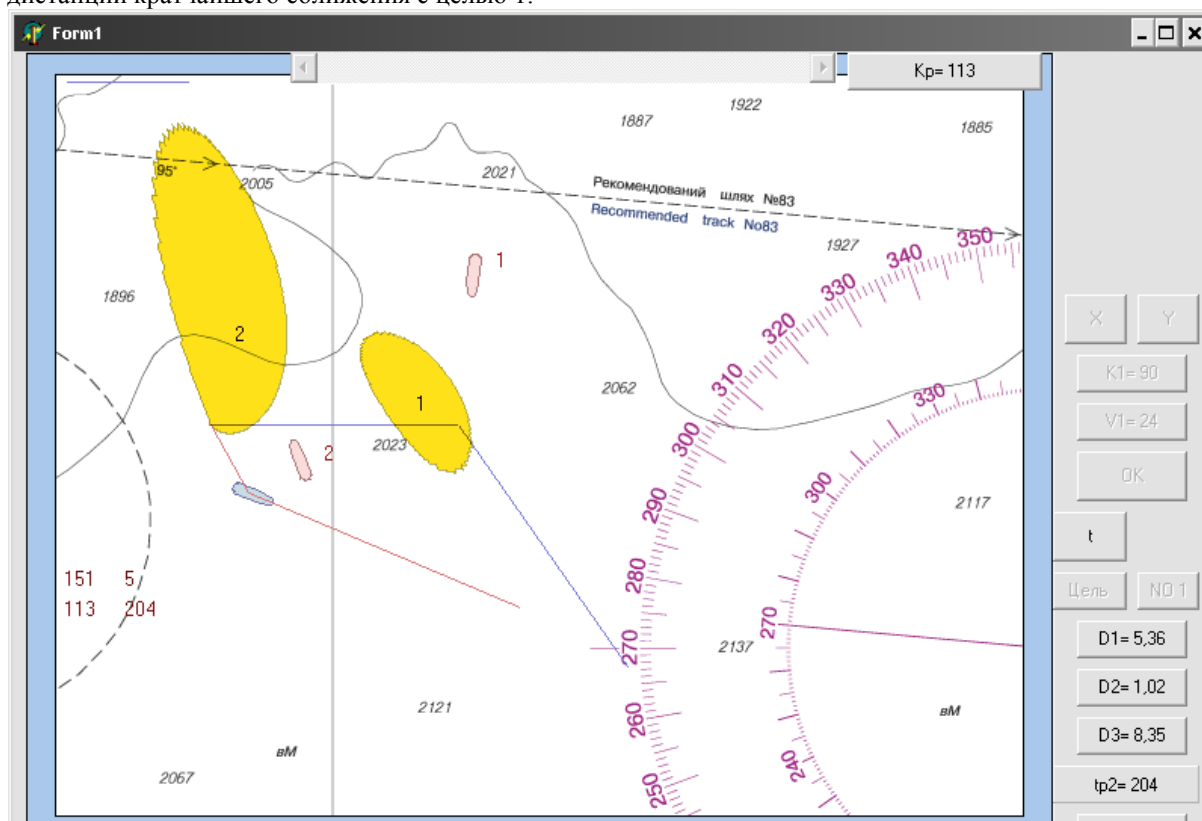


Рис. 7. Выбор момента времени и курса второго уклонения судна

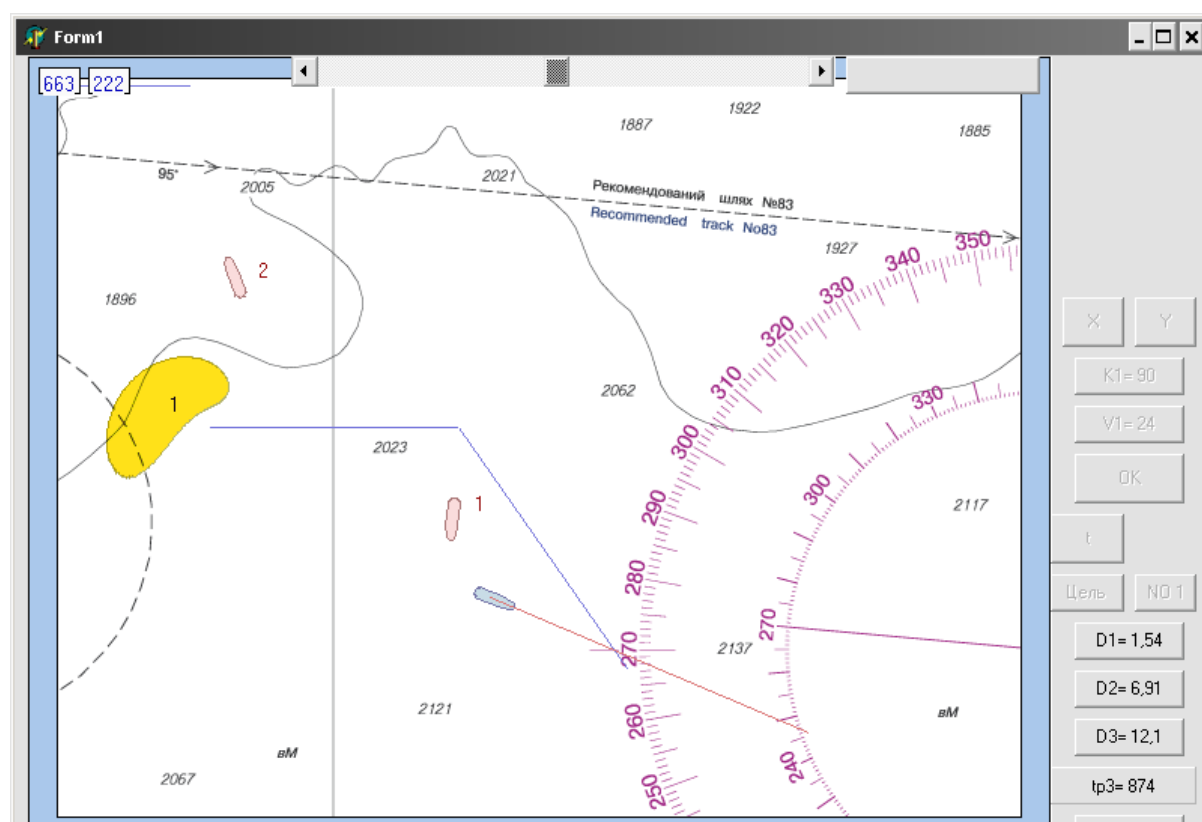


Рис. 8. Момент времени кратчайшего сближения с целью 1

Значения расстояния до каждой из целей D_1 и D_2 , как и время поворота t_1 , выводятся на соответствующие табло. Судно следует курсом второго

уклонения 113° до момента времени достижения программной траектории движения судна, который равен $t_3 = 1206$ с (рис. 9). Этот момент времени

является моментом времени поворота судна на программную траекторию движения.

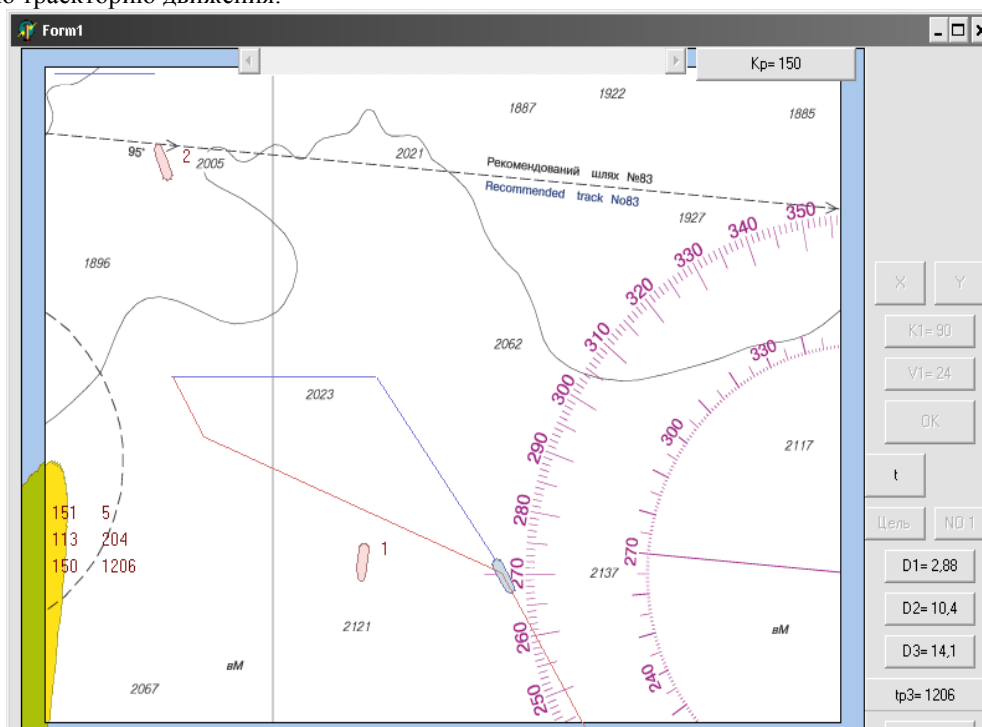


Рис. 9. Выход судна на программную траекторию движения

На рис. 9 красным цветом показана траектория безопасного расхождения судна с обеими опасными целями.

Для проверки корректности полученного маневра расхождения судна с двумя опасными целями

с помощью имитационного моделирования производилось его проигрывание. На рис. 10 показано имитационное движение судна на первом участке уклонения, а на рис. 11 – кратчайшее сближение с целью 2 и поворот на второй участок уклонения.

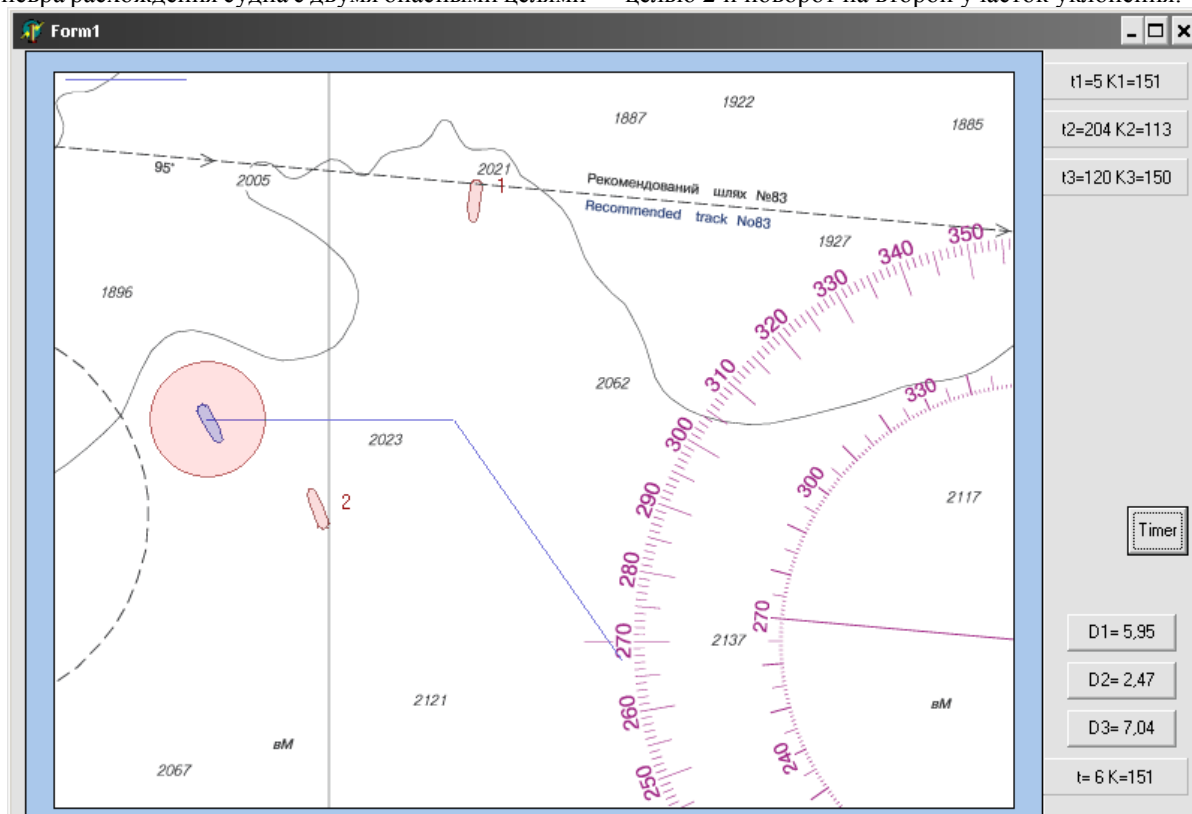


Рис. 10. Проигрывание первого участка уклонения судна

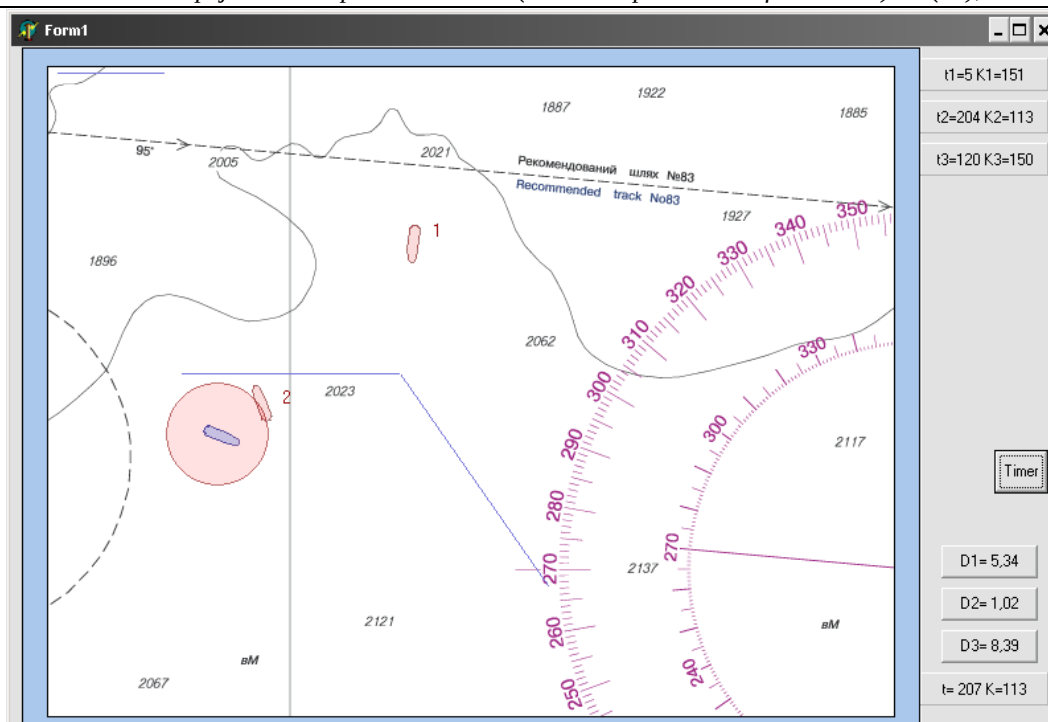


Рис. 11. Момент достижения кратчайшей дистанции с целью 2

Дальше судно следует курсом второго участка уклонения, продолжая сближаться с целью 2, и в момент времени, равный 874 с, достигается кратчайшее сближение судна с целью 1, как показано на рис. 12.

В этот момент времени дистанция кратчайшего сближения равна 1, 55 мили, после чего дистанция между судном и целью 1 начинает увеличиваться.

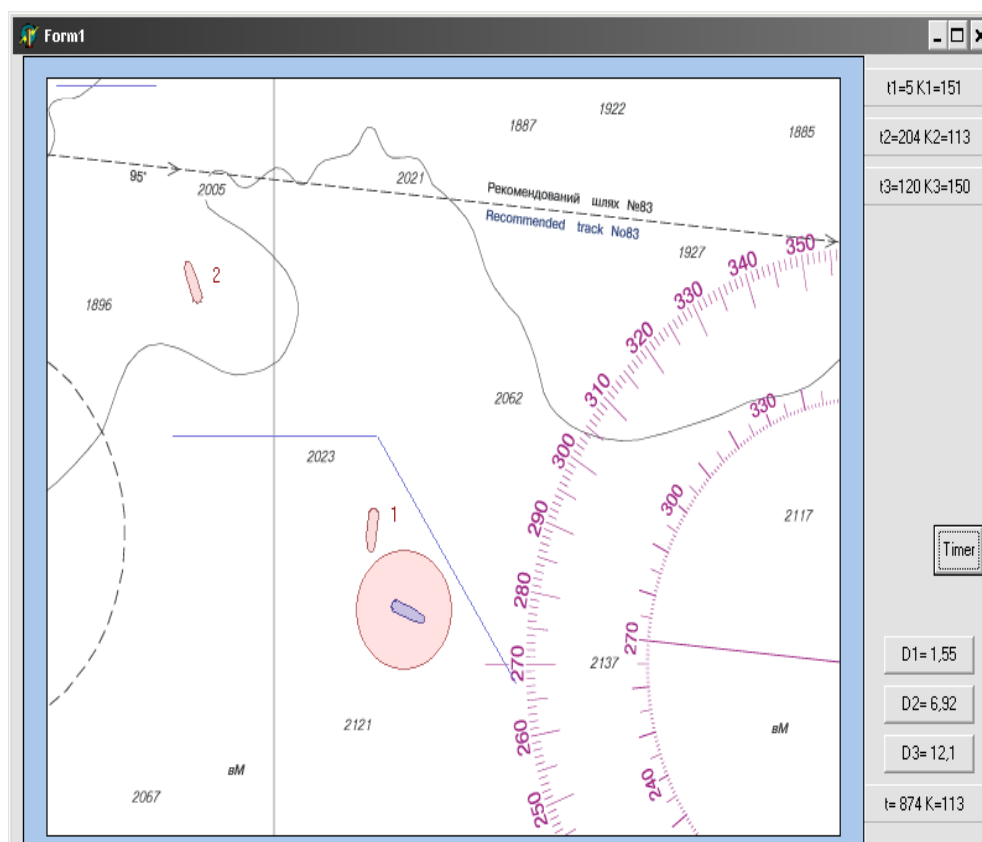


Рис. 12. Момент достижения кратчайшей дистанции с целью 1

Судно продолжает следовать курсом 113°, сближаясь со вторым участком программной траек-

тории движения, а после его достижения судно поворачивает на программный курс следования 145°.

Это происходит в момент времени 1206 с, что показано на рис. 13.

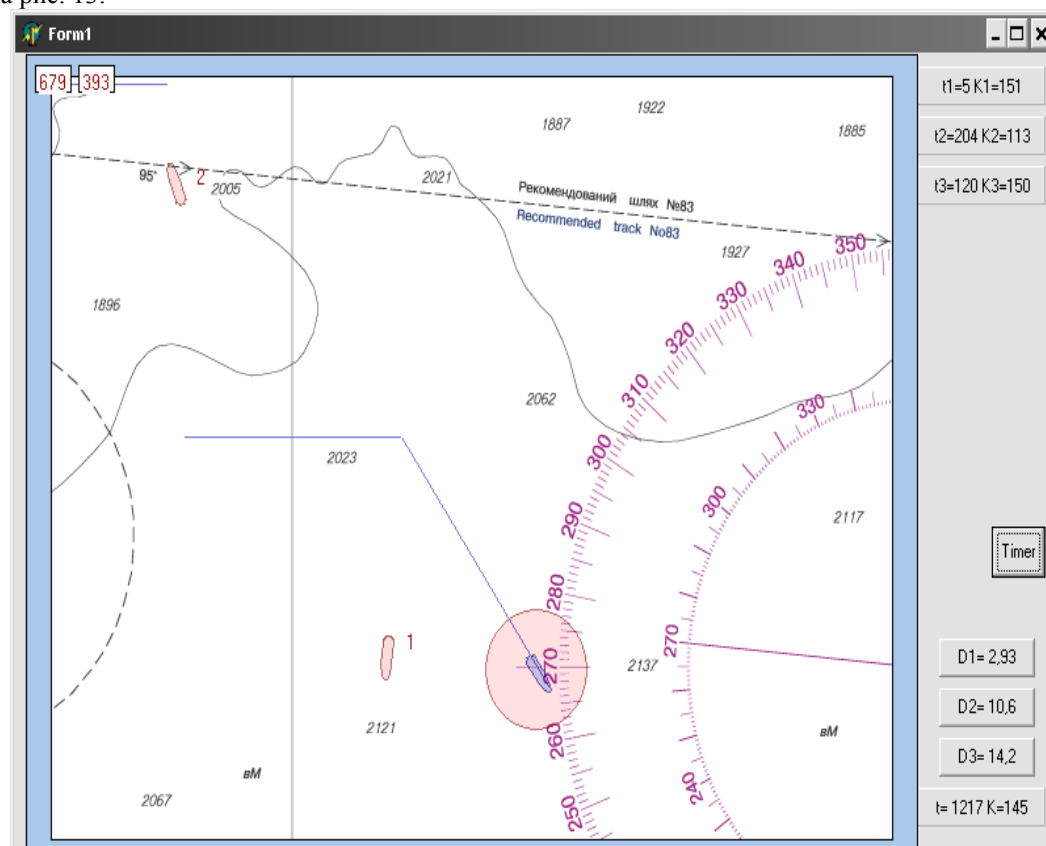


Рис. 13. Момент поворота судна на программную траекторию

Выводы и предложения.

1. Приведен способ формирования виртуальных областей опасных целей, их основные свойства и процедура отображения на электронной карте.

2. Описан способ выбора стратегии расхождения судна с несколькими целями применением виртуальных областей и приведен пример безопасного расхождения судна с двумя опасными целями, использованием их виртуальных областей круговой формы.

3. Корректность способа формирования безопасной стратегии расхождения судна с двумя опасными целями с помощью виртуальных областей была подтверждена имитационным моделированием процесса расхождения.

Список литературы:

1. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.

3. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

6. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.

5. A. Volkov. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation / A. Volkov, E.Pyatarov & A. Yakushev// Activites in Navigation.-Adam Weintrit/ - 2015, P. 195 – 200.

4. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.

8. Волков А.Н. Применение судовой безопасной области для учета опасной цели и навигационного препятствия / Волков А.Н.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 29 – 35.

7. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

**USE OF REGIONS OF IMPERMISSIBLE VALUES OF PARAMETERS OF MOTION OF SHIP
AT LOCAL-INDEPENDENT CONTROL PROCESS OF DIVERGENCE
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ НЕДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ
СУДНА ПРИ ЛОКАЛЬНО-НЕЗАВИСИМОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ**

Summary: Procedure of estimation of danger of rapprochement of ship with a target is offered by the regions of impermissible parameters of motion of ship. At dangerous rapprochement by the mentioned region it is possible to choose the maneuver of divergence by the change of course of ship, if his speed more of speed of target. At speed of ship there is less speed of target the method of determination of course of deviation of ship for warning of possible collision is considered. If warning of collision it is impossible to prevent by the change of course from straitened of aquatorium, forming of region of impermissible values of parameters of motion of ship is foreseen, by which it is possible to choose the maneuver of divergence by the change of speed. Realization of the offered procedures by the computer program is shown.

Key words: safety of navigation, warning of collision of vessels, region of impermissible parameters, estimation of danger of rapprochement, divergence by the change of course.

Аннотация: Процедура оценки опасности сближения судна с целью предложена с помощью областей недопустимых параметров движения судна. При опасном сближении с помощью упомянутой области можно выбрать маневр расхождения изменением курса судна, если его скорость больше скорости цели. При скорости судна меньше скорости цели рассмотрен способ определения курса уклонения судна для предупреждения возможного столкновения. Если предупреждение столкновения нельзя предотвратить изменением курса из-за стесненности акватории, то предусмотрено формирование области недопустимых значений параметров движения судна, с помощью которой можно выбрать маневр расхождения изменением скорости. Показана реализация предлагаемых процедур с помощью компьютерной программы.

Ключевые слова: безопасность судоходства, предупреждение столкновения судов, область недопустимых параметров, оценки опасности сближения, расхождение изменением курса.

Постановка проблемы.

Упрощенная процедура выявления ситуации опасного сближения и отсутствие простого и оперативного способа принятия решения по выбору безопасного маневра расхождения в значительной мере обуславливают появление риска столкновения сближающихся судов. Маневр расхождения изменением курса судна является предпочтительным при наличии достаточного водного пространства поэтому следует сформировать в первую очередь способ выбора маневра расхождения изменением курса судна, а в случае необходимости предупредить возможное столкновение маневром изменением скорости судна.

Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] рассматривается автономная судовая системы уклонения от столкновения СА (Collision avoidance) и приводится её теоретическое обоснование. Рассматриваются требования к автономной навигации с учетом факторов, влияющих на процесс уклонения от столкновения. В работе указывается, что современные исследования по автоматизации управления судном основаны на использовании искусственного интеллекта AI (Artificial Intelligence), причем для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, используются эволюционные алгоритмы,

логика фuzzi, экспертные методы, нейросеть NN (Neural networks) и комбинация этих методов — гибридные системы (hybrid system). При теоретическом направлении работа не содержит рекомендаций практическому судоходству.

Задача выбора оптимального маневра расхождения очень сложная, отмечается в работах [2-4], а процесс управления движением судна является многомерным с нелинейными и нестационарными характеристиками. По своей сути, по мнению автора, задача может быть формализована методами теории игр. Работы носят теоретический характер, рассматривая возможность описания процесса расхождения судов в терминах дифференциальных игр.

Работы [5-8] посвящены направлению совершенствования вопросов оценки ситуации опасного сближения и предупреждения возможного столкновения. Определенные типы взаимодействия судов в случае возникновения ситуационных возмущений различной интенсивности рассмотрены в работе [5], а работа [6] посвящена формированию гибких стратегий расхождения в зависимости от степени опасности ситуации сближения.

В работе [7] исследована проблема выбора оптимальной структуры системы бинарной координации взаимодействия пары опасно сближающихся судов при расхождении. Для ситуации чрезмерного

сближении судов в работе [8] предложена экстренная стратегия расхождения.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Рассмотренные работы вносят значительный вклад в теорию решения проблемы предупреждения столкновений судов, однако они не содержат рекомендаций по оперативной оценке опасности ситуации сближения и выбору безопасного маневра расхождения. Для внешнего управления процессом расхождения судов в последнее время разрабатываются методы с использованием недопустимых областей курсов или скоростей судов [9]. Аналогичные методы целесообразно разрабатывать и при локально независимом управлении процессом расхождения [9] с использованием недопустимых областей параметров движения судна, которые могут быть реализованы с помощью компьютера в виде оперативной процедуры выбора маневра расхождения судна, чему посвящена настоящая статья.

Цель статьи.

Целью настоящей статьи является рассмотрение способов оценки опасности сближения судна с целью и, в случае необходимости, выбор судном маневра расхождения изменением курса или его торможением с помощью области недопустимых параметров движения судна.

Изложение основного материала.

Если при сближении судна с целью дистанция кратчайшего сближения $\min D$ меньше предельно-допустимой дистанции d_d , то сближение является опасным. Так как значение $\min D$ зависит от пеленга на цель α и дистанции D между судном и целью, а также от параметров движения судна (курса K_1 , скорости V_1) и цели K_2 , V_2 [9], то при заданных значениях α , D , K_2 и V_2 существует множество сочетаний параметров движения судна K_1 и V_1 , при которых имеет место неравенство $\min D \leq d_d$. Если сочетания K_1 и V_1 рассматривать, как точки (K_1, V_1) координатной плоскости $K_1 \times V_1$, то область Ω_d , для

каждой точки (K_1, V_1) которой выполняется неравенство $\min D \leq d_d$, будем называть областью недопустимых параметров движения судна Ω_d .

Очевидно, границей области Ω_d является совокупность точек (K_1, V_1) , для каждой из которой достигается равенство $\min D = d_d$. Учитывая, что данное равенство достигается при относительном уклонении судна как вправо, так и влево относительно направления пеленга, то имеется две границы, которые ограничивают область недопустимых параметров движения судна Ω_d . В этом случае если точка (K_{1i}, V_{1i}) принадлежит области Ω_d , то сближение судна с целью является опасным, так как $\min D < d_d$. В противном случае при сближении опасность столкновения не возникает. Найдем аналитическое выражение для границ области Ω_d . Для этого в равенство $\min D = d_d$ следует подставить выражение для $\min D$ [9]:

$$\Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = d_d, \quad (1)$$

где K_{ot} - относительный курс; Δ - относительное уклонение, знак которого обеспечивает положительное значение $\min D$, причем $\Delta = -1$, при $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$, в противном случае $\Delta = 1$. Следует отметить, что равенство (1) справедливо для всех курсов K_1 судна только в случае $V_1 > V_2$, когда изменением курса судна может быть достигнут любой относительный курс K_{ot} .

Очевидно $K_{ot} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}$. Обозначим $\gamma = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}$. В зависимости от знака Δ получим:

$$\gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}, \text{ при } \Delta > 0 \text{ и } \gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}, \text{ при } \Delta < 0.$$

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

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma^{(1,2)}}{\cos \gamma^{(1,2)}}, \text{ поэтому}$$

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

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

откуда следует:

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

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}. \text{Последнее уравнение имеет два корня:}$$

$$K_{11} - \gamma^{(1,2)} = \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1} \text{ и } K_{12} - \gamma^{(1,2)} = \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}.$$

Поэтому:

$$\begin{aligned} K_{11}^{(1)} &= \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \\ K_{11}^{(2)} &= \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \\ K_{12}^{(1)} &= \gamma^{(1)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \\ K_{12}^{(2)} &= \gamma^{(2)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \end{aligned}$$

причем необходимо учитывать ограничения на значения скорости судна V_1 . Аргумент $V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})/V_1$ под функцией $\arcsin$ не может превосходить 1, следовательно, минимальное значение скорости судна в уравнениях границ $K_{11}^{(2)}$ и $K_{12}^{(2)}$ определяется величиной $V_{1\min} = V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})$, а для границ $K_{11}^{(1)}$ и $K_{12}^{(1)}$ - $V_{1\min} = V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})$ до $V_{1\max}$, поэтому

$$\begin{aligned} K_{11}^{(1)} &\in [\gamma^{(1)} + \frac{\pi}{2}, \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_{1\max}}], \\ K_{12}^{(1)} &\in [\gamma^{(1)} + \frac{\pi}{2}, \gamma^{(1)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_{1\max}}]. \end{aligned}$$

В свою очередь, для курсов $K_{11}^{(2)}$ и $K_{12}^{(2)}$ скорость судна $V_1 \in [V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)}), V_{1\max}]$ и:

$$\begin{aligned} K_{11}^{(2)} &\in [\gamma^{(2)} + \frac{\pi}{2}, \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_{1\max}}], \\ K_{12}^{(2)} &\in [\gamma^{(2)} + \frac{\pi}{2}, \gamma^{(2)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_{1\max}}]. \end{aligned}$$

Следовательно, область недопустимых параметров судна, как функция курса от скорости, аналитически выражается для сближения на встречных курсах:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \quad K_{11}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \quad (2)$$

с учетом ранее указанных ограничений на скорость V_1 .

С учетом выражения для $\gamma^{(1)}$ и $\gamma^{(2)}$ границы (2) принимают вид:

$$\begin{aligned} K_{11}^{(1)} &= \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \\ K_{11}^{(2)} &= \alpha + \arcsin \frac{d_d}{\Delta D} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \end{aligned} \quad (3)$$

причем необходимо учитывать ограничения на значения скорости судна V_1 .

Для ситуации сближения с параметрами: $\alpha = 128^\circ$, $D = 3,5$ мили, $K_1 = 100^\circ$, $V_1 = 22$ узла, $K_2 = 350^\circ$, $V_2 = 17$ узлов, $d_d = 1$ мили с помощью компьютера были рассчитаны границы области Ω_d (рис. 1).

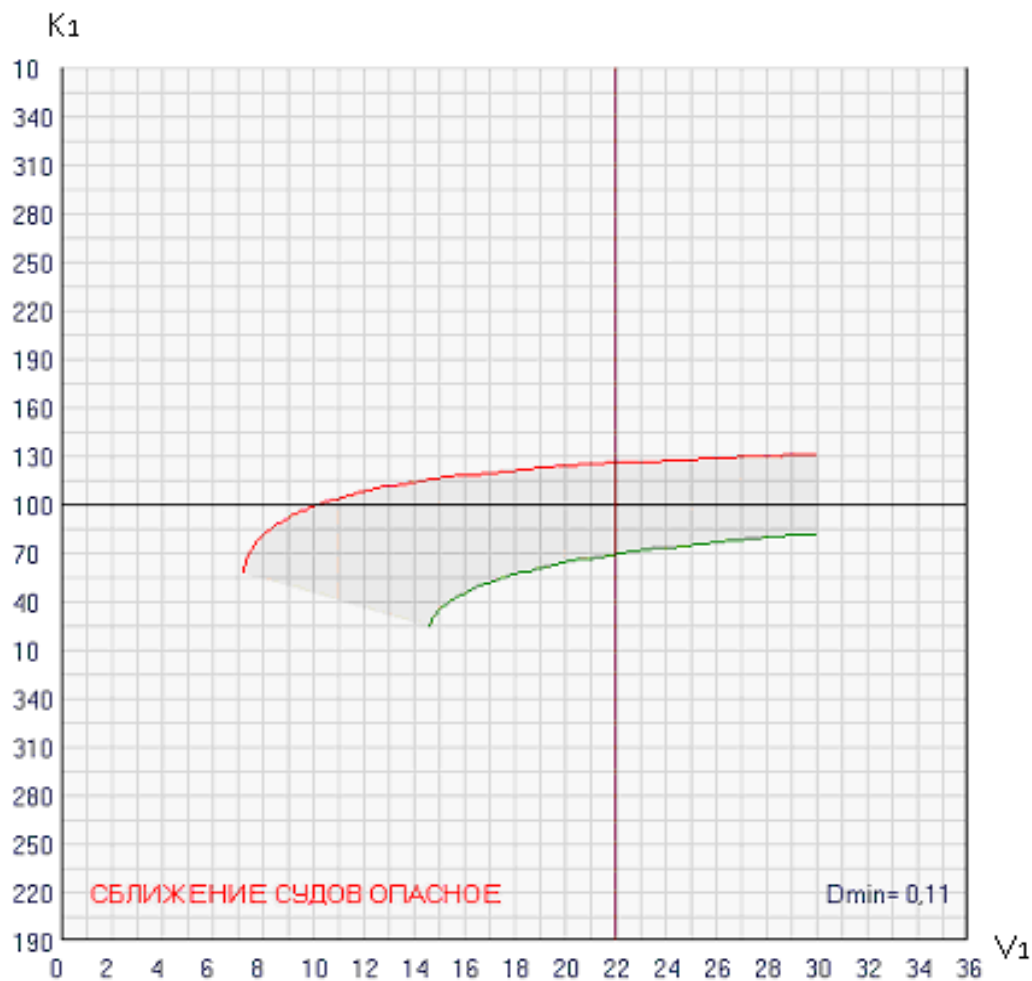


Рис. 1. Область недопустимых параметров движения судна Ω_d

Как указывается в работе [9], в зависимости от соотношения скоростей судна V_1 и цели V_2 при изменении курса судна K_1 возникает особенность изменения относительного курса K_{ot} . В случае $V_1 > V_2$ величина первой производной $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ положительна для всех значений K_1 , поэтому относительный курс K_{ot} может принимать любые значения от 0 до 2π .

Если же $V_1 < V_2$ отображение множества относительных курсов в множество истинных курсов судна не является однозначным, так как первая производная $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ может иметь как положительный,

так и отрицательный знаки, т. е. каждому относительному курсу, кроме экстремальных, соответствует два значения истинного курса судна, а при изменении курса K_1 судна в диапазоне от 0 до 2π относительный курс K_{ot} будет принимать значения из диапазона $[K_{otmin}, K_{otmax}]$, причем:

$$K_{otmin} = \pi + K_2 - \arcsin \frac{V_1}{V_2} \text{ и}$$

$$K_{otmax} = \pi + K_2 + \arcsin \frac{V_1}{V_2}.$$

Поэтому выбор маневра расхождения изменением курса при опасном сближении судна с целью с помощью области Ω_d , как выше указывалось, возможен в ситуации, когда $V_1 > V_2$. В случае же $V_1 < V_2$ использование области Ω_d для выбора

судном маневра уклонения от опасной цели не является корректным, так как не все относительные курсы могут быть достигнуты изменением курса судна. Поэтому при $V_1 < V_2$ целесообразно производить выбор безопасного относительного курса уклонения в системе координат переменных относительного курса K_{ot} и скорости судна V_1 . Выбор безопасного курса уклонения производится следующим образом.

Подмножество относительных курсов $Mn1_{ot}$, при которых сближение судна и цели опасно, ограничено значениями $K_{ot*} = \gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}$ и $K_{ot}^* = \gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}$, т.е. $Mn1_{ot} = [\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}]$. В свою очередь, подмножество всех возможных относительных курсов уклонения при $V_1 < V_2$ определяется подмножеством $Mn2_{ot} = [K_{otmin}, K_{otmax}]$. Если имеется

подмножество относительных курсов $Mn3_{ot}$, которое одновременно удовлетворяет условиям $Mn3_{ot} \in Mn2_{ot}$ и $Mn3_{ot} \notin Mn1_{ot}$, то в качестве относительного курса уклонения K_{oty} может быть выбран любой относительный курс подмножества $Mn3_{ot}$, т.е. $K_{oty} \in Mn3_{ot}$. По выбранному K_{oty} можно найти соответствующий истинный курс судна K_{ly} [9]. В качестве примера для случая $V_1 < V_2$ рассмотрена ситуация сближения со следующими параметрами: $\alpha = 106^\circ$, $D = 3,0$ мили, $K_1 = 45^\circ$, $V_1 = 15$ узла, $K_2 = 317^\circ$, $V_2 = 20$ узлов, $d_d = 1$ мили. Для данной ситуации графическое отображение подмножеств относительных курсов $Mn1_{ot}$ и $Mn2_{ot}$ показано на рис. 2.



Рис. 2. Подмножества относительных курсов $Mn1_{ot}$ и $Mn2_{ot}$ при $V_1 < V_2$

Наличие навигационных опасностей или мешающих судов при опасном сближении судна с целью в стесненных водах могут создать ситуации, при которых расхождение маневром изменения курса невозможно, что обуславливает необходимость использования маневра расхождения изменением скорости. При этом происходит снижение скорости судна путем активного или пассивного

торможения. 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 судна на цель, то при формализации задачи для судна целесообразно принять начальные координаты

$X_{10} = 0$ и $Y_{10} = 0$. Очевидно, начальные координаты цели имеют значения $X_{20} = D_0 \sin \alpha_0$ и $Y_{20} = D_0 \cos \alpha_0$. Принимаем, что торможение судна начинается в момент времени t_0 и в течение времени торможения τ скорость уменьшается до значения V_{1y} , после чего судно следует с данной скоростью до момента времени кратчайшего сближения. Затем судно увеличивает скорость до начального значения V_1 . Следует определить максимальное значение скорости расхождения V_{1y} , которое обозначим V_{1ym} , обеспечивающее равен-

ство дистанции кратчайшего сближения с предельно-допустимой дистанцией, т. е. $\min D = d_d$.

После нулевого момента времени $t_0 = 0$ до окончания переходного процесса торможения координаты судна и цели изменяются на величины соответственно ΔX_1 , ΔY_1 и ΔX_2 , ΔY_2 , причем:

$$\Delta X_1 = S \sin K_1; \Delta Y_1 = S \cos K_1; \\ \Delta X_2 = V_2 \tau \sin K_2; \Delta Y_2 = V_2 \tau \cos K_2, \quad (4)$$

где τ и S - соответственно продолжительность переходного процесса и пройденное судном расстояние за это время. Очевидно, координаты судна и цели на момент времени τ определяются следующими выражениями:

$$X_1(\tau) = X_{10} + \Delta X_1 = S \sin K_1; Y_1(\tau) = Y_{10} + \Delta Y_1 = S \cos K_1; \\ X_2(\tau) = X_{20} + \Delta X_2 = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \tau \sin K_2; Y_2(\tau) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \tau \cos K_2,$$

причем параметры движения судна, как и относительный курс $K_{отр}$, становятся неизменными, а дистанция кратчайшего сближения судов

$$D_{\min} = \text{Abs}[D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p)], \quad (5)$$

в которой значения пеленга α_p и дистанции D_p на момент времени τ окончания переходного процесса изменения скорости судна определяются выражениями:

$$D_p = \sqrt{(X_1(\tau) - X_2(\tau))^2 + (Y_1(\tau) - Y_2(\tau))^2}; \\ \alpha_p = \arcsin \frac{X_1(\tau) - X_2(\tau)}{D_p}. \quad (6)$$

Так как значения параметров торможения τ и S зависят от сниженной скорости V_{1y} , то поиск оптимальной скорости V_{1ym} следует производить с помощью следующей процедуры. Вначале в качестве V_{1y} выбирается минимальная скорость судна V_{1ymin} , при которой оно управляется. Для этого значения скорости рассчитываются величины τ , S и $K_{отр}$, с помощью которых по формуле (5) вычисляется значения $D_{\min}(V_{1ymin})$. Если

$D_{\min}(V_{1ymin})$ равно или больше величины d_d , то существует множество допустимых маневров расхождения с помощью скорости V_{1y} . В противном случае следует выбрать другой маневр расхождения (например, изменением курса и скорости). В случае $D_{\min}(V_{1ymin}) > d_d$ следует увеличить скорость V_{1y} на величину ΔV_{1y} и рассчитать значение $D_{\min}(V_{1ymin} + \Delta V_{1y})$, которое сравнивается с величиной d_d . Скорость V_{1y} пошагово увеличивается до тех пор, пока наступит равенство $D_{\min}(V_{1ymin} + n\Delta V_{1y}) = d_d$. Поэтому $V_{1ymin} + n\Delta V_{1y} = V_{1ym}$ - оптимальное значение скорости расхождения судна.

Для поиска оптимального значения скорости уклонения V_{1ym} судна необходимо использовать аналитические выражения для параметров активного и пассивного торможения τ и S в зависимости от скорости уклонения V_{1y} , для чего воспользуемся результатами работы [10], которые приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные формулы τ и S судна в разных режимах движения

	Активное торможение	Пассивное торможение
Текущая скорость	$V = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\mu}} \operatorname{tg}[\operatorname{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m} t]$	$V = \frac{V_1}{1 + \frac{V_1 \mu}{(1+k)m} t}$
Время торможения	$\tau = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\operatorname{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \operatorname{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V)]$	$\tau = \frac{(1+k)m}{\mu V_1} (\frac{V_1}{V} - 1)$
Пройденное расстояние	$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V^2 + \frac{P}{\mu}} \right $	$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left \frac{V_1^2}{V^2} \right $

Таким образом, используя полученные выражения для времени τ и расстояния S при активном и пассивном торможении, по ранее рассмотренной итерационной процедуре последовательных приближений производится расчет значения оптимальной скорости уклонения V_{1ym} .

В случае $D_{\min}(V_{1ym}) < d_d$ безопасное расхождение судна с целью невозможно в предельно-допустимой дистанции сближения. Поэтому необходимо выбрать другой курс судна K_{1y} и в случае существования для него безопасного маневра расхождения изменением скорости ему соответствует оптимальная скорость уклонения V_{1ym} , при которой дистанция кратчайшего

сближения равна предельно-допустимой дистанции. $\min D = d_d$. Совокупность точек (K_{1y} , V_{1ym}) являются границей недопустимой области Θ_{dV} , на которой достигается равенство $\min D = d_d$, а внутри – сочетание параметров K_{1y} и V_{1y} не обеспечивают безопасного расхождения маневром изменения скорости судна торможением. Найдем процедуру формирования границы области Θ_{dV} , учитывая условие $\min D = d_d$. Подставляем выражение для $\min D$ и получим:

$$\Delta D_p \sin(\alpha_p - K_{отр}) = d_d,$$

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

Из последнего выражения следует:

$$\alpha_p = K_{отр} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p}.$$

Подставляем выражение для α_p из (6):

$$\operatorname{Arcsin} \frac{X_1(\tau) - X_2(\tau)}{D_p} = K_{отр} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p},$$

из которого следует:

$$\frac{X_1(\tau) - X_2(\tau)}{D_p} = \sin(K_{отр} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p}), \text{ или}$$

$$X_2(\tau) = X_1(\tau) - [\sin(K_{отр} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] D_p, \quad (7)$$

или после подстановки $X_2(\tau)$ из выражения (4) получим уравнение:

$$\tau = \frac{1}{V_2 \sin K_2} \{ X_1(\tau) - [\sin(K_{отр} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] D_p \}. \quad (8)$$

Рассмотрим полученное выражение для режимов активного и пассивного торможения. В случае активного торможения:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y})],$$

поэтому из выражения (8):

$$\begin{aligned} \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y}) &= \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \rightarrow \\ &- \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)mV_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})]/D_p\}, \end{aligned}$$

или получим выражение для расчета V_{1y} методом простых итераций:

$$\begin{aligned} V_{1y} &= \sqrt{\frac{P}{\mu}} \text{tg} \left\{ \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \rightarrow \right. \\ &- \left. \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)mV_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})]/D_p\} \right\}, \quad (9) \end{aligned}$$

$$\text{где } X_1(\tau) = S \sin K_{1y} = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{1y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \sin K_{1y},$$

$$D_p = \sqrt{(X_1(\tau) - X_2(\tau))^2 + (Y_1(\tau) - Y_2(\tau))^2}, \quad (10)$$

причем

$$Y_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{1y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \cos K_{1y};$$

$$X_2(\tau) = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \sin K_2 \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y})];$$

$$Y_2(\tau) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \cos K_2 \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y})].$$

В случае пассивного торможения:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right)$$

и выражение (8) принимает вид:

$$\frac{V_1}{V_{1y}} = 1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)mV_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})]/D_p\},$$

откуда получим выражение для расчета V_{1y} методом простых итераций:

$$V_{1y} = \frac{V_1}{1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)mV_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})]/D_p\}}, \quad (11)$$

где $X_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \sin K_{1y}$, D_p определяется выражением (10),

$$Y_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \cos K_{1y},$$

$$X_2(\tau) = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \sin K_2 \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right),$$

$$Y_2(\tau) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \cos K_2 \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right).$$

Таким образом, границу недопустимой области Θ_{dV} скоростей V_{1y} и курсов K_{1y} методом простых итераций для активного торможения следует рассчитывать по формуле (9), а в случае пассивного торможения - по формуле (11).

Для формирования области Θ_{dV} и расчета ее границ была разработана компьютерная программа. В качестве примера была рассмотрена ситуация опасного сближения судна с целью с парам-

метрами: $D = 2,1$ мили, $\alpha = 190^\circ$, $K_1 = 140^\circ$, $K_2 = 56^\circ$, $V_1 = 15$ узлов, $V_2 = 20$ узлов, $d_d = 1$ мили.

Расчет границы опасной области Θ_{dV} для активного торможения производился методом простых итераций по формуле (9), а результаты расчета

области Θ_{dV} показаны на рис. 3. Как следует из приведенного рисунка, при неизменном начальном курсе судна $K_1 = 140^\circ$ безопасное расхождение с целью возможно при снижении скорости активным торможением до величины 0,4 узла, т. е. практически остановкой судна.

В случае пассивного торможения граница опасной области Θ_{dV} рассчитывается методом простых итераций с помощью выражения (11). Для опасной ситуации сближения рассмотренной в качестве примера для активного торможения была рассчитана граница области Θ_{dV} при пассивном торможении, которая показана на рис. 4. Из рисунка видно, что при неизменном начальном курсе судна оптимальная скорость расхождения при пассивном торможении равна 6 узлам. Обращаем внимание, что при курсах

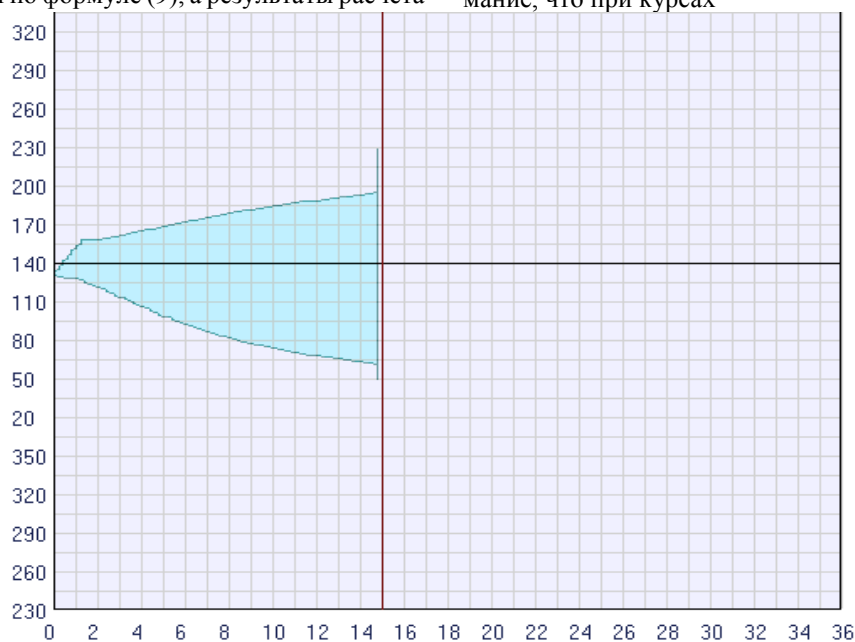


Рис. 3. Опасная область Θ_{dV} при активном торможении судна

судна меньше 63° и больше 195° возможно безопасное расхождение с целью без снижения скорости судна.

Если активным или пассивным торможением судна при начальном курсе расхождение невозможно, то необходимо определить другой курс и

соответствующую ему оптимальную скорость с мощностью опасной области Θ_{dV} .

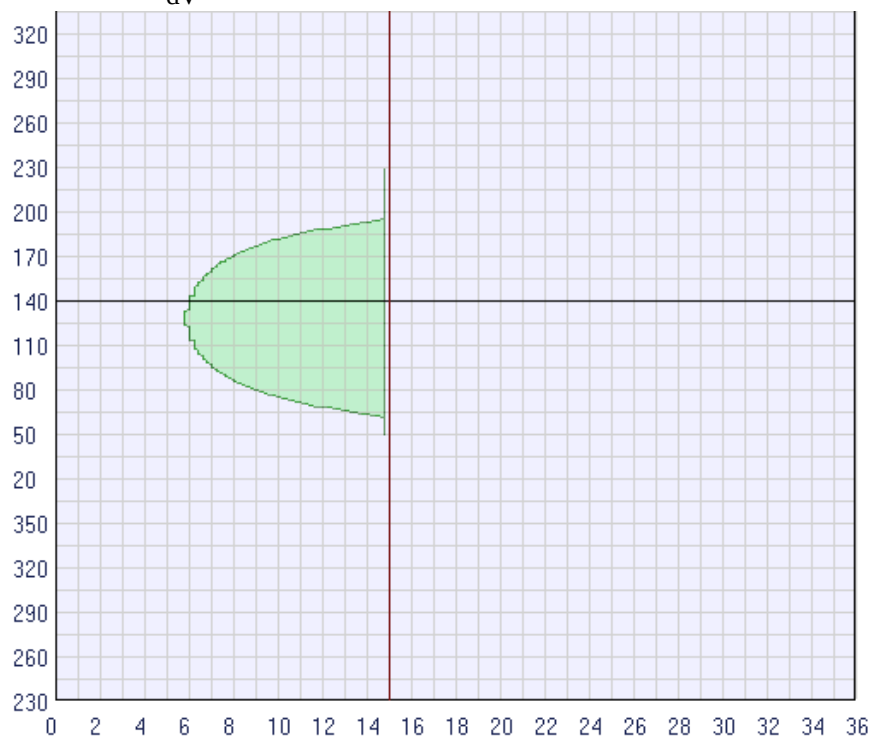


Рис. 4. Опасная область Θ_{dV} при пассивном торможении судна

Выводы и предложения.

1. Область недопустимых значений параметров движения судна Ω_d при скорости судна превосходящей скорость цели позволяет оценить опасность сближения и в случае необходимости выбрать маневр расхождения изменением курса судна.

2. В случае если скорость судна меньше скорости цели, то оценка опасности их сближения и выбора маневра расхождения изменением курса судна производится с применением подмножества относительных курсов MnZ_{ot} .

3. С помощью опасной области Θ_{dV} можно оценить возможность безопасного расхождения маневром активного или пассивного торможения судна на начальном курсе следования и в случае необходимости выбрать оптимальную скорость расхождения. В случае необходимости можно выбрать другой курс уклонения и оптимальную скорость торможения, которые соответствуют точке, принадлежащей границе области Θ_{dV} .

Список литературы:

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. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. –

2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.

3. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. – Gdańsk. – P. 71-78.

4. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. - 2005. - No 3-4, Vol. XVII. – P. 133-147.

5. 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.

6. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

7. A. Volkov. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation / A. Volkov, E. Pyatarov & A. Yakushev// Activites in Navigation.-Adam Weintrit/ - 2015, P. 195 – 200.

8. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

9. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

10. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И.– М.: Транспорт, 1975.– 81с.

Vorokhobin I.I.PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»**Sikirin V.E.**senior lecturer,
National University «Odessa Maritime Academy»**Fusar I.Y.**PhD student,
National University «Odessa Maritime Academy»**Ворохобин Игорь Игоревич**кандидат технических наук, декан факультета МПУТ,
Национальный университет "Одесская морская академия"**Сикирин Владимир Евгеньевич**старший преподаватель кафедры Судовождения,
Национальный университет "Одесская морская академия"**Фусар Игорь Юрьевич**аспирант,
Национальный университет "Одесская морская академия"

**EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE ERMIT'S POLYNOMIALS FOR ORTOGONAL
DECOMPOSITION OF CLOSENESSES OF DISTRIBUTING OF NAVIGATION ERRORS
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИНОМОВ ЭРМИТА ДЛЯ ОРТОГОНАЛЬНОГО
РАЗЛОЖЕНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

Summary: The analysis of possibilities of application of orthogonal decomposition of closeness of distributing of errors of the navigation measuring by the Ermit's polynomials is produced. Estimation of efficiency of orthogonal decomposition of three laws of distributing of random error terms of the navigation measuring by comparison of the rationed closeness with their orthogonal decompositions is resulted. It appeared as a result of analysis, that was achieved the best efficiency of orthogonal decomposition in the case when it contains one element only.

Key words: navigation accident rate, laws of distributing of random error terms, orthogonal decomposition of closeness of distributing, the Ermit's polynomials, efficiency of decomposition.

Аннотация: Произведен анализ возможностей применения ортогонального разложения плотностей распределения погрешностей навигационных измерений с помощью полиномов Эрмита. Приведена оценка эффективности ортогонального разложения трех законов распределения случайных погрешностей навигационных измерений путем сравнения нормированных плотностей с их ортогональными разложениями. В результате анализа оказалось, что наилучшая эффективность ортогонального разложения достигается в случае, когда оно содержит только одно слагаемое.

Ключевые слова: навигационная аварийность, законы распределения случайных погрешностей, ортогональное разложение плотности распределения, полиномы Эрмита, эффективность разложения.

Постановка проблемы.

Одним из существенных аспектов проблемы обеспечения надлежащего уровня безопасности судовождения является повышение точности контроля места судна при плавании в стесненных водах. Анализ статистических материалов погрешностей навигационных измерений показал, что зачастую погрешности не подчиняются нормальному закону распределения и при дефиците статистических материалов погрешностей не удастся с помощью стандартной процедуры определить закон их распределения, однако можно оценить центральные моменты распределения и если гистограмма выборки имеет «утяжеленные хвосты», то можно использовать разложение плотности распределения погрешностей с помощью ортогональных полиномов Эрмита, не располагая ее аналитическим выражением. Полученное разложение можно использовать вместо самой плотности распределения.

Анализ последних достижений и публикаций.

Результаты исследования возможности описания систем зависимых случайных величин с помощью обобщенного распределения Пуассона с базовым нормальным распределением приведены в работе [1]. Анализ различных подходов оценки точности определения места судна с помощью приёмника спутниковой радионавигационной системы произведен в работе [2]. Анализ статистических материалов показал, что предположение о распределении случайных погрешностей определения широты и долготы по закону Гаусса не является корректным и требует альтернативного подхода. В работе [3] произведен анализ выборок случайных погрешностей измерений навигационных параметров и показано, что наибольшее согласие статистического материала с теоретическим распределением достигается для законов, отличающихся от нормального закона.

В этом случае, как следует из работ [4, 5], применение метода наименьших квадратов для расчета обсервованных координат судна не обеспечивает возможности получения их эффективных оценок. Для получения эффективных оценок обсервованных координат судна необходимо использовать метод максимального правдоподобия, учитывающий действительный закон распределения погрешностей. Данное обстоятельство в настоящее время не учитывается, и соответствующие аналитические выражения получения эффективных оценок отсутствуют.

В работах [6, 7] рассматриваются вопросы законов распределения вероятностей погрешностей навигационной измерений исходной выборки, которая является смесью частных выборок нормально распределенных погрешностей с разной дисперсией. Получена процедура оценки эффективности обсервованных координат судна с учетом смешанных распределений погрешностей исходной выборки.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Как показывает анализ рассмотренных работ, разнообразие законов распределения вероятностей случайных величин, особенностью которых является наличие утяжеленных хвостов, может быть унифицировано использованием ортогонального разложение с полученными значениями центральных моментов высших порядков. При этом существенным обстоятельством является степень совпадения плотности распределения с ее ортогональным разложением, что является предметом исследования данной статьи.

Цель статьи.

Целью статьи является анализ эффективности ортогонального разложения плотностей трех законов распределения и выявление возможностей использования ортогонального разложения вместо плотности распределения упомянутых законов.

Изложение основного материала.

В настоящей статье произведем анализ эффективности применения ортогонального разложения плотностей распределения погрешностей навигационных параметров. С этой целью для нескольких

известных плотностей распределения произведем ортогональное разложение и сравним значения исходной плотности распределения с ее ортогональным разложением. Для анализа, учитывая симметричность кривой плотности распределения, рассмотрим только положительные значения погрешности ξ в пределах от 0 до 6σ , - практически весь интервал возможных значений погрешности. Разобьем указанный интервал на 24 отрезка одинаковой длины (по $0,25\sigma$). Для каждого i -го отрезка вычисляем значение исходной плотности $f(\xi_i)$

и плотности $f(\xi_i)$, являющейся ортогональным разложением исходной плотности, причем значение ξ_i соответствует середине i -го отрезка. В качестве критерия эффективности, характеризующего соответствие ортогонального разложения $f(\xi_i)$ исходной плотности $f(\xi_i)$, выбрана следующая сумма:

$$\Theta = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \left\{ \frac{[f(\xi_i) - f(\xi_i)]^2}{f(\xi_i)} \right\}^{1/2},$$

выражающая относительное отклонение плотности $f(\xi_i)$ от ее разложения. В качестве исходных плотностей выбираем плотности смешанного распределения первого и второго типа, а также плотность обобщенного распределения Пуассона.

Приведем выражение для ортогонального разложения с помощью полиномов Эрмита. Для этого воспользуемся результатами работы [8], выбирая в качестве базовой нормированную плотность Гаусса:

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

где $H_{2j}(y)$ - ортогональные полиномы Эрмита;

c_{2j} - коэффициенты разложения.

С учетом первых пяти членов разложения получим:

$$f(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) \left[1 + \sum_{j=2}^6 \Phi_j \right],$$

где $\Phi_j = \frac{c_{2j}}{2^j j!} H_{2j}(y)$.

Подробные выражения для Φ_j имеют следующий вид:

$$\Phi_2 = (\mu_4 - 3)(y^4 - 6y^2 + 3)/4!;$$

$$\Phi_3 = (\mu_6 - 15\mu_4 + 30)(y^6 - 15y^4 + 45y^2 - 15)/6!;$$

$$\Phi_4 = (\mu_8 - 28\mu_6 + 210\mu_4 - 315)(y^8 - 15y^6 + 45y^4 - 15y^2 - 15)/8!;$$

$$\Phi_5 = (\mu_{10} - 45\mu_8 + 630\mu_6 - 3150\mu_4 + 3780) \times$$

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

$$\Phi_6 = (\mu_{12} - 66\mu_{10} + 1485\mu_8 - 13860\mu_6 + 51975\mu_4 - 51975) \times \\ (y^{12} - 66y^{10} + 1485y^8 - 13860y^6 + 51975y^4 - 62370y^2 + 10395)/12!.$$

Располагая выражением для ортогонального разложения, можно его использовать вместо исходной плотности, только требуется в формулы для Φ_j подставить центральные моменты μ_m

исходной плотности, предварительно преобразовав ее к нормированной.

Рассмотрим в качестве исходной плотность распределения центрированной погрешности ξ смешанного закона первого типа, которая имеет следующий аналитический вид [1]:

$$f_1(\xi) = \frac{A_n}{(\xi^2/2 + \lambda)^{n+1}},$$

где A_n - нормирующий множитель;

λ - масштабный параметр;

n - существенный параметр. Преобразуем полученную плотность к нормированному виду, для чего достаточно использовать формулу [8]:

$$g(\eta) = \mu_2^{1/2} f(\mu_2^{1/2} \eta),$$

где $\eta = \xi / \mu_2^{1/2}$ - нормированная погрешность с единичной дисперсией;

μ_2 - дисперсия случайной величины ξ ;

$g(\eta)$ - нормированная плотность распределения.

Для рассматриваемой плотности $f_1(\xi)$ дис-

персия равна $\mu_2 = \frac{2\lambda}{2n-1}$ и соответствующая

нормированная плотность $g_1(\eta)$ имеет следующий вид:

$$g_1(\eta) = \frac{B_1}{(\eta^2/(2n-1)+1)^{n+1}}.$$

$$\text{Здесь } B_1 = \frac{2^{2n} [(n)!]^2}{(2n-1)^{1/2} \pi (2n)!} - \text{нормирующей множитель.}$$

Центральные четные моменты μ_{2m} нормиро-

ванной случайной величины η определяются выражением:

$$\mu_{2m}^{(1)} = \frac{(2n-1)^m n! [2(n-m)!] (2m)!}{(2n)! (n-m)! m!}.$$

Для расчета значений нормированной плотности $g_1(\eta)$ необходимо вычислить значения множителя B_1 . В данной статье рассмотрим нормированную плотность с существенным параметром $n = 2, 4, 6, 8, 10$. Поэтому в табл. 1 приведены численные значения нормирующего множителя B_1 для указанных значений существенного параметра n .

Таблица 1. Значения нормирующего множителя B_1

n	2	4	6	8	10
B_1	0,49031	0,440213	0,4256591	0,4187223	0,4146626

В табл. 2 приведены результаты расчета центральных четных моментов смешанного закона

распределения первого типа от μ_4 до μ_{12} для существенных параметров $n = 2, 4, 6, 8, 10$.

Таблица 2. Значения центральных четных моментов

n, m	2	4	6	8	10
4	9	4.2	3.667	3.462	3.353
6	-	49	28.81	23.60	21.23
8	-	2401	443.67	275.35	217.25
10	-	-	14641.0	5310.3	3377.3
12	-	-	1771561.0	175240.4	78428.5

Очевидно, что в зависимости от n ортогональное разложение $f_1(\xi)$ содержит различное количество составляющих Φ_j , так как порядок четного центрального момента в рассматриваемом типе плотности не может превосходить существенного параметра n , т. е. $m < n$. С учетом полученных

значений моментов μ_{2m} приведем выражения для ортогонального разложения $f_1(y)$ в зависимости от значения существенного параметра n ($n = 2, 4, 6, 8, 10$).

$$\begin{aligned} f_1^{(2)}(y) &= (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(2)}]; \\ f_1^{(4)}(y) &= (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(4)} + \Phi_2^{(4)} + \Phi_3^{(4)}]; \\ f_1^{(6)}(y) &= (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(6)} + \Phi_2^{(6)} + \Phi_3^{(6)} + \Phi_4^{(6)} + \Phi_5^{(6)}]; \\ f_1^{(8)}(y) &= (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(8)} + \Phi_2^{(8)} + \Phi_3^{(8)} + \Phi_4^{(8)} + \Phi_5^{(8)}]; \\ f_1^{(10)}(y) &= (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(10)} + \Phi_2^{(10)} + \Phi_3^{(10)} + \Phi_4^{(10)} + \Phi_5^{(10)}]. \end{aligned}$$

С целью изучения свойств ортогонального разложения для каждой плотности, кроме $n=2$, рассчитывали критерий эффективности при разном числе составляющих Φ_j , т. е. вначале в

ортогональном разложении $f_1^{(n)}(y)$ учитывали только первое слагаемое $\Phi_1^{(n)}$ и рассчитывали эффективность $\mathfrak{E}_1^{(n)}$. Затем вычисляли значение $\mathfrak{E}_2^{(n)}$ сохраняя в разложении $f_1^{(n)}(y)$ два слагаемых $\Phi_1^{(n)}$ и $\Phi_2^{(n)}$. Аналогично находили эффективность для разложения с тремя, четырьмя и

пятью слагаемыми. Результаты расчета эффективности $\mathfrak{E}_i^{(n)}$ применения разложения $f_1^{(n)}(y)$ вместо исходной плотности $g_1(y)$ при разном числе слагаемых $\Phi_i^{(n)}$ приведены в табл. 3.

Как следует из приведенной таблицы, наилучшая эффективность ортогонального разложения в случае, когда оно содержит только одно слагаемое $\Phi_1^{(n)}$, причем $\mathfrak{E}_i^{(n)}$ улучшается с ростом n , т. е. оптимальное ортогональное разложение имеет следующее выражение:

$$f_1^{(n)}(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + \Phi_1^{(n)}],$$

$$\text{где } \Phi_1^{(n)}(y) = (\mu_4^{(n)} - 3)(y^4 - 6y^2 + 3)/24.$$

Таблица 3. Результаты расчета эффективности $\mathfrak{E}_i^{(n)}$

n	$\mathfrak{E}_1^{(n)}$	$\mathfrak{E}_2^{(n)}$	$\mathfrak{E}_3^{(n)}$	$\mathfrak{E}_4^{(n)}$	$\mathfrak{E}_5^{(n)}$
2	0,175	-	-	-	-
4	0,0216	0,085	1,11	-	-
6	0,0094	0,0193	0,0547	0,334	7,09
8	0,0055	0,0085	0,0141	0,0406	0,188
10	0,0037	0,0048	0,0057	0,0115	0,0313

Присоединение дополнительных членов разложения, как показали проведенные исследования, ухудшает его точность.

Следующим рассмотрим смешанное распределение центрированной погрешности ξ , плотность которого имеет следующий аналитический вид [1]:

$$f_2(\xi) = \frac{D_n}{(\xi^2/2 + \lambda)^{n+3/2}},$$

где D_n - нормирующий множитель распределения;

λ - масштабный параметр распределения;

n - существенный параметр распределения, который принимает только целочисленные значения.

Преобразуем указанную плотность к нормированному виду аналогично предыдущему случаю, учитывая что дисперсия распределения равна $\mu_2 = \lambda/n$. Нормированная плотность $g_2(\eta)$ имеет следующий вид:

$$g_2(\eta) = \frac{B_2}{(\eta^2/2 + 1)^{n+3/2}}.$$

$$\text{В этом выражении } B_2 = \frac{(2n+1)!}{(2n)^{1/2} 2^{2n+1} (n!)^2}$$

- нормирующий множитель. Центральные четные моменты μ_{2m} нормированной случайной величины η определяются выражением:

$$\mu_{2m}^{(2)} = \frac{n^m (2m)! (n-m)!}{2^m m! n!}.$$

Для расчета значений нормированной плотности как и в предыдущем случае необходимо вычислить значения множителя B_2 для значений существенного параметра $n = 2, 4, 6, 8, 10$. В табл. 4 приведем численные значения нормирующего множителя для указанных значений существенного параметра n .

Таблица 4. Значения нормирующего множителя B_2

n	2	4	6	8	10
B_2	0,46875	0,435036	0,423290	0,417309	0,413690

В табл. 5 приведены результаты расчета центральных четных моментов от μ_4 до μ_{12} для существенных параметров $n = 2, 4, 6, 8, 10$. Очевидно, что в зависимости от n ортогональное разложение $f_2^{(n)}(y)$ может содержать различное количество составляющих $\Phi_j^{(n)}$, так как порядок четного цен-

трального момента в рассматриваемом типе плотности как и в предыдущем случае не может превосходить существенного параметра n , т. е. $m < n$.

Как и в предыдущем случае, с целью изучения свойств ортогонального разложения для каждой плотности, кроме $n = 2$, критерий эффективности рассчитывали для различного числа составляющих $\Phi_j^{(n)}$.

Таблица 5. Значения центральных четных моментов

n	2	4	6	8	10
μ_4	6	4	3,6	3,429	3,333
μ_6	-	40	27,0	22,86	20,833
μ_8	-	1120	378,0	256,0	208,33
μ_{10}	-	-	10206,0	4608,0	3125,0
μ_{12}	-	-	673596,0	135168	68750

Результаты расчета эффективности $\mathfrak{E}_i^{(n)}$ использования разложения $f_2^{(n)}(y)$ вместо исходной плотности $g_2(y)$ при различном числе слагаемых $\Phi_j^{(n)}$ приведены в табл. 6. Из приведенной

таблицы следует, что, как и для предыдущего типа плотности распределения, наилучшая эффективность разложения достигается, когда оно содержит только одно слагаемое $\Phi_1^{(n)}$, причем эффективность улучшается с ростом n .

Таблица 6. Результаты расчета эффективности $\Xi_i^{(n)}$

n	$\Xi_1^{(n)}$	$\Xi_2^{(n)}$	$\Xi_3^{(n)}$	$\Xi_4^{(n)}$	$\Xi_5^{(n)}$
2	0,0742	-	-	-	-
4	0,0168	0,0524	0,349	-	-
6	0,0081	0,0152	0,0363	0,171	1,857
8	0,0050	0,0072	0,0109	0,0283	0,110
10	0,0033	0,0042	0,0047	0,0090	0,022

В качестве третьего и заключительного закона распределения рассмотрим обобщенное распределение Пуассона, порождаемое распределением Гаусса. Выбор указанного распределения обусловлен тем, что его плотности присущи "утяжеленные хвосты" [1].

Плотность распределения этого типа описывается следующим выражением [9]:

$$f_3(\xi) = \frac{\exp(-c)}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{1/2} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2k\sigma^2}\right),$$

где σ и c - соответственно масштабный и существенный параметры распределения.

Так как дисперсия рассматриваемого распределения равна $\mu_2 = c^2$, то нормированная плотность обобщенного пуассоновского распределения имеет следующий аналитический вид:

$$g_3(\eta) = \frac{\exp(-c)}{(2\pi)^{1/2}} c^{1/2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{1/2} \exp\left(-\frac{c\eta^2}{2k}\right).$$

Для ортогонального разложения требуются центральные моменты распределения, которые могут быть получены с помощью его характеристической функции, которая имеет вид:

$$\psi(t) = \exp\{c[\exp(-t^2\sigma^2/2) - 1]\}.$$

Центральные моменты рассматриваемого типа плотности выражаются через производные характеристической функции соответствующего порядка при $t=0$, т. е. для четных центральных моментов распределения справедливо равенство [9]:

$$\mu_{2m} = (-1)^m \psi^{(2m)}(0).$$

Дифференцируя $2m$ раз характеристическую функцию $\psi(t)$, находим выражения для четных центральных моментов нормированной случайной величины, которые приведены в табл. 7. Из анализа таблицы видно, что значения четных центральных моментов зависят от существенного параметра распределения c . Поэтому следует рассмотреть несколько случаев с различными значениями параметра c . Для проверки ортогонального разложения рассмотрим значения параметра c , которые равны 1 - 5.

Значения центральных моментов $\mu_4 - \mu_{10}$ для значений существенного

Таблица 7. Выражения для четных центральных моментов

Момент	Выражение для моментов
μ_4	$3(c+c^2)/c^2$
μ_6	$15(c+c^2+c^3)/c^3$
μ_8	$105(c+c^2+c^3+c^4)/c^4$
μ_{10}	$945(c+c^2+c^3+c^4+c^5)/c^5$

параметра $c = 1, 2, 3, 4, 5$ приведены в табл. 8.

Таблица 8. Значения четных центральных моментов

Момент	$c = 1$	$c = 2$	$c = 3$	$c = 4$	$c = 5$
μ_4	6	4,5	4	3,75	3,12
μ_6	45	26,5	21,7	19,7	15,62
μ_8	420	196,9	155,6	139,5	109,4
μ_{10}	4725	1830,9	1411,7	1258,8	984,4

Результаты расчета эффективности $\mathfrak{E}_i^{(n)}$ использования разложения $f_3^{(n)}(y)$ вместо исход-

ной плотности $g_3(\eta)$ при различном числе слагаемых $\Phi_1^{(n)}$ (от одного до четырех) приведены в табл. 9.

Таблица 9. Результаты расчета эффективности $\mathfrak{E}_i^{(n)}$

c	$\mathfrak{E}_1^{(n)}$	$\mathfrak{E}_2^{(n)}$	$\mathfrak{E}_3^{(n)}$	$\mathfrak{E}_4^{(n)}$
1	0,127	0,161	0,198	0,223
2	0,068	0,095	0,128	0,142
3	0,047	0,067	0,098	0,124
4	0,034	0,052	0,079	0,106
5	0,025	0,043	0,067	0,087

Как и для двух предыдущих типов распределения, ортогональное разложение плотности обобщенного пуассоновского распределения обладает наилучшей эффективностью при использовании только первого члена разложения, причем разложение $f_3^{(n)}(y)$ с высокой точностью совпадает с самим распределением, а точность повышается с ростом параметра c.

Выводы и предложения.

1. Рассмотрено ортогональное разложение плотностей смешанных законов первого и второго типа, а также обобщенного распределения Пуассона. Получены выражения их нормированных плотностей и центральных моментов высших порядков.

2. Рассчитана эффективность ортогональных разложений и выявлено, что точность описания ортогональным разложением исходной плотности снижается с увеличением числа членов разложения.

3. Рассмотренные три типа распределений с "утяжеленными хвостами" можно представить ортогональным разложением, содержащим первый член разложения, что позволяет применять ортогональное разложение для описания погрешностей навигационных измерений.

4. Точность соответствия исходной плотности ее ортогональному разложению для рассмотренных трех законов распределения повышается с ростом значения существенного параметра.

Список литературы:

1. Астайкин Д.В. Оценка точности координат

судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrücken, Deutschland/Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.

2. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.

3. Мельник Е.Ф. Приближенное описание смешанных распределений погрешностей навигационных измерений / Мельник Е.Ф. // Автоматизация судовых технических средств: науч. –техн. сб. – 2002. – Вып. 7.- Одесса: ОГМА. – С. 96 – 100.

4. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. – М.: Советское радио, 1976. 192 с.

5. В.В. Степаненко. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов/ В.В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГМА. – Вып. 2 – Одесса: Латстар, 2000. – С. 201 – 209.

6. Астайкин Д.В. Оценка точности позиции судна при наличии случайных погрешностей навигационных измерений / Астайкин Д.В. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. № 4. – С. 147-152.

7. Астайкин Д.В. Аналитическое выражение функции распределения случайных величин смешанных законов/ Астайкин Д.В. // Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 6 – 11.

8. Крамер Г. Математические методы статистики / Крамер Г. – М.: Мир. – 1975.-648 с.

9. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т.2. / Феллер В. – М.: Мир, 1984. – 752 с.

Astaikin D.V.

PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»

Severin V.V.

PhD student,
National University «Odessa Maritime Academy»

Kazak Y.V.

PhD student,
National University «Odessa Maritime Academy»

Астайкин Дмитрий Вадимович

кандидат технических наук, доцент кафедры Судовождения,
Национальный университет "Одесская морская академия"

Северин Виталий Витальевич

аспирант,
Национальный университет "Одесская морская академия"

Казак Юрий Владиславович

аспирант,
Национальный университет "Одесская морская академия"

COMPARISON OF METHODS OF ESTIMATION OF SAFETY OF SAILING IN THE STRAITENED DISTRICTS СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ РАЙОНАХ

Summary: Two methods of estimation of safety of navigator at sailing of ship in the straitened district are considered, in which the index of safety of navigator chooses probability of the safe wiring of ship by the set route in the straitened district of sailing. The first method uses the model of description of process of navigation and estimation of exactness by a trajectory error, and in the second method exactness is characterized by the random error term of lateral deviation from the programmatic trajectory of motion. It is shown by the resulted examples that estimations of probability of the safe wiring of ship by the same route by both methods coincide practically.

Key words: safety of navigation, trajectory error, probability of the safe wiring, model of estimation of safety of navigation.

Аннотация: Рассмотрены два метода оценки безопасности судовождения при плавании судна в стесненном районе, в которых показателем безопасности судовождения выбрана вероятность безопасной проводки судна заданным маршрутом в стесненном районе плавания. Первый способ использует двумерную модель описания процесса судовождения и оценку точности с помощью траекторной погрешности, а во втором способе точность характеризуется случайной погрешностью бокового отклонения от программной траектории движения. С помощью приведенных примеров показано, что оценки вероятности безопасной проводки судна одним и тем же маршрутом с помощью обоих методов практически совпадают.

Ключевые слова: безопасность судовождения, траекторная погрешность, вероятность безопасной проводки, модели оценки безопасности судовождения.

Постановка проблемы.

В стесненных районах плавания судну надлежит удерживаться на заблаговременно выбранной программной траектории движения, которая обеспечивает его безопасное прохождение имеющихся навигационных опасностей. При этом непрерывно осуществляется контроль места судна относительно программной траектории и периодически корректируется его курс для минимизации отклонений обсервованного места от программного пути. Влияние неизбежных погрешностей обсервации и счисления, а также возмущающих факторов, ведет к тому, что истинное положение судна не совпадает с программной траекторией, вследствие чего и возникает случайная позиционная векториальная погрешность. Наличие такой погрешности может привести к посадке судна на мель или к другой навигационной аварии. Поэтому векториальная погрешность и стесненность маршрута судна в

ограниченном районе являются доминирующими факторами, определяющими вероятность безопасного плавания судна в стесненных водах. Количественная оценка влияния указанных факторов на безопасность судовождения позволит выявить резерв возможностей снижения навигационной аварийности.

Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] представлено интеллектуальную систему прогнозирования движения судна, имитирующую обучение искусственной нейронной сети, которая выполняет функцию блока управления, который наблюдает входные сигналы и вычисляет значения требуемых параметров маневрировании судна в стесненных водах. Непрерывный контроль навигационных параметров судна и прогноз их значений после определенного интервала времени яв-

ляется основной задачей рассматриваемой системы. Результаты прогнозирования могут также использоваться для предупреждения судоводителя о возникающей угрозе.

В настоящее время, как отмечается в работе [2], возникает необходимость применения усовершенствованных компьютерных систем, в которых используются упрощенная модель прогноза движения судна. Указанное обстоятельство ограничивает их использование в части немедленного отображения движения судна при изменении положения руля и оборотов двигателя. Для обеспечения требуемой точности реализации криволинейной траектории движения судна необходима разработка более усовершенствованных прогнозных моделей движения судна, значительно снижающих величину траекторной погрешности.

Вопрос разработки информационной системы имитационного моделирования движения судов со сложными динамическими моделями, которые учитывают угол кладки пера руля и обороты двигателя, освещается в работе [3]. Указывается, что данная система позволит обеспечить новый тип планирования маневров судна и контроль реализации заданного маневра. Такая система решает прямую задачу отображения прогнозируемой траектории по заданным параметрам маневра, хотя актуальной является обратная задача определения параметров предстоящего маневра по заданной программной траектории движения с учетом динамической модели прогноза движения судна.

Вопросам идентификации судовых моделей маневрирования посвящена работа [4]. В данной работе на основе анализа гидродинамики судна сформирована нелинейная модель маневрирования судна. Для оценки параметров модели используется теория идентификации систем, причем расчет параметров модели производится алгоритмом, основанным на расширенной теории фильтра Калмана. С помощью этого алгоритма устраняются погрешности, внесенные во время процесса измерения.

Влияние позиционной погрешности судна на навигационную безопасность впервые рассматривалось в работе [5], причем учитывалась только позиционная векторная погрешность определения места судна. Дальнейшее развитие этого вопроса получило в работах [6, 7], причем в работе [6] рассмотрены разные подходы к оценке вероятности безаварийного плавания судна по заданному стесненному маршруту и показана их эквивалентность, а в работе [7] обоснован критерий навигационной безопасности.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Анализ приведенных публикаций показывает, что в настоящее время сформировалось два подхода к оценке безопасности плавания судна по стесненному маршруту, однако отсутствует сравнительный анализ эффективности обоих моделей, что необходимо сделать для дальнейшего принятия решения по выбору более предпочтительного варианта. Более того, разработка корректной модели

оценки безопасности судовождения является одним из аспектов, способствующих повышению безопасности судовождения, так как позволит выявить дополнительные возможности снижения навигационной аварийности.

Цель статьи.

Целью настоящей статьи является анализ двух моделей оценки безопасности плавания судна стесненным маршрутом и сравнение результатов расчета показателя безопасности плавания, полученных обоими моделями, при проводке судна одними и теми же маршрутами.

Изложение основного материала.

Аварии судов в процессе судовождения возникают по причине посадок на мель и навалов из-за позиционных погрешностей, а также от столкновений судов. В общем случае аварийность судов целесообразно характеризовать потоком аварийных событий по каждой из указанных причин. Следует отметить, что упомянутые три потока аварийных событий являются независимыми и в первом приближении их можно рассматривать, как простейшие (стационарные пуассоновские) потоки. Поэтому и их суммарный поток также можно считать простейшим. Так как простейший поток обладает свойствами стационарности, ординарности и является потоком без последствия, то число аварийных событий суммарного потока, возникающих в течение интервала времени τ , распределено по закону Пуассона с математическим ожиданием [8]:

$$a_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} \tau,$$

где λ_{Σ} - плотность суммарного потока, которая равна среднему числу аварийных событий, возникающих в единицу времени.

Основной характеристикой безопасности судовождения является вероятность безаварийного плавания $P_b(\tau)$, которая является вероятностью отсутствия аварийного события в течение интервала времени τ . В общем случае вероятность того, что за время τ произойдет ровно n аварийных событий при их распределении по закону Пуассона, равна [8]:

$$P_n(\tau) = \frac{(\lambda_{\Sigma} \tau)^n}{n!} e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}.$$

Выражение вероятности безаварийного плавания $P_b(\tau)$ получим, принимая в предыдущем выражении значение $n = 0$. Следовательно:

$$P_b(\tau) = P_0(\tau) = \frac{(\lambda_{\Sigma} \tau)^0}{0!} e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}, \text{ или}$$

$$P_b(\tau) = e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}.$$

Промежуток времени T между двумя последовательными произвольными аварийными событиями в простейшем суммарном потоке, т.е. время безаварийного плавания распределено по экспоненциальному закону с плотностью распределения:

$$f(t) = \lambda_{\Sigma} e^{-\lambda_{\Sigma} t}.$$

Математическое ожидание времени безаварийного плавания $M(T)$ и его дисперсия $D(T)$ определяются выражениями [8]:

$$M(T) = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}, \quad D(T) = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}^2}.$$

Интенсивность суммарного потока λ_{Σ} выражаются формулой:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3,$$

где λ_1 - интенсивность аварийных событий по причине посадок на мель и навалы из-за позиционных погрешностей;

λ_2 - интенсивность аварийных событий по причине столкновений судов;

λ_3 - интенсивность аварийных событий по причине посадок на мель и навалы из-за погрешностей управления.

Интенсивности λ_1 , λ_2 и λ_3 могут быть определены по статистическим данным или оценены с помощью математических моделей. Для выявления факторов, влияющих на вероятность безаварийного плавания, и разработки мер по обеспечению необходимого уровня безопасности судовождения необходимо создать математические модели для оценки интенсивностей λ_1 , λ_2 и λ_3 .

В настоящей статье рассмотрим математическую модель для оценки интенсивности λ_1 . В работе [6] рассмотрена процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна P_b в стесненных условиях по выбранному маршруту, которая зависит от основных существенных факторов: характеристики стесненности допустимой области плавания; характеристик точности, обеспечиваемой системой навигационного оборудования, выражающихся в параметрах функции двумерного распределения векториальной погрешности; выбора программной траектории в допустимой области плавания, что влияет на соотношение нормальных расстояний до границы безопасной области и длины программной траектории.

Таким образом, каждая проводка судна по маршруту в стесненных условиях сопряжена с вероятностью возникновения аварии $1 - P_b$. Поэтому число a_1 возможных посадок судов на мель по причине влияния позиционных погрешностей за интервал времени T зависит от частоты попадания судна в стесненные воды q :

$$a_1 = \lambda_1 T = (1 - P_{bm}) q T,$$

где P_{bm} - осредненное значение вероятности безаварийного плавания судна P_b в стесненных условиях.

Из последнего выражения следует:

$$\lambda_1 = (1 - P_{bm}) q,$$

причем частоту q в первом приближении можно оценить отношением среднего времени пребывания судов в стесненных водах T_m к среднему эксплуатационному периоду T_e в течение года. В среднем морские суда в стесненных водах находятся около 20% эксплуатационного времени.

Следовательно, окончательно:

$$\lambda_1 = 0,2(1 - P_{bm}).$$

Очевидно, снижение интенсивности λ_1 возможно уменьшением осредненной вероятности P_{bm} путем выбора требуемых значений существенных параметров, от которых зависит P_{bm} .

Рассмотрим математическую модель оценки вероятности безаварийного плавания судна P_b по выбранному маршруту с его заданными характеристиками S_n и двумерной плотностью распределения вероятностей позиционной траекторной погрешности, причем в качестве такой вероятности P_b целесообразно использовать априорную вероятность безаварийной проводки судна в заданном районе по выбранному маршруту. В предлагаемой модели судно можно рассматривать как точку и считать его движение безынерционным. В условиях внешних возмущений применяется способ корректирующего вождения по обсервациям [9], т. е. в дискретные моменты времени t (причем t принимает целочисленные 0, 1 ...) определяются обсервованные координаты судна. Интервал между обсервациями Δt можно считать постоянным и в течение этого интервала судно следует с неизменными параметрами движения K и V . Возникающая траекторная случайная погрешность $x(t)$ характеризуется двумерной плотностью распределения $f[x(t)]$. В работе [6] показано, что вероятность безаварийного плавания P_b принимает следующий вид:

$$P_b = \exp\left\{\sum_{i=0}^k \ln \int_{D_{to+i}} f[x(t_o + i)] dx(t_o + i)\right\}, \quad (1)$$

где k - целая часть отношения $s/(V_m \Delta t)$;

s - длина программной траектории;

V_m - средняя скорость движения судна по программной траектории.

D_{to+i} - фрагмент безопасной области плавания, соответствующий $t_o + i$ -му моменту времени дискретного процесса.

Предлагаемый способ оценки вероятности безаварийного плавания судна P_b требует решения

задачи с использованием двумерной плотности распределения вероятностей векториальной погрешности и многократным ее интегрированием в пределах безопасной области D , граница которой имеет сложную форму. Поэтому практическая реализация данного способа оценки вероятности P_b является сложной и трудоемкой. Поэтому в работе [6] предложен эквивалентный способ расчета априорной вероятности P_b , формулируя задачу в рамках одномерного пространства с использованием одномерной плотности погрешности бокового отклонения судна. Полагаем, что допустимая область безопасного плавания D задана аналитическим описанием ее правой $G_{st}(X, Y)$ и левой $G_{pt}(X, Y)$ границ. В допустимой безопасной области D также задана программная траектория движения судна $Tr_{pr}(X, Y)$, причем каждая точка программной траектории характеризуется парой нормальных расстояний от программной траектории движения до правой и левой границ безопасной области. Эти расстояния обозначены соответственно

$L_{st}(X, Y)$ и $L_{pt}(X, Y)$, учитывая, что $(X, Y) \in Tr_{pr}(X, Y)$. Движение судна по

программной траектории сопровождается его неизбежными боковыми отклонениями, которые при воздействии возмущаемых факторов, носят случайный характер. Возникновение случайных боковых отклонений обусловлено стохастической природой погрешностей обсервации и счисления судна и его рысканиями под действием факторов, учет которых принципиально невозможен. В связи с этим боковые отклонения судна при реализации

программной траектории движения $Tr_{pr}(X, Y)$ будем рассматривать как сумму двух случайных величин: позиционных погрешностей при определении места судна и боковых перемещений, возникающих при рыскании движущегося судна. Обозначим боковое отклонение через $\Delta_b = \Delta_p + \Delta_r$, где Δ_p и Δ_r - соответственно погрешности в положении судна относительно программной траектории, вызванные позиционными погрешностями и рысканиями судна.

Для того, чтобы судно безопасно прошло заданным стесненным районом необходимо, чтобы его траектория движения принадлежала допустимой безопасной области плавания D , - это означает, что все боковые отклонения судна от программной траектории движения $Tr_{pr}(X, Y)$ на всем ее протяжении не должны превосходить нормальных расстояний $L_{st}(X, Y)$ и $L_{pt}(X, Y)$ до границ допустимой области. Условимся в дальнейшем нормальные расстояния $L_{st}(X, Y)$ до правой границы безопасной области плавания D считать положительными, а до левой границы $L_{pt}(X, Y)$ - отрицательными. Очевидно, вероятность ρ_i того, что отдельно взятое i -е боковое отклонение Δ_{bi} не превосходит нормальные расстояния $L_{sti}(X, Y)$ и $L_{pti}(X, Y)$ до правой и левой границ допустимой области плавания определяется следующим аналитическим выражением:

$$\rho_i = P\{L_{pti} \leq \Delta_{bi} \leq L_{sti}\} = \int_{-L_{pti}}^{L_{sti}} f(x) dx, \text{ или}$$

$$\rho_i = P\{L_{pti} \leq \Delta_{bi} \leq L_{sti}\} = F(L_{sti}) - F(-L_{pti}),$$

где $f(x)$ - плотность распределения бокового отклонения судна от программной траектории движения. Для безаварийной проводки судна по программной траектории необходимо, как уже отмечалось, чтобы все точки истинной траектории движения судна принадлежали безопасной области плавания D . Если рассматривать большое число предполагаемых проводок судов, то вероятности

$$P = \prod_i \rho_i, \text{ или } P = \prod_i [F(L_{sti}) - F(-L_{pti})] = \prod_i [F(L_{sti}) + F(L_{pti})].$$

Запишем выражение для вероятности P в экспоненциальном виде:

$$P = \exp\{\ln \prod_i [F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\}, \text{ или}$$

ρ_i соседних точек программной траектории можно рассматривать как вероятности независимых событий, а общую вероятность P безопасной проводки судна по безопасной области D получим как произведение вероятностей ρ_i по всем точкам программной траектории:

$$P = \exp\left\{\sum_{i=1}^s \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]\right\}, \quad (2)$$

где s - длина программной траектории.

В интегральном виде полученное выражение имеет вид:

$$P = \exp \left\{ \int_0^s \ln[F(L_{st}) + F(L_{pt})] ds \right\}.$$

Учитывая, что ширина допустимой области в стесненных районах плавания намного меньше, чем длина программной траектории s , имеет смысл преобразовать выражение для вероятности P , исходя из возможных значений ширины b допустимой безопасной области плавания D и частот их повторений на протяжении всей длины программной траектории. Для этого воспользуемся выражением (2), в котором выражение

$\sum_{i=1}^s \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]$ можно представить в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^s \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})] = \sum_{i=1}^{\Delta b} m_i \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})]$$

где $\Delta b = b_{\max} - b_{\min}$ - разность между максимальной $b_{\max}$ и минимальной $b_{\min}$ шириной допустимой безопасной области;
 m_i - количество пар нормальных расстояний L_{sti} и L_{pti} .

Умножим и разделим правую часть последнего выражения на общее число s составляющих суммы и получим выражение для вероятности P :

$$P = \exp \left\{ s \sum_{i=1}^{\Delta b} \frac{m_i}{s} \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})] \right\}.$$

Отношение m_i/s является частотой повторения значения ширины допустимой области равной b_i . Так как значение ширины b допустимой области изменяется от минимального значения $b_{\min}$ до максимального $b_{\max}$, то распределение частот m_i/s по значениям ширины b области D является характеристикой допустимой области D , позволяющей формализовать ее степень стесненности. Указанную характеристику целесообразно назвать распределением частот по значениям ширины допустимой области и формально представлять в виде плотности распределения (аналогично плотности распределения вероятностей), которую обозначим $\varphi(b)$. При этом выражение для вероятности P принимает следующий вид:

$$P = \exp \left\{ s \sum_{i=1}^{\Delta b} \varphi(b_i) \ln[F(L_{sti}) + F(L_{pti})] \right\}.$$

Переходя к интегральной характеристике, последнее выражение преобразуется следующим образом:

$$P = \exp \left\{ s \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \varphi(b) \ln[F(L_{st}) + F(L_{pt})] db \right\}. \quad (3)$$

Полученное выражение позволяет сделать априорную оценку вероятности в зависимости от основных существенных факторов: характеристики стесненности $\varphi(b)$ допустимой области плавания D ; характеристик точности, обеспечиваемой системой навигационного оборудования, выражающихся в параметрах функции распределения $F(b)$; выбора программной траектории $Tr_{pr}(X, Y)$ в допустимой области плавания, что влияет на соотношение нормальных расстояний L_{st} и $b - L_{st}$ и длины программной траектории s .

Расположение программной траектории $Tr_{pr}(X, Y)$ в допустимой области плавания D целесообразно характеризовать смещенностью, причем характеристика смещенности учитывает положение программной траектории движения судна относительно геометрической середины области. Другими словами, если для всех точек программной траектории правое L_{sti} и левое L_{pti} нормальные расстояния до границ допустимой области равны между собой, то характеристика смещенности, которую обозначим через Sm , очевидно будет равна нулю.

Подводя итоги вышеизложенному, отметим, что получены два способа оценки вероятности безаварийного плавания судна по выбранному маршруту: применением математической модели двумерной плотностью распределения векториальной позиционной погрешности и с помощью модели с одномерной плотностью распределения бокового отклонения судна от программной траектории движения. Для каждой из моделей была разработана имитационная программа, с помощью которой для одного и того же маршрута плавания, включающего границы безопасной области плавания и программную траекторию движения судна, производился расчет вероятности безопасной проводки судна заданным маршрутом по обеим моделям и полученные результаты сравнивались. Обозначим вероятность, полученную по модели одномерной плотности (3), через P_1 , а по модели двумерной плотности (1) – через P_2 . С помощью имитационной компьютерной программы вначале формировался стесненный маршрут плавания судна, для чего вводились массивы границ области безопасного плавания и программная траектория плавания судна. Для выбранного маршрута выбиралось значение с.к.о. и принималось, что погрешности под-

чиняются нормальному закону распределения. Затем производился расчет оценки вероятности P_2 безопасной проводки судна. С помощью разработанной компьютерной программы были определены одномерные характеристики выбранного стесненного маршрута, к которым относятся его стесненность и смещенность программной траектории, позволяющие произвести оценку вероятности безопасного плавания P_1 по одномерной модели.

Оценка вероятности безопасной проводки судна производилась по пяти маршрутам. В качестве примера приведем подробный анализ трех маршрутов. Вначале формировался маршрут 1, для которого выбиралось значение с.к.о. равное 5. Затем производился расчет оценки вероятности P_2 безопасной проводки судна стесненным маршрутом 1, что показано на рис. 1, при этом получено значение вероятности $P_2 = 0,484$.

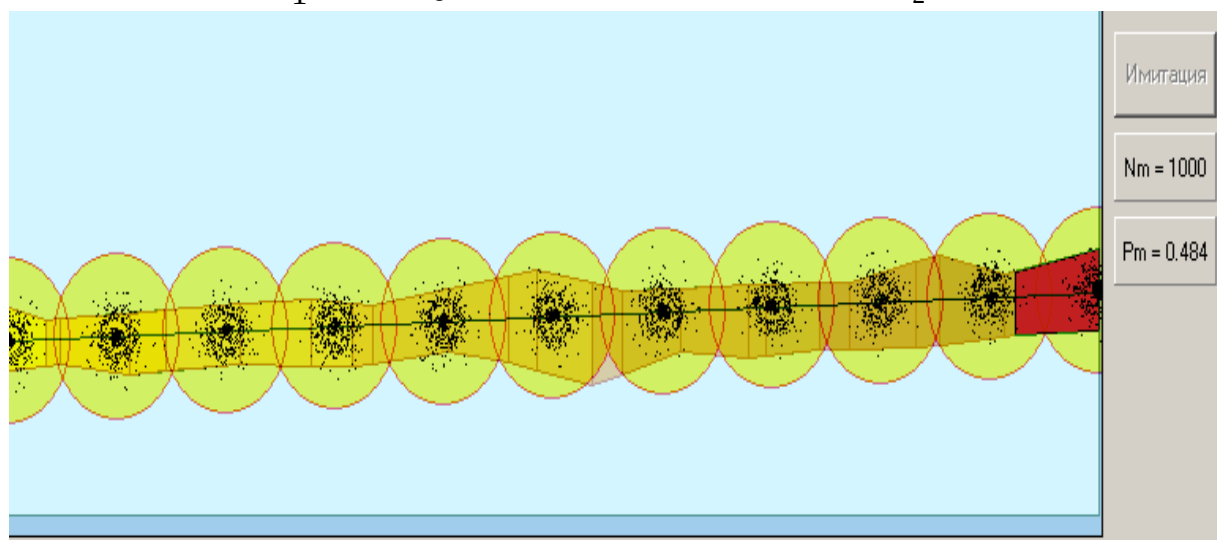


Рис. 1. Оценка вероятности P_2 проводки маршрутом 1

С помощью разработанной компьютерной программы были определены одномерные характеристики маршрута 1, которые позволили произвести точную оценку вероятности безопасного плава-

ния P_1 по одномерной модели, причем, как следует из рис. 2, $P_1 = 0,487$. Значения вероятностей P_1 и P_2 проводки судна маршрутом 1 очень близки, - они практически равны.

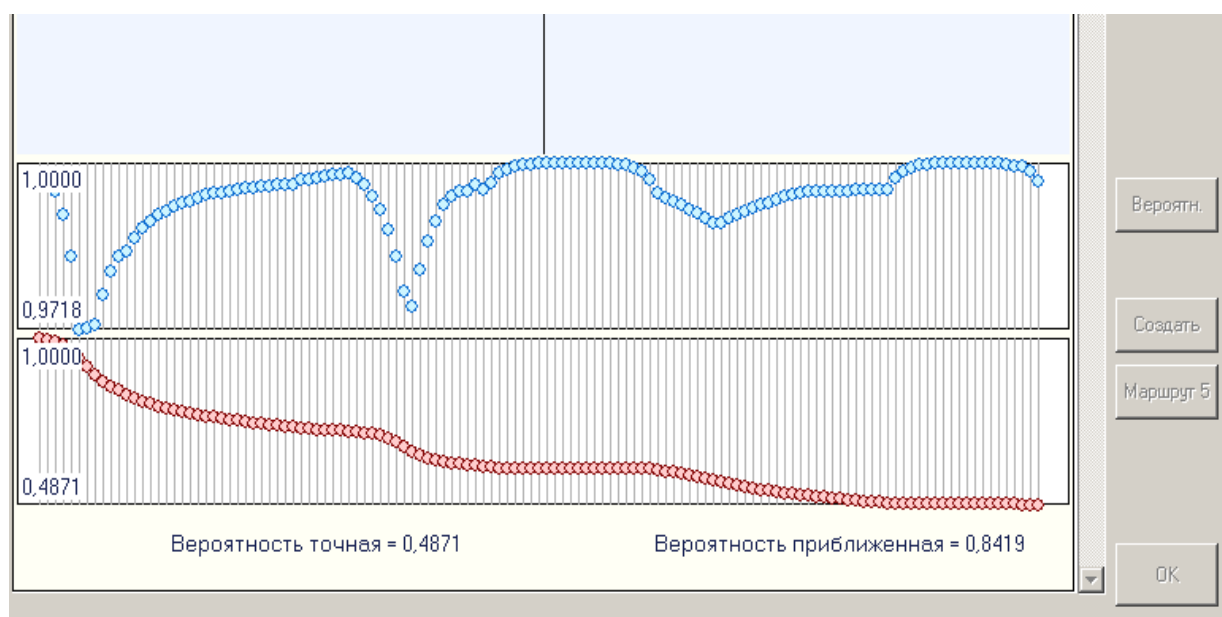


Рис. 2. Оценка вероятности P_1 проводки судна маршрутом 1

Также приведем подробную информацию по безопасности проводки судна маршрутом 3, особенностью которого является меньшая степень

стесненности относительно прежних маршрутов. Для расчета вероятностей безопасной проводки судна по данному маршруту принималась точность

$\sigma=4,3$. Вероятность P_2 , оценивалась моделью с двумерной плотностью векториальной погрешности и составила 0,982 (рис. 3). Альтернативная

оценка безопасности плавания маршрутом 3 с помощью вероятности P_1 моделью одномерной плотности распределения погрешности бокового отклонения,

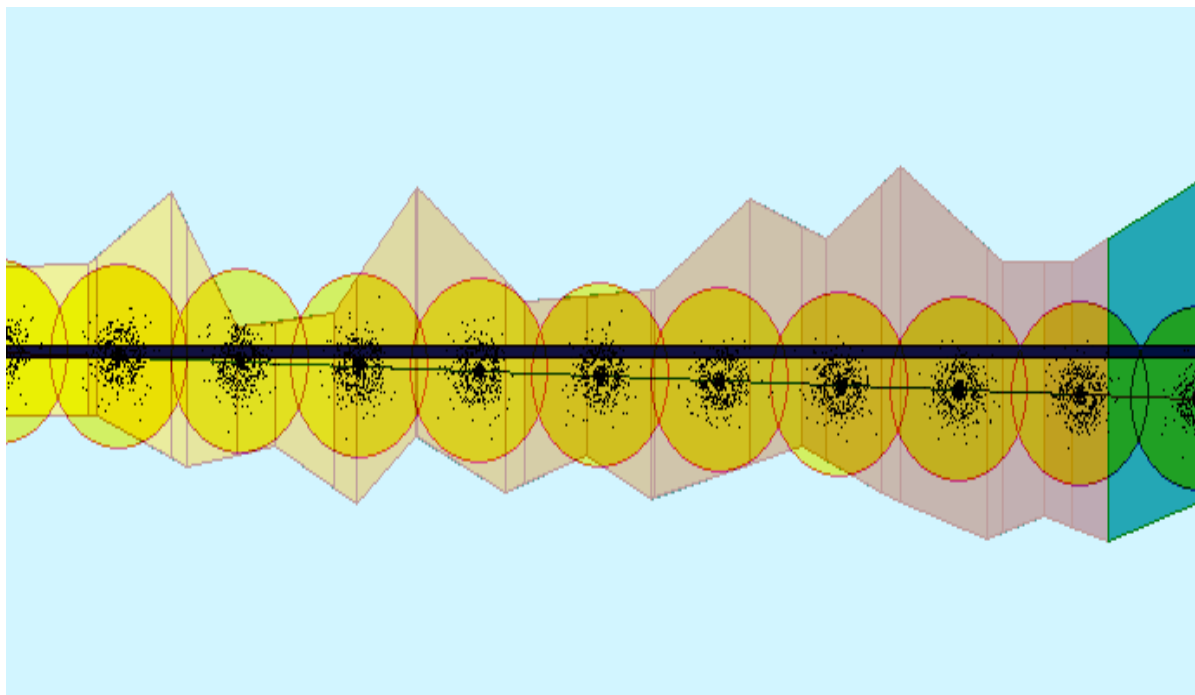


Рис. 3. Оценка вероятности P_2 при плавании судна маршрутом 3

как показано на рис. 4, составила $P_1 = 0,9818$, которая практически совпадает с вероятностью P_2 для этого случая.

В заключение рассмотрим проводку судна маршрутом 5. При плавании судна этим маршрутом выбрана выше точность контроля места судна, с. к. о.

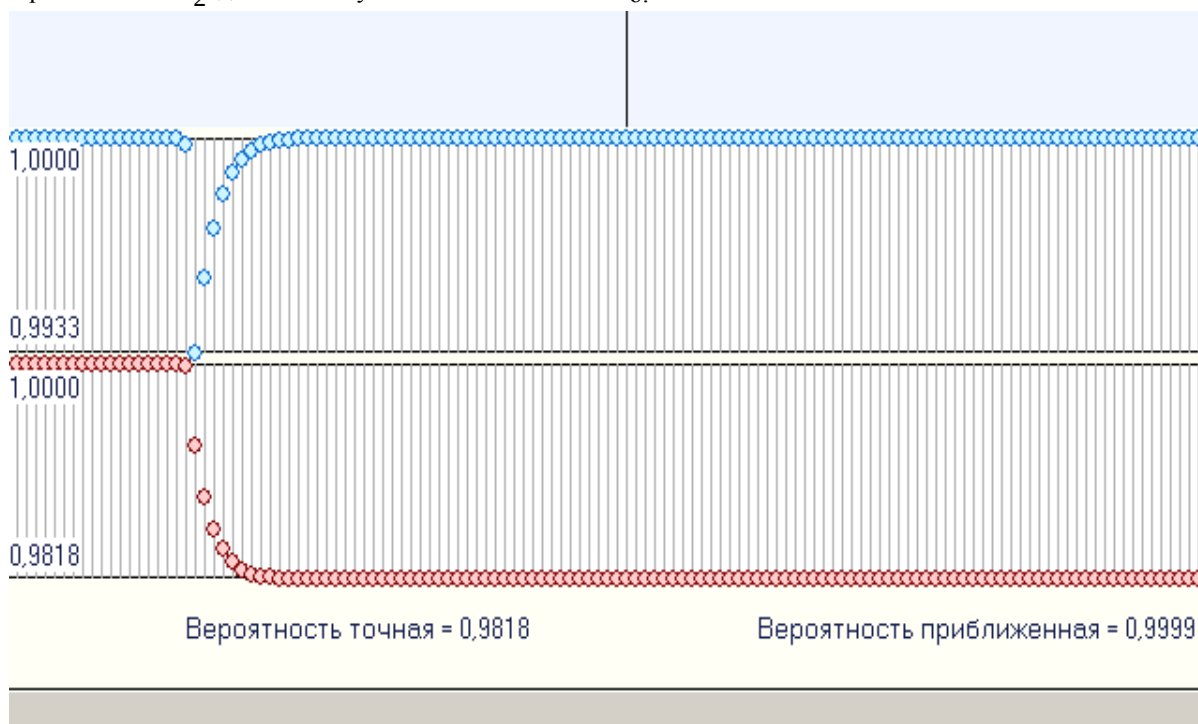


Рис. 4. Оценка вероятности P_1 безопасной проводки судна маршрутом 3

которой $\sigma=4,6$. Как показано на рис. 5, оценка вероятности безопасного плавания моделью дву-

мерной плотности составляет $P_2 = 0,817$ с учетом предположения о нормальном распределении векториальной погрешности.

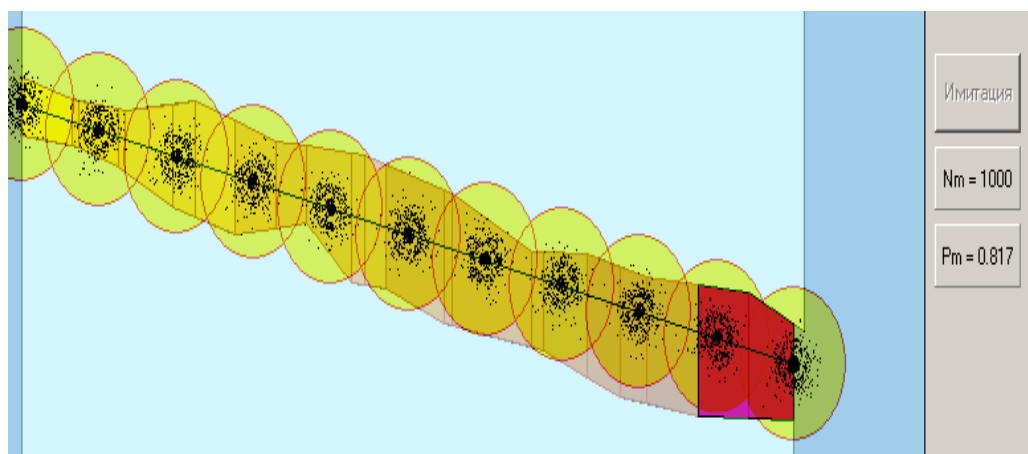


Рис. 5. Определение вероятности P_2 при плавании судна маршрутом 5

Также была определена вероятность с помощью модели одномерной плотности распределения

погрешности бокового отклонения. Расчет вероятности P_1 показал, что она равна 0,8149 (рис. 6).

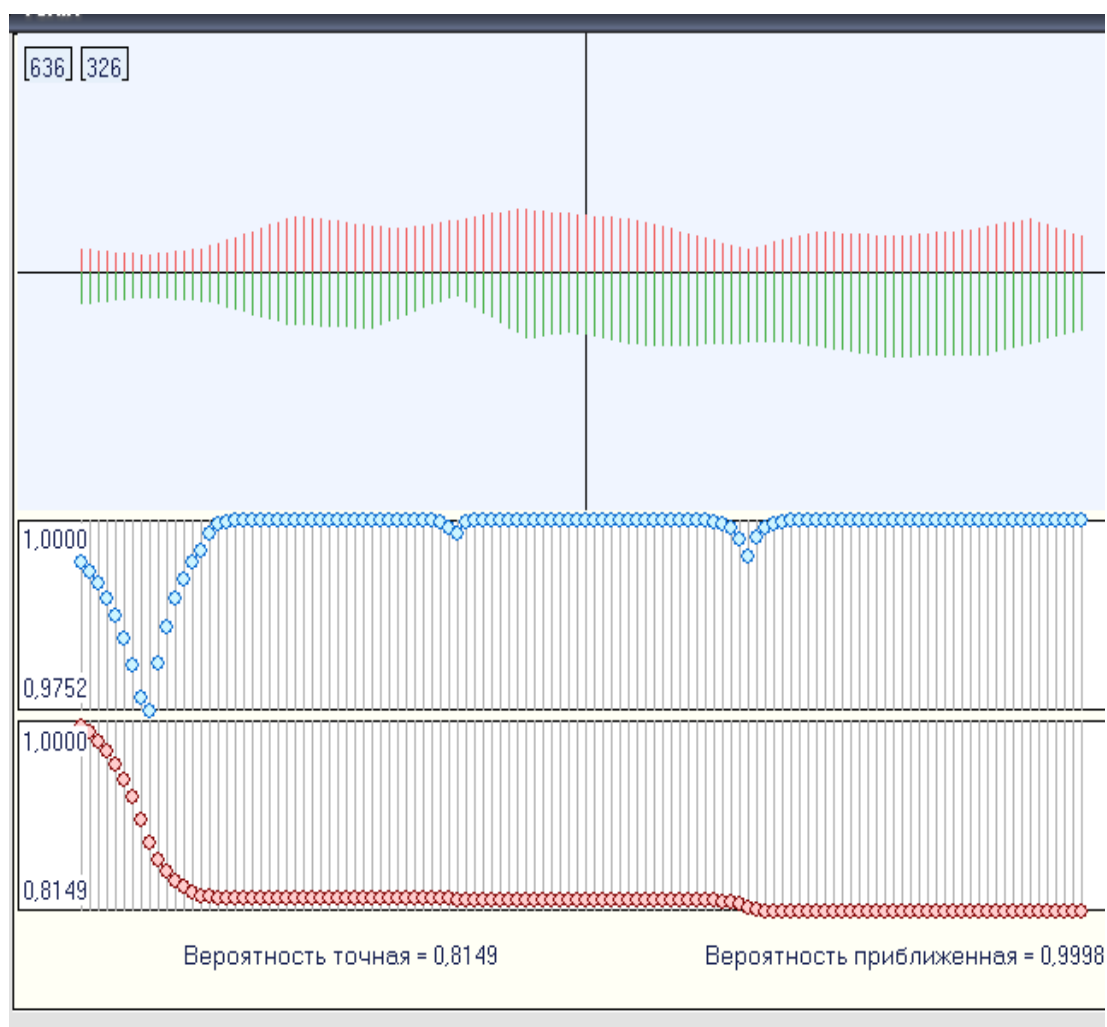


Рис. 6. Вероятность P_1 безопасного плавания судна маршрутом 5

Обобщим полученные результаты оценки вероятности безопасной проводки судна по всем пяти

маршрутам с помощью обеих моделей и представим их в табл. 1.

Таблица 1. Результаты оценки вероятности безопасной проводки судна

Маршрут	1	2	3	4	5
P_1	0,487	0,543	0,9818	0,9179	0,8149
P_2	0,484	0,546	0,982	0,916	0,817
δP (%)	0,6	0,5	0,02	0,2	0,3

Выводы и предложения.

1. Получен способ оценки вероятности безаварийного плавания судна по выбранному маршруту применением математической модели двумерной плотностью распределения векториальной позиционной погрешности, учитывающий характеристики заданного маршрута и закон распределения векториальной погрешности.

2. Предложен альтернативный способ оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе с помощью модели с одномерной плотностью распределения бокового отклонения судна от программной траектории движения, который позволяет сделать априорную оценку вероятности в зависимости от характеристики стесненности допустимой области плавания, показателей точности, выбора программной траектории в допустимой области плавания, что влияет на ее смещенность, и длины программной траектории.

3. Средняя относительная разница δP между оценками вероятности проводки судна по обоим моделям составляет 0,3 %, что подтверждает правомерность оценки вероятности проводки судна по стесненному маршруту моделью с применением одномерной плотности распределения погрешности бокового отклонения.

Список литературы:

1. M. Ljacki. Intelligent Prediction of Ship Manoeuvring / M. Ljacki // International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 3, page 511-516, 2016.

2. K. Benedict. Manoeuvring Simulation on the Bridge for Predicting Motion of Real Ships and as

Training Tool in Ship Handling Simulators/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Baldauf // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, page 25-30, 2009.

3. K. Benedict. Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring – a New Method for Advanced Ship Handling/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub, M. Baldauf, S. Klaes // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 8, № 1, page 131-141, 2014.

4. C.J. Shi. Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended Kalman Filters/ C.J. Shi, D. Zhao, J. Peng, C. Shen // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, page 105-110, 2009.

5. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. – 230 с.

6. 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, - 2015. - Вып. 25. – С. 47 - 55.

7. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения/ Мельник Е.Ф. // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65 - 73.

8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Вентцель Е.С. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 564 с.

9. Вагущенко Л.Л. Обработка навигационных данных на ЭВМ / Л.Л. Вагущенко – М.: Транспорт, 1985. – 144 с.

Burmaka I.A.PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»**Kulakov M.A.**PhD student,
National University «Odessa Maritime Academy»**Pasechnyuk S.S.**PhD student,
National University «Odessa Maritime Academy»**Бурмака Игорь Алексеевич**кандидат технических наук, доцент,
Национальный университет "Одесская морская академия"**Кулаков Максим Александрович**аспирант,
Национальный университет "Одесская морская академия"**Пасечнюк Сергей Сергеевич**аспирант,
Национальный университет "Одесская морская академия"

**APPLICATION OF REGIONS OF IMPERMISSIBLE VALUES OF PARAMETERS FOR
WARNING OF COLLISIONS OF VESSELS AT THEIR EXTERNAL MANAGEMENT
ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ НЕДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ СУДОВ ПРИ ИХ ВНЕШНЕМ УПРАВЛЕНИИ**

Summary: Maintenance and basic dignities of principle of external process control of divergence of vessels is considered. It is shown that forming and use of regions of dangerous values of parameters of motion of the drawn together vessels are the basic methods of external process control of divergence of vessels, which the regions of dangerous courses and their dangerous speeds behave to, which estimation of danger of situation of rapprochement and choice of maneuver of divergence is possible by. The region of dangerous courses of one of ships and speeds of the second ship is also considered.

Key words: safety of navigation, divergence of vessels at dangerous rapprochement, external process control of divergence, region of dangerous parameters of motion.

Аннотация: Рассмотрены содержание и основные достоинства принципа внешнего управления процессом расхождения судов. Показано, что основными методами внешнего управления процессом расхождения судов являются формирование и использование областей опасных значений параметров движения сближающихся судов, к которым относятся области опасных курсов и их опасных скоростей, с помощью которых возможны оценка опасности ситуации сближения и выбор маневра расхождения. Также рассмотрена область опасных курсов одного из судов и скоростей второго судна.

Ключевые слова: безопасность судоходства, расхождение судов при опасном сближении, внешнее управление процессом расхождения, области опасных параметров движения.

Постановка проблемы.

Важнейшей проблемой повышения безопасности судоходства является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. В настоящее время стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов (СУДС) для контроля процесса судоходства и управления движением опасно сближающихся судов. Поэтому разработка способов внешнего управления опасно сближающимися судами для предупреждения их столкновений, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций.

Различные модели формализации взаимодействия судов при опасном сближении и процедуры выбора безопасного маневра для расхождения рассмотрены в работах [1-9]. Описание процесса рас-

хождения в терминах теории оптимальных дискретных процессов приведено в работе [1], а в работе [2] для этой же цели предложено использование метода нелинейной интегральной инвариантности. Применение теории дифференциальных игр для аналитического описания взаимодействия судов при расхождении показано в работах [3, 4]. В монографии [5] освещены особенности задачи расхождения судов в море и приведен метод предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути.

Понятие взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения обобщено в работе [6], в которой также предложена формализация МПСС-72.

Проблема предупреждения столкновений судов подробно и всесторонне обсуждена в работе [7], в которой предложен метод гибких стратегий расхождения, позволяющий произвести выбор оптимальной стратегии расхождения оперирующего

судна с несколькими опасными целями, отвечающей требованиям МППСС-72. При этом учитываются имеющиеся навигационные опасности и инерционно-тормозные характеристики судна. Результаты исследования эффективности парных маневров расхождения приведены в работе [8]. Вопросам предупреждения столкновений судов маневром изменения скорости посвящена работа [9], а в работе [10] рассмотрена процедура расчета момента начала маневра изменения скорости судна с учетом его инерционных характеристик.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В рассмотренных работах выбор стратегии расхождения судна производится в рамках локально-независимого принципа управления процессом расхождения, который предусматривает возникновение взаимодействия между судами при опасном сближении, определяющего их взаимное поведение в процессе расхождения. Взаимодействие судов предлагается формализовать дифференциальной игрой или бинарной координацией, которая реализована в МППСС-72 в части маневрирования судов при опасном сближении. Однако при управлении процессом расхождения судов с помощью СУДС исчезает необходимость во взаимном согласовании маневров судов механизмом взаимодействия, т. е. реализуется принцип полного внешнего управления процессом расхождения, для реализации которого целесообразно применение методов формирования областей недопустимых значений параметров движения пары сближающихся судов. Пионерскими работами в данном направлении являются работы [11, 12], которые посвящены применению области опасных курсов судов для обеспечения безопасного судоходства. Дальнейшие исследования, посвященные разработке областей опасных значений параметров движения судов и их применение для их безопасного расхождения, являются актуальным и перспективным направлением повышения безопасности судоходства, чем и обусловлена тематика данной статьи.

Цель статьи.

Цель статьи заключается в разработке метода формирования областей недопустимых значений

параметров движения пары судов для обеспечения их безопасного расхождения.

Изложение основного материала.

При внешнем управлении процессом расхождения опасно сближающихся судов маневр расхождения может выполняться изменением курсов судов, или их скоростей, а также скоростью одного из судов и курса другого. Рассмотрим все три типа маневров расхождения.

Вначале рассмотрим процедуру выбора совместного маневра расхождения изменением курса пары судов с различным отношением скоростей для предупреждения их столкновения. Допустим, в районе контроля станции управления движением судов находятся два судна, которые опасно сближаются. В начальный момент времени их взаимное положение характеризуется пеленгом α и дистанцией D , а взаимное перемещение - относительным курсом K_{ot} и скоростью V_{ot} . Дистанция кратчайшего сближения $\min D$ судов меньше предельно-допустимой дистанции d_d , т.е.

$\min D < d_d$, и суда сближаются опасно. СУДС необходимо найти курсы судов K_1 и K_2 , при которых их дистанции кратчайшего сближения будут больше предельно- допустимой дистанции d_d .

Аналитически это можно записать следующим образом. Из работы [13] используем выражение для $\min D$ и получим:

$$\min D = \Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) \geq d_d \quad (1)$$

где $\Delta = -1$, при $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$, в противном случае $\Delta = 1$.

Дистанцию кратчайшего сближения $\min D$ можно увеличить изменением относительного курса K_{ot} , т.е. курсов судов K_1 и K_2 . Найдем значения курсов судов, обеспечивающих выполнение условия (1), которое можно представить в следующем виде:

$$\operatorname{tg} K_{ot} \leq \operatorname{tg} [\alpha - \arcsin(\frac{d_d}{\Delta D})]. \quad (2)$$

Обозначая $\gamma = \alpha - \arcsin(\frac{d_d}{\Delta D})$ и учитывая, что согласно [13]:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2},$$

выражение (2) принимает следующий вид:

$$(\sin K_1 \cos \gamma - \cos K_1 \sin \gamma) \leq \rho (\sin K_2 \cos \gamma - \cos K_2 \sin \gamma), \quad (3)$$

где $\rho = V_2/V_1$.

Соответствующее равенство:

$$(\sin K_1 \cos \gamma - \cos K_1 \sin \gamma) = \rho (\sin K_2 \cos \gamma - \cos K_2 \sin \gamma)$$

или

$$\sin(K_1 - \gamma) = \rho [\sin(K_2 - \gamma)],$$

представляет аналитическое выражения границы опасной области S_{Dij} , ограждающей недопустимые сочетания значений пар соответствующих курсов K_1 и K_2 , причем полученное уравнение имеет два корня, один из которых соответствует сближению судов на встречных курсах:

$$K_1 = \gamma + \arcsin\{\rho [\sin(K_2 - \gamma)]\}. \quad (4)$$

Полученное выражение (4) характеризует границу между опасной и допустимой областями курсов K_1 и K_2 .

Если $V_1 > V_2$, т. е. $\rho > 1$, то в выражении (4) должно соблюдаться условие $\rho [\sin(K_2 - \gamma)] \leq 1$, или $\sin(K_2 - \gamma) \leq \rho^{-1}$.

Следовательно, граничные значения курса K_2 равны:

$$K_{21} = \gamma + \arcsin(\rho^{-1});$$

$$K_{22} = \gamma + \pi - \arcsin(\rho^{-1});$$

$$K_{23} = \gamma + \pi + \arcsin(\rho^{-1});$$

$$K_{24} = \gamma + 2\pi - \arcsin(\rho^{-1}),$$

а область значений переменной K_2 определяется выражением:

$$K_2 \in \{S_1 \cup S_2\}.$$

В последнем выражении области S_1 и S_2 возможных значений курса K_2 аналитически определяются следующим образом:

$$S_1 = [\gamma + 2\pi - \arcsin(\rho^{-1}), \gamma + \arcsin(\rho^{-1})],$$

$$S_2 = [\gamma + \pi - \arcsin(\rho^{-1}), \gamma + \pi + \arcsin(\rho^{-1})].$$

Для графического отображения границы между опасной и допустимой областями курсов K_1 и K_2 была разработана имитационная компьютерная программа. Опасная область S_{Dij} курсов K_1 и K_2 , в которой $\min D < d_d$, для ситуации с параметрами $\alpha = 75^\circ$, $D = 3$ мили, $d_d = 1$ мили, $V_1 = 15$ уз, $V_2 = 20$ уз, представлена на рис. 1.

В случае $V_1 = V_2$ следует:

$$K_1 - \gamma = \arcsin\{\rho [\sin(K_2 - \gamma)]\},$$

$$K_1 - \gamma = \pi - \arcsin\{\rho [\sin(K_2 - \gamma)]\}.$$

Условию сближения двух судов на встречных курсах соответствует зависимость:

$$K_1 = \pi + 2\gamma - K_2.$$

На рис. 2 показана опасная область S_{Dij} курсов K_1 и K_2 для той же ситуации, но с $V_1 = 15$ уз, $V_2 = 15$ уз.

Если $V_1 < V_2$, т. е. $\rho < 1$, то зависимость между курсами судов K_1 и K_2 для случая сближения выражается следующим образом:

$$K_1 = \gamma + \arcsin\{\rho \sin(K_2 - \gamma)\}.$$

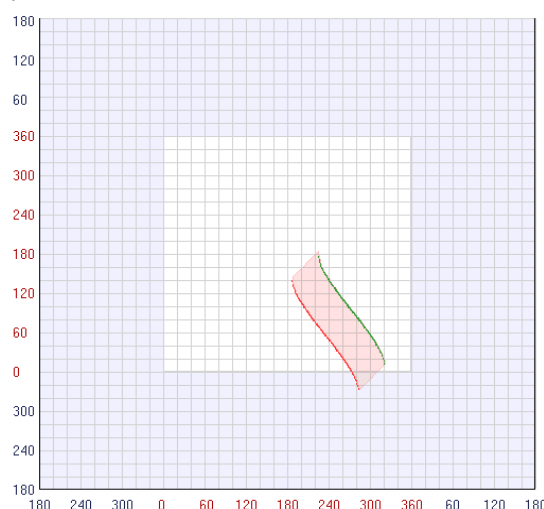


Рис. 1. Опасная область S_{Dij} курсов K_1 и K_2 при $V_1 > V_2$

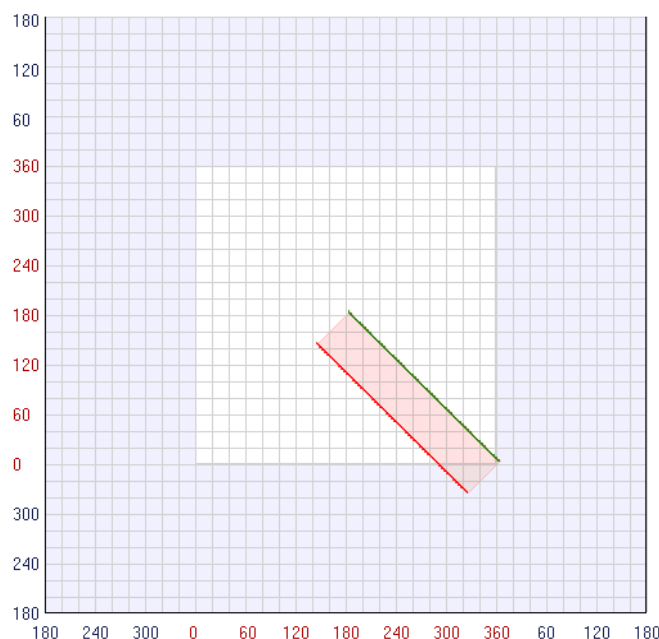


Рис. 2. Опасная область S_{Dij} курсов K_1 и K_2 при $V_1 = V_2$

Так как $\rho < 1$, то курс K_2 принимает все значения от 0 до 2π [12]. На рис. 3. приведена опасная область S_{Dij} курсов K_1 и K_2 для $V_1=20$ уз, $V_2=15$ уз.

Таким образом, располагая опасной областью S_{Dij} курсов двух судов можно выбрать их безопасные курсы уклонения (K_1 , K_2), не принадлежащие к опасной области S_{Dij} и обеспечивающие их расхождение на расстоянии, которое больше величины предельно-допустимой дистанции.

В ситуации, когда пара опасно сближающихся судов не могут изменять свои курсы, например из-за навигационных опасностей, предупреждение столкновения возможно изменением их скоростей. В этом случае при внешнем управлении движением судов, т. е. системой контроля и управления движением судов VTS, множество состояний пары судов целесообразно

В ситуации, когда пара опасно сближающихся судов не могут изменять свои курсы, например из-за навигационных опасностей, предупреждение столкновения возможно изменением их скоростей. В этом случае при внешнем управлении движением судов, т. е. системой контроля и управления движением судов VTS, множество состояний пары судов целесообразно

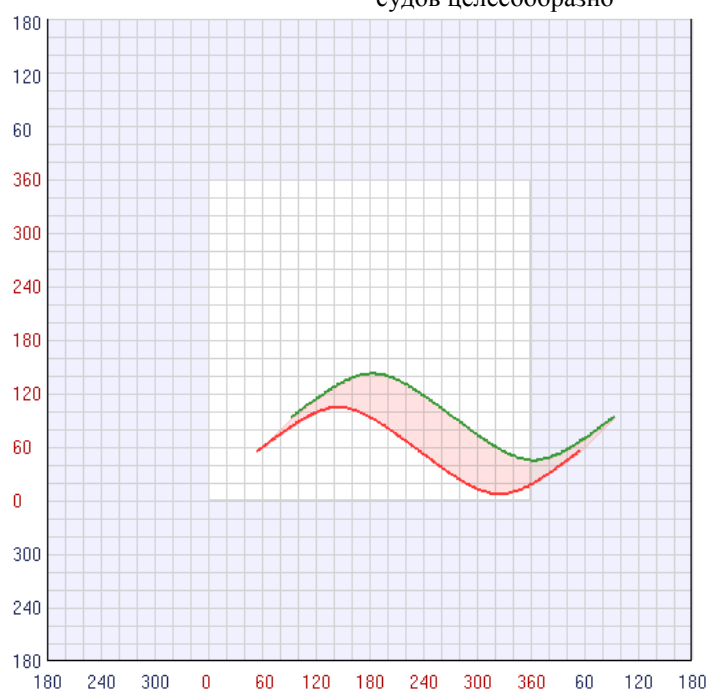


Рис. 3. Опасная область S_{Dij} курсов K_1 и K_2 при $V_1 < V_2$

представить область опасных скоростей, которая аналогична ранее полученной области опасных курсов, только каждой точке (V_1, V_2) парных скоростей судов соответствует дистанция кратчайшего сближения между судами. Границу опасной

области скоростей, каждая точка которой соответствует дистанции кратчайшего сближения $D_{\min}$, равной предельно-допустимой дистанции d_d , можно получить из уравнения (3), учитывая, что $\rho = V_2/V_1$:

$$V_1(\sin K_1 \cos \gamma - \cos K_1 \sin \gamma) = V_2(\sin K_2 \cos \gamma - \cos K_2 \sin \gamma).$$

Последнее выражение позволяет записать уравнение для границы опасной области скоростей, как зависимость скорости одного судна от скорости второго, причем выражение для верхней границы:

$$V_1^* = V_2 \sin(K_2 - \gamma^*) / \sin(K_1 - \gamma^*),$$

где $\gamma^* = \alpha - \arcsin(d_d/D)$.

Нижняя граница выражается аналогично:

$$V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)},$$

где $\gamma_* = \alpha + \arcsin(d_d/D)$.

Очевидно, при постоянных значениях курсов K_1, K_2 и параметров γ^*, γ_* границы опасной

области скоростей являются линейными. На рис. 4 показана область недопустимых скоростей для пары опасно сближающихся судов, курсы которых являются неизменными. В качестве примера выбрана ситуация опасного сближения судов с параметрами: $\alpha = 45^\circ$, $D = 3$ мили, $d_d = 1$ миля, $K_1 = 90^\circ$, $K_2 = 180^\circ$. При начальных скоростях $V_1 = 18$ уз и $V_2 = 21$ уз дистанция кратчайшего сближения $D_{\min} = 0,23$ мили.

V_1

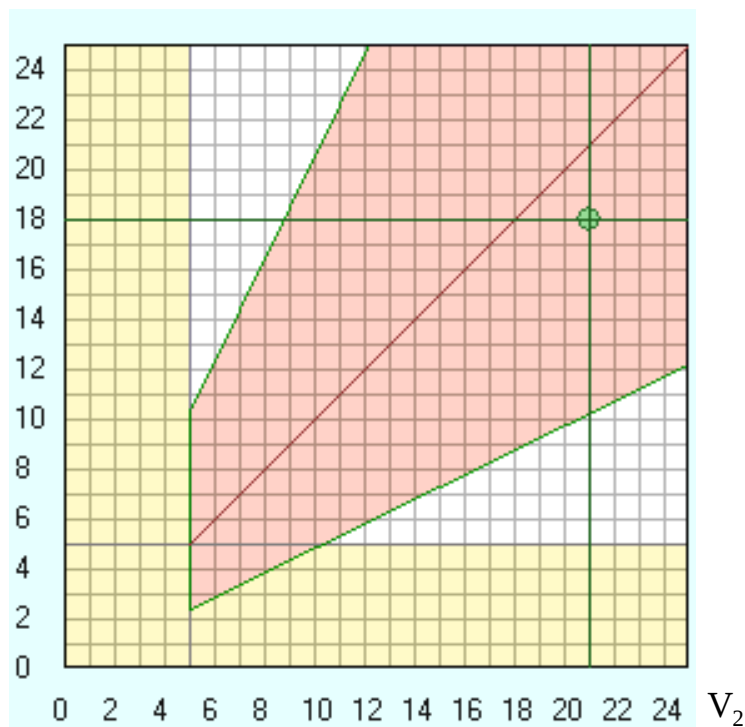


Рис. 4. Область опасных скоростей судов

Однако возможности безопасного расхождения опасно сближающихся судов возрастают при использовании еще одного типа расхождения, при котором одно из судов изменяет курс, сохраняя неизменной скорость, а второе судно на постоянном курсе может снижать свою скорость. В указанном случае необходимо рассмотреть область опасных курсов одного судна и скоростей другого

судна, при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. сближение судов является опасным. Рассмотрим принцип формирования такой области, которую обозначим Ω_{KV} . Очевидно, что границу области Ω_{KV} на плоскости $K_1 \times V_2$ составляют точки (K_1, V_2) , удовлетворяющие

условию $\min D(K_1, V_2) = d_d$. С учетом области Ω_{KV} аналитически формализуется с помощью ранее полученного выражения (3):

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

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

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

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

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

$$V_2^{(1)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1)})}{\mu^{(1)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})],$$

$$V_2^{(2)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(2)})}{\mu^{(2)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]. \quad (5)$$

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

Рассмотрим, какие значения курса K_1 соответствуют граничным значениям 0 и V_{2n} скорости $V_2^{(1,2)}$. Прежде всего, отмечаем, что границы не могут быть определены для ситуации, когда $K_2 = \alpha \pm \arcsin \frac{d_d}{D}$. Очевидно, из уравнений границ (5 2):

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

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

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

в которое подставляем $V_2^{(1,2)} = V_{2n}$:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Введем обозначения:

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

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

С учетом принятых обозначений:

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

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

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

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

Обращаем внимание, что изменение скорости второго судна V_2 на участке $V_2 \in (0, V_{2n})$ для первой границы происходит на участке курсов $K_1 \in (K_{1min}^{(1)}, K_{1max}^{(1)})$, т. е. на интервале $\Delta K_1^{(1)} = K_{1max}^{(1)} - K_{1min}^{(1)}$ или с учетом полученных

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

Аналогично для второй границы: $K_1 \in (K_{1min}^{(2)}, K_{1max}^{(2)})$ и

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

что интервалы $\Delta K_1^{(1)}$ и $\Delta K_1^{(2)}$ меньше $\pi/2$, поэтому на этих интервалах значение скорости V_2 для обеих границ монотонно возрастает. С учетом полученных результатов область Ω_{KV} опасных параметров курса одного судна и скорости второго

судна, заключенная между первой G_{1KV} и второй G_{2KV} границами для случая $V_1 > V_{2n}$ выглядит, как показано на рис. 5. Поэтому, если точка с начальными параметрами движения судов $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ находится между первой G_{1KV} и второй G_{2KV} границами, т. е. $(K_{n1}, V_{2n}) \in \Omega_{KV}$, то имеет место неравенство $\min D(K_{n1}, V_{2n}) < d_d$, и сближение судов является опасным. В этом случае необходимо выбрать параметры уклонения судов K_{1y} и V_{2y} , таким образом, чтобы соответствующая им точка $M_y(K_{1y}, V_{2y})$ находилась на ближайшей к точке $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ границе области Ω_{KV} и расстояние между точками M_n и M_y было минимальным как показано на рис. 5.

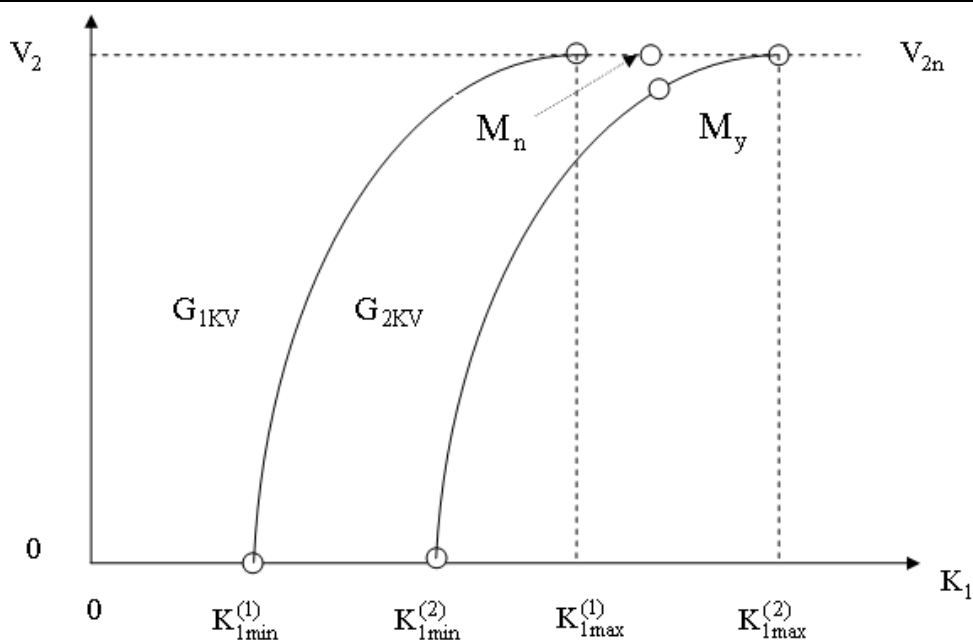


Рис. 5. Область Ω_{KV} опасных параметров судов

Выводы и предложения.

1. Рассмотрена процедура формирования области опасных значений курсов сближающихся судов. Показано, что форма области определяется отношением скоростей судов, поэтому приведено три типа указанной области и получены аналитические выражения для расчета ее границ.

2. Для ситуаций расхождения судов изменением скоростей предложена процедура формирования области опасных значений их скоростей, аналитическое выражение границы которой представлено зависимостью скорости одного судна от скорости второго судна.

3. Получены выражения для формализации границ области недопустимых значений курсов одного судна и скоростей второго судна и предложена процедура ее графического отображения.

4. В качестве предложения можно указать на целесообразность использования рассмотренных процедур в виде компьютерной информационной системы при внешнем управлении процессом расхождения судов.

Список литературы:

- Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.
- Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов/ В.В. Павлов, Н.И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. - № 68. - С. 43-45.
- Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
- Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В. Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978.- №5. – С. 35-40.

5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

6. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015.- 312 с.

7. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

8. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.

9. 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.

10. 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.

11. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

12. 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.

13. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблемы техники: Научно-технический журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.

Burmaka A.I.PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»**Chapchay E.P.**PhD, associate professor,
National University «Odessa Maritime Academy»**Бурмака Алексей Игоревич**кандидат технических наук, доцент кафедры Теории устройства судном,
Национальный университет "Одесская морская академия"**Чапчай Евгений Петрович**кандидат технических наук, доцент кафедры Управления судном,
Национальный университет "Одесская морская академия"

**CHOICE OF DYNAMIC MODEL OF AGILITY OF SHIP FOR CALCULATION OF
PARAMETERS OF MANOEUVRE OF URGENT DIVERGENCE
ВЫБОР ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВОРОТЛИВОСТИ СУДНА ДЛЯ РАСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРА ЭКСТРЕННОГО РАСХОЖДЕНИЯ**

Summary: Strategy of maneuvering of ship for warning of collision with a purpose in the situation of excessive rapprochement is considered. It is shown that the structure of strategy of divergence depends on current relative position of ship and purpose, and also their parameters of motion. For the calculation of parameters of strategy of urgent divergence the mathematical model of rotatory motion of ship, which is described by differential equalization of the second order, is offered, taking into account time of change position of helm.

Key words: warning of collisions, excessive rapprochement, structure of strategy of urgent divergence, model of rotatory motion of ship.

Аннотация: Рассмотрена стратегия маневрирования судна для предупреждения столкновения с целью в ситуации чрезмерного сближения. Показано, что структура стратегии расхождения зависит от текущей относительной позиции судна и цели, а также их параметров движения. Для расчета параметров стратегии экстренного расхождения предложена математическая модель вращательного движения судна, которая описывается дифференциальным уравнением второго порядка, учитывающая время перекаладки пера руля.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, чрезмерное сближение, структура стратегии экстренного расхождения, модель вращательного движения судна.

Постановка проблемы.

Обеспечение безаварийного расхождения судов является одной из наиболее актуальных проблем безопасности судоходства. Риск столкновения судов возрастает в стесненных водах, где повышена интенсивность их движения, ограничено пространство для маневра и нередко возникают ситуации чрезмерного сближения с угрозой столкновения. Развитие таких ситуаций зачастую заканчиваются столкновением судов. Значительная доля вины в этом ложится на недостатки и ограничения Международных правил предупреждения столкновений судов (МППСС-72), которые регламентируют поведение судов в ситуациях опасного сближения. В ситуациях чрезмерного сближения МППСС-72 предписывает обоим судам предпринимать должные меры, обеспечивающие безопасное расхождение. Практически в таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера. Из-за дефицита времени в принципе невозможна взаимная координация действия судов по предупреждению столкновения. Поэтому безопасный исход в таких ситуациях в большей мере определяется везением и интуицией капитана, чем рациональным принятием решения.

Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] представлено подробное исследование проблемы предупреждения столкновения судов и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения. В работе [2] рассмотрены два различных подхода к решению задачи безопасного расхождения: методами локально-независимого и полного внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также приведен анализ их реализации. В настоящее время доминирующим является локально-независимое управление процессом расхождения судов. Поэтому последующие работы посвящены этому подходу. Формализация взаимодействия судов при опасном сближении и компенсация ситуационного возмущения рассмотрены в работе [3]. Работа [4] посвящена учету инерционности судна при выборе стратегии расхождения, а в работе [5] рассмотрена процедура расчета параметров маневра расхождения при наличии навигационных препятствий в районе маневрирования судна. Описание процесса расхождения судов в терминах дифференциальной антагонистической игры предложено в работе [6], а выбор оптимального стандартного маневра расхождения пары судов с учетом МППСС-72 рассмотрен в работе [7].

Работы [8-10] посвящены вопросам выбора маневра экстренного уклонения при чрезмерном

сближении судов. В работе [8] показано, что в ситуациях чрезмерного сближения судна с целью последнее выбирает маневр уклонения и оптимальным курсом уклонения судна является курс, равный обратному пеленгу на опасную цель, при котором значение времени до возможного столкновения при наиболее опасном маневре цели достигает максимума. Учет угловой скорости при выборе оптимального курса уклонения рассмотрен в работе [9], а выбору экстренного маневра уклонения с учетом навигационных опасностей посвящена работа [10].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Из анализа приведенной литературы следует, что при чрезмерном сближении судна с целью рассматривается только уклонение судна, хотя в такой ситуации при непредсказуемом поведении цели следует рассматривать стратегию экстренного расхождения судна до момента времени его выхода на программную траекторию движения, что в первую очередь будет рассмотрено в данной статье. Аналитическое описание ситуации расхождения в условиях чрезмерного сближения и ее корректный анализ позволяют получить необходимые рекомендации, минимизирующие риск столкновения, более того, создаются предпосылки для разработки программного продукта, позволяющего оперативно определить параметры стратегии экстренного расхождения. Корректность расчета моментов времени стратегии во многом зависит от используемой динамической модели вращательного движения судна, а выбор такой модели также составляет предмет исследования в данной статье. При этом необходимо учесть, что в работе [11] вращательное движение судна описывается дифференциальными уравнениями второго и третьего порядков, с помощью которых в работе [12] производится выбор маневра расхождения судна с опасной целью, предполагая, что перекладка пера руля производится мгновенно. Математическая модель поворотливости судна с учетом времени продолжительности перекладки пера руля рассмотрена в работе [13].

Цель статьи.

Целью данной публикации является рассмотрение стратегии расхождения судна с целью при их чрезмерном сближении без ограничения возможных начальных относительных позиций в ситуации отсутствия возможных навигационных опасностей и мешающих судов, причем рассматривается маневрирование судна только изменением курса с момента времени начала уклонения до момента времени его выхода на программную траекторию движения.

Изложение основного материала.

Согласно правилу 17 МППСС-72 в ситуациях чрезмерного сближения оба судна обязаны предпринять меры для безопасного расхождения. В таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера, что обуславливает целесообразность использования минимаксных страте-

гий расхождения. В данной статье при рассмотрении маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения исследуется не только уклонение судна от опасной цели при ее непредсказуемом поведении, а и изменение курса судна до момента выхода на программную траекторию движения.

Как показано в работе [8], в нулевой момент времени (момент обнаружения ситуации чрезмерного сближения) судно, следуя минимаксной стратегии, которая предполагает наиболее неблагоприятный маневр уклонения цели, должно лечь на курс K_o , равный обратному пеленгу на цель, т.е.

$K_o = \alpha + 180$, где α - пеленг на цель. При этом поворот на указанный курс производится в сторону от направления на цель с максимальной угловой скоростью. Данный этап стратегии расхождения, который можно назвать убегающим от цели, предназначен для обеспечения максимального значения скорости изменения дистанции между судном и целью. В данной статье будем полагать, что скорость цели V_c превосходит скорость судна V_o , т.е.

$V_c > V_o$. На данном этапе необходимо компенсировать ситуацию чрезмерного сближения, изменяя позицию судна относительно цели так, чтобы судно оказалось в ситуации, обеспечивающей безопасное сближение и движение судна к программной траектории движения.

Таким образом, после поворота на курс K_o , когда максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max L_{\min}$ не превосходит предельно-допустимую дистанцию L_d , т.е. $\max L_{\min} \leq L_d$, судно следует курсом $K_o = \alpha + 180$, причем этот курс изменяется с изменением пеленга α , так как происходит перемещение цели относительно судна. Так как скорость судна меньше скорости цели $V_c > V_o$, то при изменении курса судна на 360° относительный курс изменяется лишь в некотором секторе, достигая максимального и минимального значений, величина которых определяется выражениями [2]:

$$K_{otmin} = \pi + K_c - \arcsin \rho \text{ и}$$

$$K_{otmax} = \pi + K_c + \arcsin \rho, (1)$$

где K_{otmin} и K_{otmax} - соответственно минимальное и максимальное значения относительного курса;

K_c - курс цели;

$\rho = V_o / V_c$, причем в рассматриваемом случае $\rho < 1$.

Следовательно, при $\rho < 1$ для всех истинных курсов судна из диапазона от 0 до 2π относительный курс будет принимать значения из диапазона [

K_{otmin}, K_{otmax}]. Если же $\rho \geq 1$, то относительный курс изменяется от 0 до 2π при изменении истинного курса судна в тех же пределах.

Очевидно, если скорость судна меньше скорости цели, то максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max L_{min}$ достигается при относительных курсах K_{otmin} или K_{otmax} . Если через K_{extr} обозначить экстремальный относительный курс (K_{otmin} или K_{otmax}), на котором дистанция кратчайшего сближения L_{min} максимальна, то при условии, что цель не изменяет параметры движения, выражение для $\max L_{min}$ имеет следующий вид [2]:

$$\max L_{min} = D \sin(K_{extr} - \alpha), \quad (2)$$

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

Так как с момента времени начала отворота судна от начального программного курса пеленг α и дистанция D изменяются, то в момент времени t_{on} достижения курса судна значения курса «убегания» K_o необходимо оценить текущую относительную позицию. Для этого следует с помощью формулы (1) рассчитать экстремальные относительные курсы и вычислить максимально возможную дистанцию кратчайшего сближения $\max L_{min}$ по формуле (2). Затем надлежит проверить справедливость неравенства $\max L_{min} \leq L_d$. При истинности неравенства надлежит следовать курсом «убегания» K_o , удерживая курс судна противоположным пеленгу на цель, стараясь увеличить дистанцию до цели. При этом необходимо контролировать соотношение $\max L_{min} \leq L_d$. При справедливости данного неравенства судно продолжает следовать курсом K_o до тех пор, пока максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max L_{min}$ не станет равной дистанции кратчайшего сближения L_d , т. е. $\max L_{min} = L_d$. Момент времени этого события обозначим t_{ok} . В данный момент времени необходимо изменить курс судна на величину, при которой достигается экстремальное значение относительного курса и максимальное значение дистанции кратчайшего сближения. Как показано в работе [2], экстремальные относительные курсы K_{otmin} и K_{otmax} достигаются соответственно при курсах судна:

$$\begin{aligned} K_{otmin} &= K_c + \arccos(\rho) \text{ и} \\ K_{otmax} &= K_c - \arccos(\rho). \end{aligned}$$

Следуя одним из указанных курсов, судно перемещается в сторону цели, причем дистанция D между судном и целью сокращается, достигая в момент времени t_b значения предельно-допустимой дистанции L_d . Начиная с этого момента времени, дистанция D увеличивается и судно ложится на курс выхода на программную траекторию K_b , причем участок выхода на программную траекторию движения судна расположен под углом $\gamma = 30^\circ - 40^\circ$ к программной траектории, т. е. $K_b = K_n \pm \gamma$, где K_n - начальный курс судна. Судно следует курсом выхода K_b до тех пор, пока не достигает программной траектории, после чего ложится на начальный курс K_n , перемещаясь по программной траектории.

Если в момент времени t_{on} достижения курса судна значения курса «убегания» K_o имеет место неравенство $\max L_{min} \geq L_d$, то необходимо проверить возможность выхода судна на программную траекторию курсом K_b , для чего надлежит произвести контроль изменения дистанции при следовании этим курсом. Если дистанция увеличивается, то судно может выйти на заданную траекторию. В противном случае при уменьшении дистанции необходимо рассчитать дистанцию кратчайшего сближения L_{minb} при следовании курсом K_b с позиции в момент времени t_{on} . Если справедливо неравенство $L_{minb} \geq L_d$, то судно реализует участок выхода судна на программную траекторию. Если же неравенство не выполняется, то следует рассчитать курс уклонения K_y , при котором дистанция кратчайшего сближения L_{min} равна предельно-допустимой дистанции L_d , т. е. $L_{min} = L_d$. В этом случае [2], значение курс уклонения K_y рассчитывается по формуле:

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

где K_{oty} - относительный курс уклонения, который определяется из выражения:

$$K_{oty} = \alpha_y + \arcsin\left(\frac{L_d}{D_y}\right),$$

где α_y и D_y - соответственно пеленг и дистанция в момент времени t_{on} .

Подводя итоги, определим структуру стратегии экстренного расхождения с учетом поведения цели в процессе расхождения в случае, когда скорость судна меньше скорости цели. Первым этапом

стратегии экстренного расхождения является выход в позицию минимизации скорости сближения. Этот этап длится с начального момента обнаружения ситуации чрезмерного сближения до выхода судна на курс минимизации скорости сближения, равный обратному пеленгу на цель. Параметрами первого этапа являются сторона поворота судна, конечный курс переходного процесса, линейная скорость судна и угловая скорость поворота. Вторым этапом является движение судна курсом минимизации скорости сближения до выхода в позицию начала целесообразного движения по выполнению функционального назначения в сторону программной траектории. С этой позиции в зависимости от маневрирования цели движение судна возможно различными курсами: либо экстремальным курсом $K_{extr} = (K_{o\max}, K_{o\min})$, либо курсом уклонения K_y , либо курсом выхода K_b . Поэтому будем различать следующие этапы движения судна к программной траектории движения: третий этап движения экстремальным курсом, четвертый этап движения курсом уклонения и пятый этап выхода на программную траекторию движения.

Структура стратегии экстренного расхождения представляет собой последовательность этапов движения с момента идентификации ситуации чрезмерного сближения до момента возвращения

судна на программную траекторию движения. Анализ вышеизложенного показывает, что первый и пятый этапы обязательно содержатся во всех типах структуры стратегии экстренного расхождения. В общем случае возможны четыре типа структуры S_i стратегии экстренного расхождения с различным набором этапов G_j , которые приведены в табл. 1. Первый этап G_1 соответствует переходному процессу с начального курса до выхода судна на курс равный $K_\alpha = \alpha + 180$. Второй этап экстренного уклонения G_2 предусматривает следование судна курсом K_α до окончания этапа. Очередной третий этап экстремального уклонения G_3 обеспечивает следование судна экстремальными курсами при сближении с целью на встречных курсах. Этап стандартного уклонения G_4 (четвертый) предусматривает сближение с целью на кратчайшую дистанцию, равную предельно-допустимой L_d . И, наконец, пятый этап G_5 , этап выхода на заданную траекторию завершает стратегию расхождения.

Таблица 1. Состав структуры стратегии экстренного расхождения

Типы структуры экстренной стратегии S	Последовательность этапов G
S_1	$\{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5\}$
S_2	$\{G_1, G_3, G_4, G_5\}$
S_3	$\{G_1, G_4, G_5\}$
S_4	$\{G_1, G_5\}$

В условиях чрезмерного сближения в стесненных условиях плавания расчет параметров стратегии экстренного расхождения требует применения динамической модели вращательного движения которая описывает поворот судна более адекватно, чем модель с постоянной угловой скоростью. Поэтому в дальнейшем рассмотрим динамическую модель вращательного движения судна, учитывающую инерционность судна при повороте и время переключений пера руля.

При повороте судна с одного участка программной траектории движения на другой необходимо выбрать начало поворота в момент времени t_n таким образом, чтобы с учетом динамики судно, совершив изменение курса на заданную величину, оказалось на новом участке траектории.

При этом существенна стратегия переключения пера руля. Рассмотрим процедуру расчета момента времени начала поворота судна t_n с учетом упомянутых требований.

Допустим, судно в начальный момент времени t_0 находится на первом участке программной траектории и следует курсом K_1 , через некоторый интервал времени предстоит поворот на очередной участок программной траектории с курсом K_2 (рис. 1). Требуется определить момент времени начала

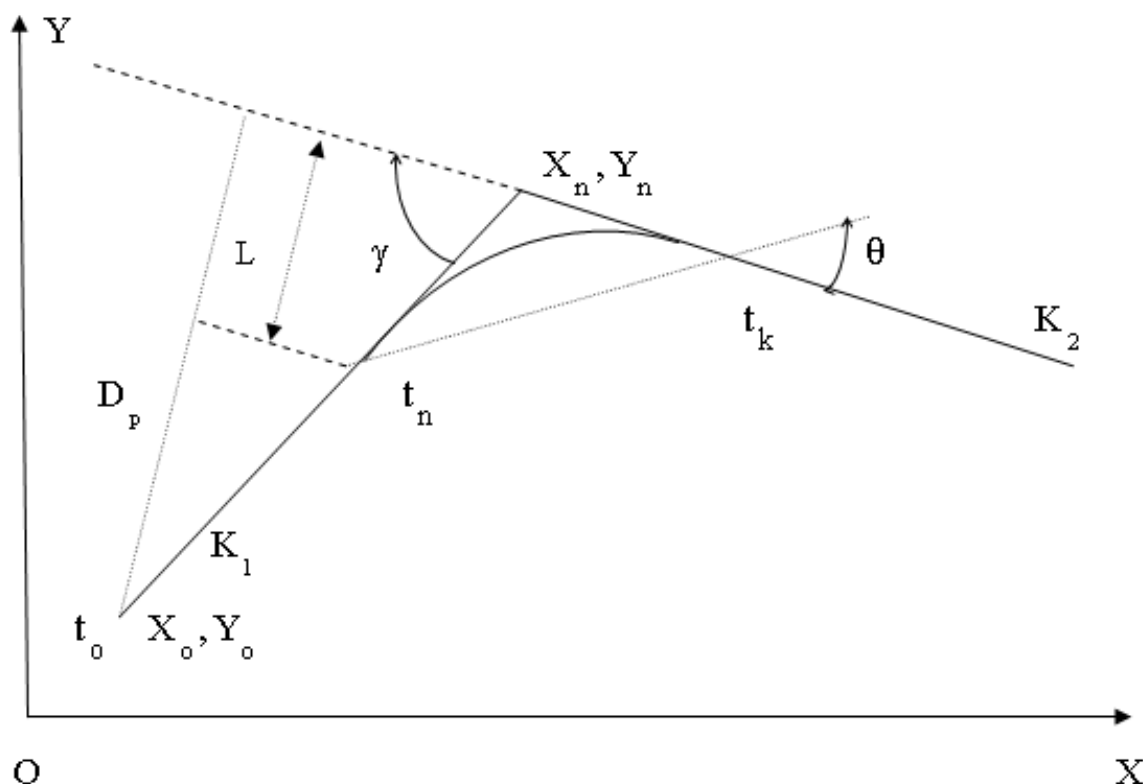


Рис. 1. К определению реализации криволинейного участка поворота

поворота судна t_n , при котором в конце маневра (момент времени t_k) судно окажется на втором участке программной траектории и за время поворота его курс изменится на величину $\Delta K = K_2 - K_1$. При этом поворот судна осуществляется путем перекадки пера руля на некоторый угол β_0 , который удерживается некоторый интервал времени Δt_{n1} , а затем производится перекадка руля в противоположном направлении на тот же угол β_0 для одерживания судна. В течение интервала времени Δt_{n2} перо руля удерживается в таком положении, а затем приводится в диаметрально плоскость судна. При данной постановке задачи будем учитывать время перекадки пера руля, причем для рассматриваемой стратегии выполнения поворота судна имеется три перекадки руля: первая от начального положения до величины β_0 , вторая перекадка для одерживания судна от величины β_0 до $-\beta_0$ и третья перекадка в диаметрально плоскость судна после выхода на новый участок. Интервалы времени необходимые для каждой перекадки обозначим соответственно через $\Delta t_{\beta 1}$, $\Delta t_{\beta 2}$ и $\Delta t_{\beta 3}$. Поэтому процесс перекадки пера руля с

момента начала t_n до конца t_k поворота показан на рис. 2 с помощью диаграммы А, согласно которой в момент времени t_n начинается первая перекадка руля. Она длится интервал времени $\Delta t_{\beta 1}$, к концу которого перо руля достигает угла отклонения, равного β_0 . Этот угол удерживается интервал времени Δt_1 , по истечению которого начинается вторая перекадка руля на противоположный борт. Вторая перекадка длится интервал времени $\Delta t_{\beta 2}$, по завершению которого перо руля отклонено от диаметральной плоскости судна на угол $-\beta_0$. В таком положении перо руля находится в течение интервала времени Δt_2 , по завершению которого производится заключительная перекадка пера руля к диаметральной плоскости, на что тратится интервал времени $\Delta t_{\beta 3}$.

На второй диаграмме В рис. 2 показана эквивалентная стратегия перекадок пера руля, где длительность переходных процессов перекадок учитывается, но считается, что положение пера руля изменяется мгновенно. Согласно этой диаграмме, с момента времени t_n перо руля в течение времени $c_{\beta 1} \Delta t_{\beta 1}$ сохраняет первоначальное положение, а

затем оказывается отклоненным на угол β_o от диаметральной плоскости судна. В течение интервала времени Δt_{n1} положение пера руля остается неизменным, причем:

$$\Delta t_{n1} = (1 - c_{\beta 1}) \Delta t_{\beta 1} + \Delta t_1 + c_{\beta 2} \Delta t_{\beta 2}.$$

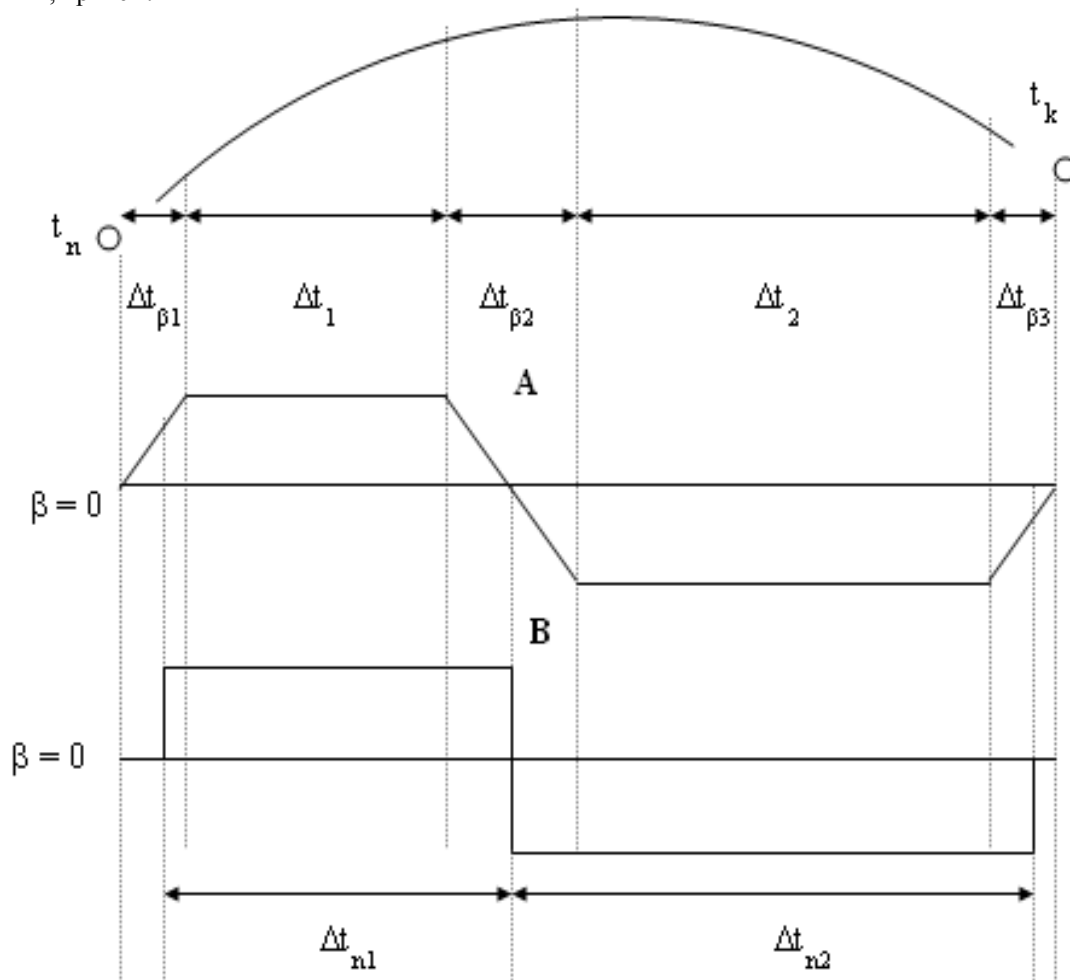


Рис. 2. Учет времени перекладки руля

По истечению времени Δt_{n1} перо руля оказывается переложенным на противоположный борт, $\beta = -\beta_o$, и пребывает в таком положении в течение интервала времени Δt_{n2} . Его величина равна:

$$\Delta t_{n2} = \Delta t_2 + (1 - c_{\beta 2}) \Delta t_{\beta 2} + c_{\beta 3} \Delta t_{\beta 3}.$$

Правомерность использования модели перекладки пера руля в процессе поворота судна, описываемой диаграммой **В**, вместо модели **А** была подтверждена с помощью имитационного моделирования. Она дает аналогичные результаты при расчете моментов времени t_n и t_k .

Найдем выражение для расчета момента времени начала поворота t_n с учетом рассмотренной стратегии кладки руля. При этом отмечаем, что интервалы времени перекладки пера руля $\Delta t_{\beta 1}$,

$\Delta t_{\beta 2}$ и $\Delta t_{\beta 3}$ являются известными величинами, значения которых зависят только от значения угла перекладки пера руля β_o и от скорости перекладки V_β . Причем:

$$\Delta t_{\beta 1} = \Delta t_{\beta 3} = \beta_o / V_\beta; \Delta t_{\beta 2} = 2\beta_o / V_\beta.$$

С рис. 1 следует, что величина t_n определяется выражением:

$$t_n = t_o + \frac{D_p - L}{V|\sin \gamma|}, \quad (3)$$

где V – скорость судна.

Величины D_p и γ выражаются с помощью следующих формул:

$$D_p = [(X_o - X_n)^2 + (Y_o - Y_n)^2]^{1/2} \sin \gamma; \gamma = K_2 - K_1. \quad (4)$$

В свою очередь, величина отрезка L является проекцией приращения координат судна $\Delta X(\tau_p)$ и $\Delta Y(\tau_p)$ за время поворота τ_p на нормаль

D_p , причем, как следует с рис. 1, величина L определяется следующей аналитической зависимостью:

$$L = [\Delta X^2(\tau_p) + \Delta Y^2(\tau_p)]^{1/2} \sin \theta, \quad (5)$$

где

$$\theta = \arctg[\Delta X(\tau_p)/\Delta Y(\tau_p)] - K_2.$$

Подставляя в выражение (3) формулы (4) и (5) получим:

$$t_n = t_o + \frac{[(X_o - X_n)^2 + (Y_o - Y_n)^2]^{1/2}}{V} - \frac{[\Delta X^2(\tau_p) + \Delta Y^2(\tau_p)]^{1/2} \sin \theta}{V |\sin(K_2 - K_1)|}. \quad (6)$$

Момент окончания поворота судна t_k рассчитывается по очевидной формуле $t_k = t_n + \tau_p$, причем в момент времени окончания маневра t_k судно находится на программной траектории и следует новым заданным курсом K_2 .

Таким образом, если в момент времени t_n судно начинает выполнять перекладки руля согласно предложенной стратегии, то к моменту окончания маневра t_k будет реализован криволинейный участок поворота судна, обеспечивающий его выход на новый участок программной траектории. Однако для расчета величины момента времени t_n необходимо располагать выражениями для вычисления продолжительности поворота τ_p и приращения координат судна за это время $\Delta X(\tau_p)$ и $\Delta Y(\tau_p)$. Из рис. 2 следует, что интервал времени поворота судна τ_p может быть рассчитан с помощью формулы:

$$\tau_p = \Delta t_{\beta 1} + \Delta t_{n1} + \Delta t_{n2}. \quad (7)$$

Аналитические выражения для расчета Δt_{n1} и Δt_{n2} , учитывающих инерционность судна, определяются видом математических моделей, которые описывают динамику движения судна при повороте. Перекладка пера руля выполняется конечное время, равное $\Delta t_{\beta s}$ со скоростью V_β и к

концу перекладки угол перекладки пера достигает установившегося значения равного β_o . В первом приближении будем считать, что угол перекладки β изменяется линейно в течение интервала $\Delta t_{\beta s}$, т. е.:

$$\beta = V_\beta t, \text{ при } t \leq \Delta t_{\beta s}$$

$$\beta = \beta_o, \text{ при } t > \Delta t_{\beta s}.$$

Рассмотрим модель поворота судна, которая описывается с помощью дифференциального уравнения изменения текущего курса судна ψ [11]:

$$k_1 \ddot{\psi} + \dot{\psi} = k_\omega \beta = a_\omega, \text{ при } t > \Delta t_{\beta s}$$

$$k_1 \ddot{\psi} + \dot{\psi} = b_\beta t, \text{ при } t \leq \Delta t_{\beta s}$$

где $b_\beta = k_\omega V_\beta$; a_ω - установившееся значение угловой скорости поворота.

Запись приведенного дифференциального уравнения относительно угловой скорости поворота ω имеет вид:

$$k_1 \dot{\omega} + \omega = b_\beta t. \quad (8)$$

Решение неоднородного уравнения (8) имеет следующий вид:

$$\omega = (\omega_o - \omega_r) \exp(-t/k_1) + \omega_r,$$

где ω_o - начальное значение угловой скорости;

$$\omega_r = b_\beta t - \text{частное решение.}$$

Интегрируя последнее уравнение, получим:

$$\tilde{\psi}_t = \psi_o + \int_0^t [(\omega_o - \omega_r) \exp(-\tau/k_1) + \omega_r] d\tau =$$

$$= \psi_o + \int_0^t \omega_o \exp(-\tau/k_1) d\tau - \int_0^t \omega_r \exp(-\tau/k_1) d\tau + \int_0^t \omega_r d\tau. \quad (9)$$

На первом этапе поворота судна начальная его угловая скорость равна нулю $\omega_o = 0$, а $\omega_r = b_\beta t$. В этом случае выражение (9) для текущего курса

судна $\tilde{\psi}_t$ на интервале перекладки пера руля принимает вид:

$$\tilde{\psi}_t = b_\beta \frac{t^2}{2} - b_\beta k_1 \{k_1 - (t + k_1) \exp(-t/k_1)\} \text{ или}$$

$$\tilde{\psi}_t = b_\beta \left\{ \frac{t^2}{2} - k_1 [k_1 - (t + k_1) \exp(-t/k_1)] \right\}. \quad (10)$$

В общем случае, когда рассматривается первый этап поворота судна с учетом времени перекладки пера руля, то с учетом выражения (10),

можно записать выражения для текущего значения курса судна $\tilde{\psi}_t$:

$$\tilde{\psi}_t = K_1 + b_\beta \left\{ \frac{t^2}{2} - k_1 [k_1 - (t + k_1) \exp(-t/k_1)] \right\}, \text{ при } t \leq \Delta t_{\beta 1} \quad (11)$$

В дальнейшем, при $t > \Delta t_{\beta 1}$, изменение курса происходит при начальной скорости отличной от нуля, причем начальная скорость ω_o равна значению угловой скорости в момент времени $t = \Delta t_{\beta 1}$, т. е. $\omega_o = \omega(\Delta t_{\beta 1})$, поэтому получим следующее выражение для ω_o :

$$\omega_o = a_\omega [1 - \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1)].$$

Установившееся значение угловой скорости определяется выражением $\omega_r = a_\omega$. Подстановка выражений ω_o и ω_r в исходную формулу для угловой скорости $\omega = (\omega_o - \omega_r) \exp(-t/k_1) + \omega_r$ позволяет получить:

$$\omega = \{a_\omega [1 - \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1)] - a_\omega\} \exp(-t/k_1) + a_\omega, \text{ или}$$

$$\omega = a_\omega [1 - \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1) \exp(-t/k_1)].$$

Интегрируя последнее выражение, получим формулу для текущего курса судна $\bar{\psi}_t$ при $t >$

$\Delta t_{\beta 1}$:

$$\bar{\psi}_t = a_\omega \int_0^t [1 - \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1) \exp(-\tau/k_1)] d\tau \Rightarrow$$

$$= \tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1}) + a_\omega \{t - k_1 \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1) [1 - \exp(-t/k_1)]\}.$$

Таким образом, при использовании (11) изменение курса судна с учетом продолжительности

перекладки пера руля, выражение для текущего значения курса $\bar{\psi}_t$ на первом этапе поворота принимает следующий вид:

$$\bar{\psi}_t = \tilde{\psi}_t = K_1 + b_\beta \left\{ \frac{t^2}{2} - k_1 [k_1 - (t + k_1) \exp(-t/k_1)] \right\}, \text{ при } t \leq \Delta t_{\beta 1} \quad (12)$$

$$\bar{\psi}_t = \tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1}) + a_\omega \{t - k_1 \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1) [1 - \exp(-t/k_1)]\}, \text{ при } t > \Delta t_{\beta 1}$$

$$\text{где } \tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1}) = K_1 + b_\beta \left\{ \frac{\Delta t_{\beta 1}^2}{2} - k_1 [k_1 - (\Delta t_{\beta 1} + k_1) \exp(-\Delta t_{\beta 1}/k_1)] \right\}.$$

Полученное выражение (12) затрудняет расчет продолжительности этапов поворота судна Δt_1 и Δt_2 , а также приращение его координат за время поворота, поэтому было введено понятие эквивалентных интервалов перекладки пера руля Δt_{n1} и Δt_{n2} . Для определения соотношений между величинами Δt_{n1} , Δt_{n2} и Δt_1 , Δt_2 необходимо найти коэффициенты $C_{\beta 1}$, $C_{\beta 2}$ и $C_{\beta 3}$. Полученные выражения (12) позволяют определить значение коэффициента $C_{\beta 1}$, исходя из следующего соображения (рис. 3). Начало эквивалентной перекладки предполагается в момент времени $\Delta t_s = C_{\beta 1} \Delta t_{\beta 1}$, полагая, что руль мгновенно занимает

заданное положение β_0 . Причем этот момент следует выбрать таким образом, чтобы реальное приращение курса судна $\tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1})$ к концу интервала времени $\Delta t_{\beta 1}$ равнялось эквивалентному приращению курса за интервал времени Δt_s , т.е. эквивалентный интервал времени Δt_s ищется из уравнения:

$$\psi_{1t}(\Delta t_{\beta 1} - \Delta t_s) = \tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1}),$$

где выражение $\tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1})$ определяется формулой (12).

Записывая левую часть последнего уравнения в явном виде, получим:

$$a_{\omega} \{(\Delta t_{\beta 1} - \Delta t_s) - k_1[1 - \exp[-(\Delta t_{\beta 1} - \Delta t_s)/k_1]]\} = \tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1}) \quad (13)$$

Разделим обе части уравнения (13 3.36) на величину a_{ω} и получим:

$$\Delta t_s = \Delta t_{\beta 1} - \tilde{\psi}_t(\Delta t_{\beta 1})/a_{\omega} - k_1[1 - \exp[-(\Delta t_{\beta 1} - \Delta t_s)/k_1]]. \quad (14)$$

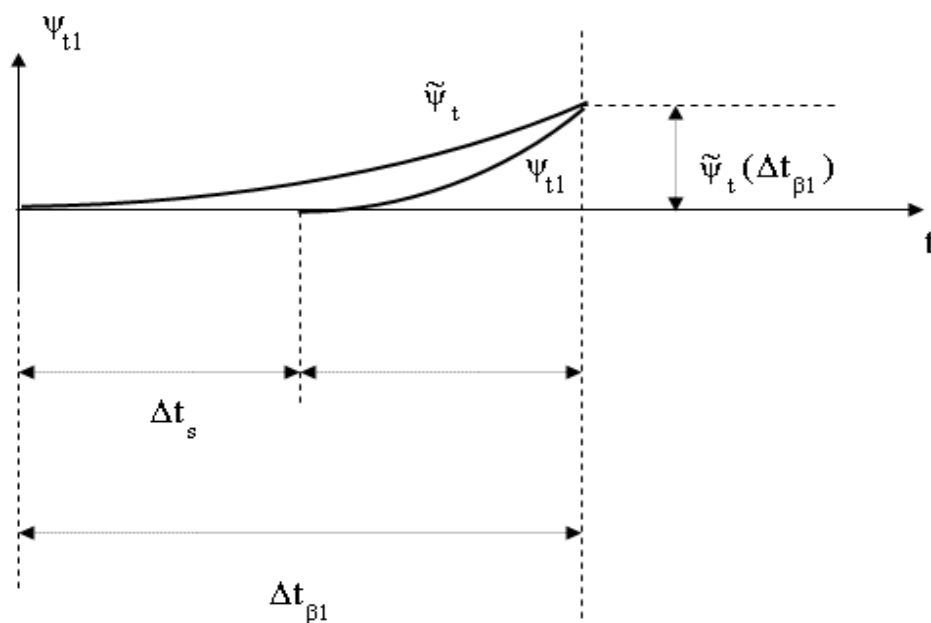


Рис. 3. К определению эквивалентного интервала времени Δt_s

Уравнение (14) относительно переменной Δt_s можно решить методом простых итераций. В свою очередь, коэффициент эквивалентности $C_{\beta 1}$ находится из очевидного соотношения $C_{\beta 1} = \Delta t_s / \Delta t_{\beta 1}$.

Выбор коэффициентов эквивалентности $C_{\beta 2}$ и $C_{\beta 3}$ при второй и третьей перекладках осуществляется, исходя из следующих соображений. Как следует с рис. 2, где показаны реальная и эквивалентная стратегии перекладки руля при выполнении поворота судна, при второй перекладке руля

для одерживания судна перо из положения β_o переводится в положение $-\beta_o$, что определяет величину $C_{\beta 2} = 0,5$. Заключительная перекладка руля, когда перо из положения $-\beta_o$ переводится в диаметрально плоскость судна и к концу перекладки угловая скорость поворота судна обращается в ноль, переходной процесс такой же, как при первой перекладке, однако происходит в обратной последовательности. Следовательно, коэффициент эквивалентности $C_{\beta 3} = 1 - C_{\beta 1}$.

Выводы и предложения.

1. Рассмотрена стратегия экстренного расхождения судна при чрезмерном сближении его с целью для случая, когда скорость судна меньше скорости цели. Показано, что стратегия расхождения может содержать от двух до пяти этапов в зависимости от развития процесса расхождения.
2. Для описания вращательного движения судна предложена динамическая модель второго порядка, учитывающая время перекладки пера руля, которая с достаточной точностью прогнозирует поворот судна.
3. Получены аналитические выражения для расчета необходимых моментов времени стратегии экстренного расхождения с помощью предложенной динамической модели вращательного движения судна.

Список литературы:

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. - 424 с.
2. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), - 2016. - 585 с.
3. 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. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2005. - №10. - С. 21 - 25.
5. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. - 2003. - №6. - С. 103 - 107.
6. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. - Gdansk. - P. 71 - 78.
7. Фрейдзон И. Р. Моделирование корабельных систем управления / Фрейдзон И. Р. - Л.: Судостроение, 1975. - 232 с.
8. Бурмака А. И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации опасного сближения / Бурмака А. И. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 20 - Одесса: «ИздатИнформ», 2011 - с. 32-35.
9. Бурмака А.И. Учет угловой скорости судна при расчете параметров маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения / Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 21 - Одесса: «ИздатИнформ», 2012 - с. 38-41.
10. Урбанский И.А. Учет навигационных опасностей при экстренном расхождении / Урбанский И.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 14 - Одесса: «ИздатИнформ», 2007 - с. 136-140.
11. Вагущенко Л.Л. Судно как объект автоматического управления / Вагущенко Л.Л. - Одесса: ОГМА, 2000. - 140 с.
12. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2002. - №4. - С. 32- 36.
13. Чапчай Е.П. Учет времени перекладки пера руля при повороте судна / Чапчай Е.П. // Судовождение. - 2005. - № 9. - С. 110 - 113.

Omelchenko T.Y.

senior lecturer,

National University «Odessa Maritime Academy»

Pyatakov E.N.

PhD, associate professor,

National University «Odessa Maritime Academy»

Тюпиков Е.Е.

PhD, associate professor,

National University «Odessa Maritime Academy»

Омельченко Тарас Юрьевич

старший преподаватель кафедры Морские перевозки,

Национальный университет "Одесская морская академия"

Пятаков Эдуард Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры Судовождение,

Национальный университет "Одесская морская академия"

Тюпиков Евгений Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры Управление судном,

Национальный университет "Одесская морская академия"

REFLECTION OF TRAJECTORY OF DIVERGENCE OF SHIP BY DEVIATION TO THE RIGHT IN GREAT NUMBER OF FORMS OF RELATIVE TRAJECTORIES ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ РАСХОЖДЕНИЯ СУДНА УКЛОНЕНИЕМ ВПРАВО В МНОЖЕСТВО ФОРМ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Summary: The forms of veritable trajectory of divergence and form of relative trajectory of divergence for the case of deviation of ship welcomes back on the programmatic trajectory of motion are considered. It is shown that at speed of ship of greater speed of target the forms of veritable and relative trajectories coincide. For a case, when speed of ship less speed of purpose is certain dependence of relative trajectory of divergence on a veritable trajectory. Conformities to the law of reflection of trajectory of ship are explored by deviation to the right in the great number of forms of relative trajectories.

Key words: safety of navigator, warning of collision of vessels, maneuver of divergence, form of veritable and relative trajectories of divergence.

Аннотация: Рассмотрены формы истинной траектории расхождения и формы относительной траектории расхождения для случая уклонения судна с возвращением на программную траекторию движения. Показано, что при скорости судна большей скорости цели формы истинной и относительной траекторий совпадают. Для случая, когда скорость судна меньше скорости цели определена зависимость относительной траектории расхождения от истинной траектории. Исследованы закономерности отображения траектории судна уклонением вправо в множество форм относительных траекторий.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновения судов, маневр расхождения, формы истинной и относительной траекторий расхождения.

Постановка проблемы.

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

Следовательно, разработка способов совершенствования процесса расхождения опасно сближающихся судов, в частности учетом относительной формы траектории расхождения для расчета параметров стратегии расхождения судна и зависимости относительной формы расхождения от истинной траектории является актуальным и перспективным научным направлением, чем и обусловлен выбор темы статьи.

Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] рассматриваются приложения игровых подходов в навигационных математических моделях безопасного управления судами и методов теории игр для автоматизации регулирования процессов перемещения судов. В статье [2] предлагается рассматривать контроль и управление движением судна, как многоуровневую систему, управляющую системами судна при его переходе между портами, причем судовым подсистемам поставлены в соответствие слои системы контроля. Глобальный контроль систем управления стал слишком дорогостоящим и неэффективным, как отмечается в статье [3], так как он требует большого числа измерений вектора управления, определения статуса процесса. Динамика судна описывается нелинейными и нестационарными характеристиками, а управляющие воздействия зависят от течения, ветра и волнения моря.

Задача выбора оптимального маневра расхождения очень сложная, как отмечается в работах [4-

6], так как процесс управления движением судна является многомерным с нелинейными и нестационарными характеристиками. Она по своей природе носит игровой характер. Как показано в работах [7, 8], судовые подсистемы производят управление одного из подпроцессов движения судна, который описывается подходящими дифференциальными уравнениями кинематики или динамики судна. К таким подпроцессам относятся: стабилизация судна на курсе или траектории; корректировка скорости судна; точное управление судном на малых скоростях в порту; динамическая стабилизация судна при бурении или положение танкера при грузовых операциях в море.

В работе [9] введено понятие взаимодействия судов в ситуации опасного сближения и возникновения угрозы столкновения, а также предложена формализация МППСС-72. Работа [10] посвящена разработке метода гибких стратегий расхождения, который при локально-независимом управлении позволяет выбрать оптимальную стратегию расхождения судна с несколькими опасными целями с учетом требований МППСС-72 и при наличии мешающих факторов.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Анализ рассмотренных работ показывает, что при опасном сближении возникает необходимость в выборе маневра расхождения, расчет параметров которого производится, исходя из относительной траектории расхождения [10], форма которой при скорости судна меньшей скорости цели зачастую не совпадает с формой истинной траектории [11]. Для корректного расчета параметров стратегии расхождения необходимо учитывать указанное обстоятельство. Поэтому в данной статье рассматривается соответствие форм истинной и относительной

траекторий расхождения при уклонении судна вправо от программного курса движения.

Цель статьи.

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

Изложение основного материала.

Для корректных расчетов параметров маневра расхождения оперирующего судна, опасно сближающегося с целью необходимо рассмотреть формы истинной и относительной траекторий расхождения, а также их взаимозависимость. Форма истинной траектории расхождения, которая характеризуется уклонением вправо δ_{tst} , показана на рис. 1, а форма истинной траектории расхождения уклонением влево обозначена δ_{tpr} и показана на том же рисунке. В случае, когда маневр расхождения выполняется судном, скорость которого больше скорости цели, т. е. $V_o > V_c$, то формы истинной и относительной траекторий совпадают. Обозначим относительную траекторию, у которой относительный курс уклонения больше начального относительного курса, $K_{oty} > K_{otn}$ и $K_{otb} < K_{oty}$,

через Δ_{tst} (рис. 2). Относительная форма Δ_{tpr} , для которой характерны соотношения $K_{oty} < K_{otn}$ и $K_{otb} > K_{oty}$, также показана на рис. 2.

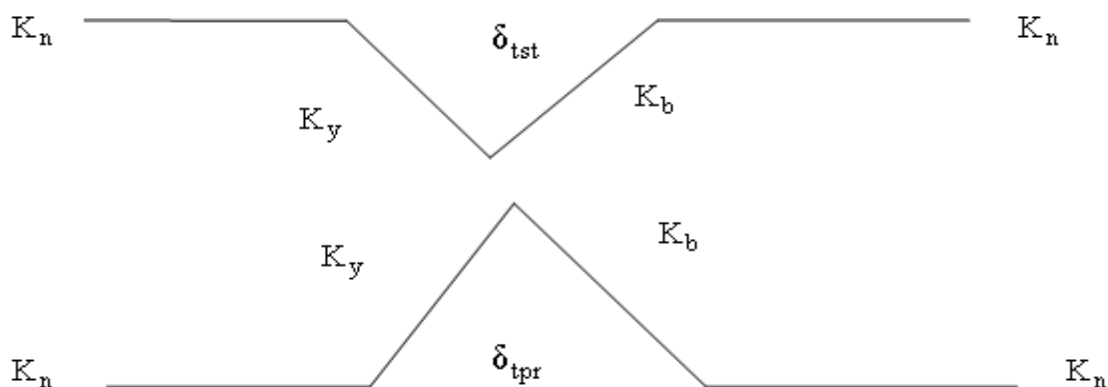


Рис. 1. Формы истинной траектории расхождения

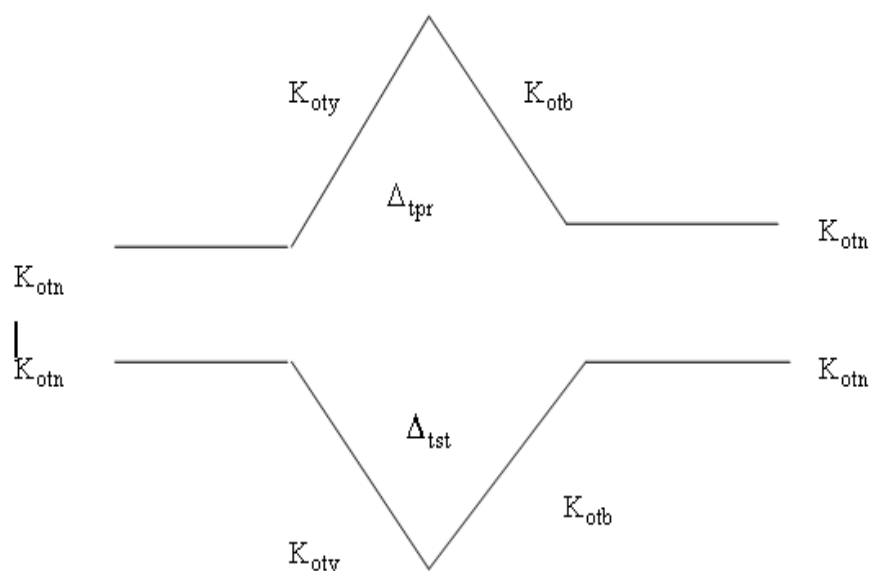


Рис. 2. Формы относительной траектории расхождения Δ_{tst} и Δ_{tpr}

В дальнейшем рассмотрим ситуацию, когда скорость маневрирующего судна меньше скорости цели, т. е. $V_o < V_c$. При этом необходимо учитывать, что при увеличении истинного курса судна K_o относительный курс K_{ot} имеет как участок роста, так и участок убывания [10]. Поэтому в этом случае помимо форм Δ_{tst} и Δ_{tpr} относительная траектория может принимать другие формы. Как показано на рис. 3, относительная траектория имеет участки уклонения и выхода, которые изменяются влево. Такую форму траектории расхождения обо-

значим Δ_{tpr1} . Соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ истинной и относительных траекторий показано на рис. 3.

На рис. 4 курсы K_n и K_b формы δ_{tst} истинной траектории принадлежат убывающему участку зависимости относительного курса, а курс уклонения K_y - растущему участку. Относительная траектория, соответствующая этому случаю, характеризуется следующей особенностью: ее участки уклонения и выхода на заданную траекторию изменяются вправо по отношению к предыдущему участку.

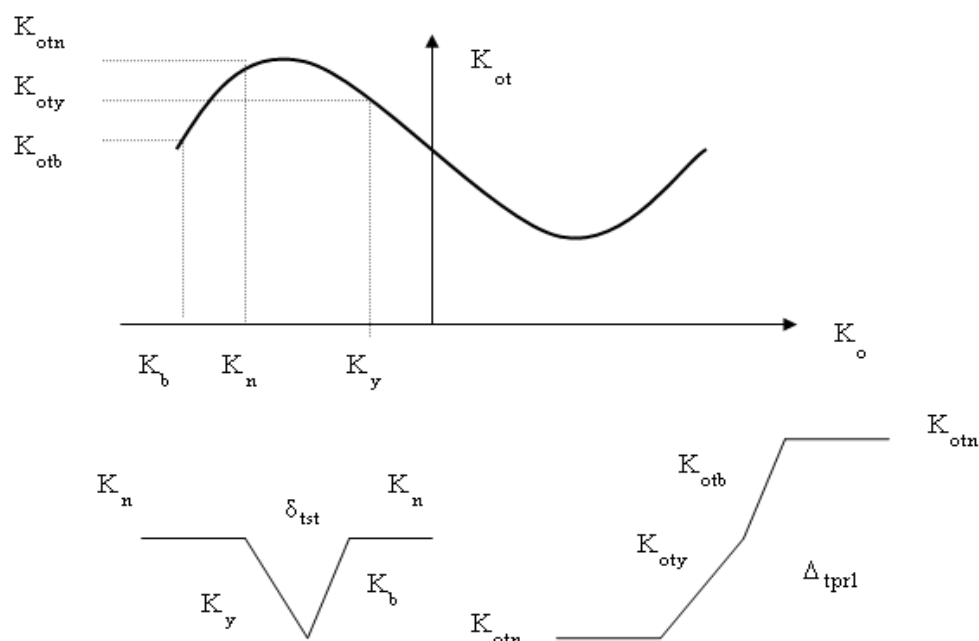


Рис. 3. Соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tpr1}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

Такую форму относительной траектории с двумя участками изменения курса вправо обозначим через Δ_{tst1} , причем можно утверждать, что существуют соотношения курсов K_n , K_y и K_b

формы δ_{tst} истинной траектории расхождения, при которых имеет место соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst1}$ (рис. 4).

Таким образом, в общем случае формы δ_{tst} и δ_{tpr} истинной траектории расхождения могут отображаться в пространстве относительного движения четырьмя формами относительной траектории расхождения Δ_{tst} , Δ_{tpr} , Δ_{tst1} и Δ_{tpr1} .

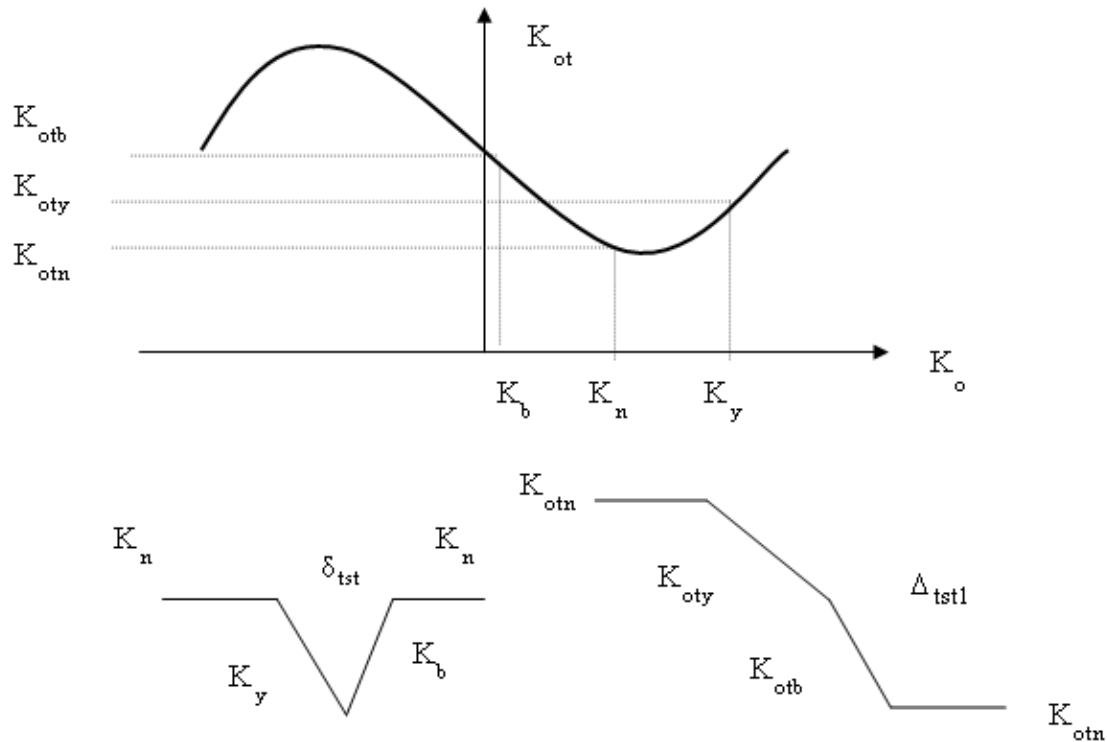


Рис. 4. Соответствие $\delta_{tst} \rightarrow \Delta_{tst1}$ форм траекторий при $V_o < V_c$

Для удобства множество абсолютных элементарных форм обозначим $M\delta_e$, причем $M\delta_e = \{\delta_{tst}, \delta_{tpr}\}$, а множество относительных элементарных форм - $M\Delta_e = \{\Delta_{tst}, \Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tpr1}\}$. Найдем отображение F_{em} множества $M\Delta_e$ в множество $M\delta_e$ для случая, когда $\rho < 1$. Маневру расхождения соответствует пара смежных курсов: уклонения K_y и выхода на заданную траекторию K_b , которые ограничены по соображениям целесообразности, потому абсолютным формам δ_{tst} и δ_{tpr} соответствует двумерная область Ω_{yb} параметров K_y и K_b . Отображение F_{em} делит область

Ω_{yb} на области относительной формы $\Omega_{\Delta_j} \subseteq \Omega_{yb}$, каждая из которых характеризуется неизменной относительной формой Δ_{tj} . Следовательно, отображение F_{em} элементарной абсолютной форме δ_{tst} или δ_{tpr} с областью Ω_{yb} ставит в соответствие совокупность элементарных относительных форм Δ_{tj} с областями $\Omega_{\Delta_j} \subseteq \Omega_{yb}$. Очевидно, что для задания отображения $F_{em} : M\Delta_e \rightarrow M\delta_e$ для заданной абсолютной формы δ_{tj} с областью Ω_{yb} должны быть указаны типы относительных форм Δ_{tj} и аналитически

описаны границы соответствующих им областей

$\Omega_{\Delta j}$, которые принадлежат области Ω_{yb} .

Ограничения курсов K_y и K_b по целесообразности вводятся по следующим соображениям. Отклонение от начального курса при стандартном маневре расхождения не должно превосходить 90° , в противном случае судно будет уклоняться в направлении обратном программному движению. После расхождения выход судна на программную траекторию происходит под углом γ к направлению программной траектории, причем угол γ имеет смысл выбрать в пределах от 30° до 90° . Если судно уклоняется и возвращается на один и тот же участок программной траектории с курсом K_o , то ограничения по целесообразности имеют следующий вид:

$$K_o < K_y \leq K_o + \delta_y 90 = K_y^*,$$

$$K_o - \delta_y 30 \leq K_b < K_o - \delta_y 90,$$

где $\delta_y=1$ при уклонении судна вправо и $\delta_y=-1$ в противном случае. Учитывая, что переменные K_y и K_b являются независимыми, то область Ω_{yb} имеет форму прямоугольника.

Ситуацией $Q\Delta_i$ будем называть совокупность областей $\Omega_{\Delta j}$ относительных Δ_{ij} , находящихся в области Ω_{yb} курсов уклонения и курсов выхода. Рассмотрим возможные ситуации $Q\Delta_i$ при форме истинной траектории δ_{tst} в случае изменения разницы курсов ΔK оперирующего судна K_o и цели K_c , причем $\Delta K = K_o - K_c$, от 0 до 2π .

При $\Delta K=0$ граничные значения допустимых множеств курсов уклонения K_y и курсов выхода

K_b не превосходят значений соответственно $\pi/2$ и $-\pi/2$ (рис. 5). Следовательно, начальная ситуация

$Q\Delta_1$ в этом случае содержит только одну форму

Δ_{tpr} , а область Ω_{yb} является только областью

$\Omega_{\Delta pr}$ формы Δ_{tpr} , как показано на рис. 5. Другие формы относительной траектории уклонения и соответствующие им области в данной ситуации

отсутствуют. На рис. 6 показана ситуация $Q\Delta_1$

для параметров движения судна $K_o = 70^\circ$, $V_o = 15$ уз. и цели $K_c = 70^\circ$, $V_c = 20$ уз.

Следовательно, $\Delta K_o = 0$ и $\rho = 0,75$. На кривой зависимости относительного курса от ΔK показаны точки начального курса, граничных курсов выхода и граничного курса уклонения. В нижней части экрана слева показана форма истинной траектории расхождения, а в правой части экрана - относительной траектории расхождения. Слева на экране показано графическое отображение области Ω_{yb} .

С ростом ΔK появляется еще и область $\Omega_{\Delta st1}$, соответствующая относительной форме Δ_{tst1} . Поэтому граница ΔK_1 между ситуацией $Q\Delta_1 = (\Delta_{tpr})$ и ситуацией $Q\Delta_2 = (\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1})$ находится при условии равенства относительных курсов:

$$K_{oty}^* = K_{oto}, \text{ причем } K_y^* = K_o + \frac{\pi}{2}. \quad (1)$$

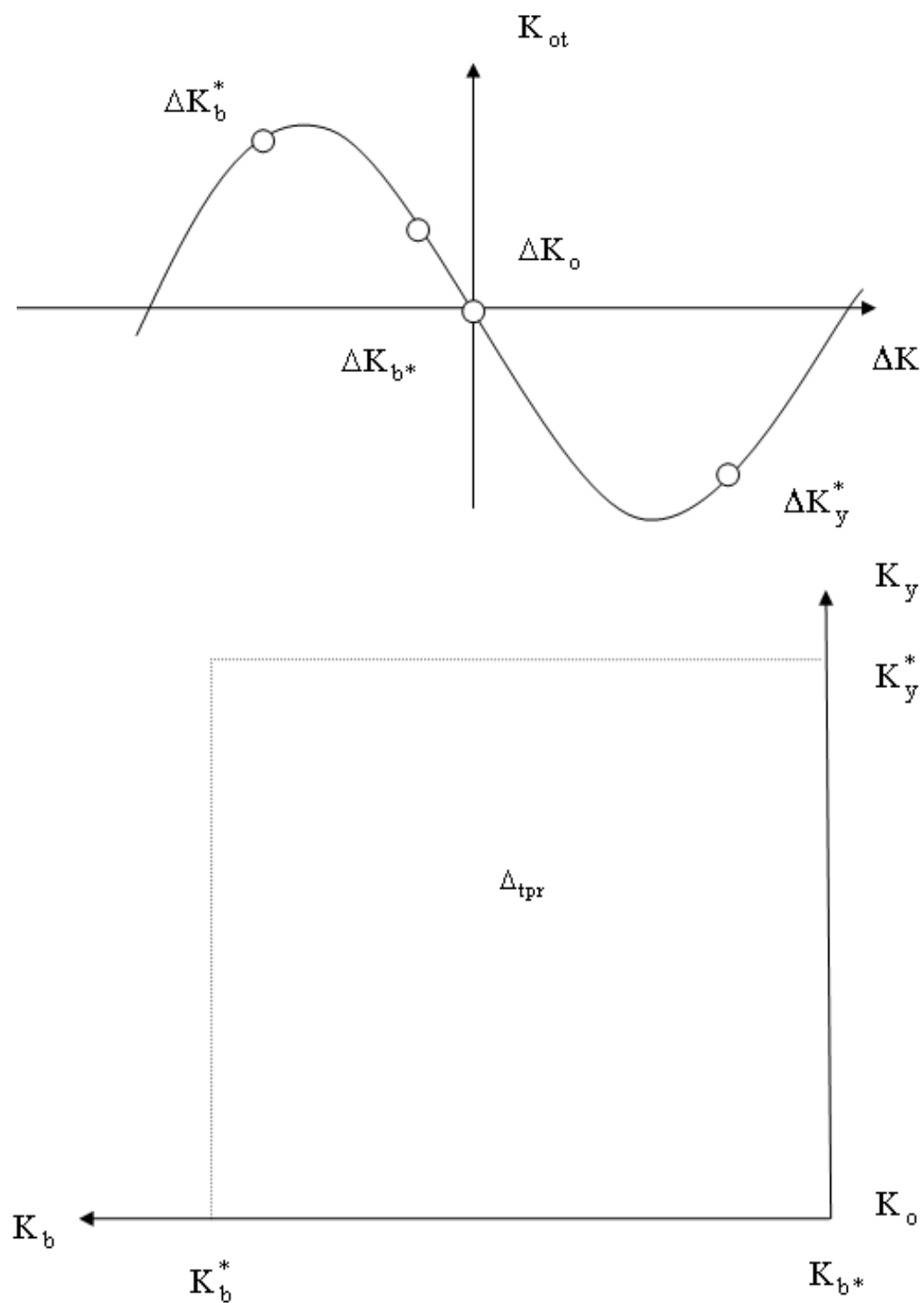


Рис. 5. Область Ω_{yb} в ситуации $Q\Delta_1$ при $\Delta K_o = 0$

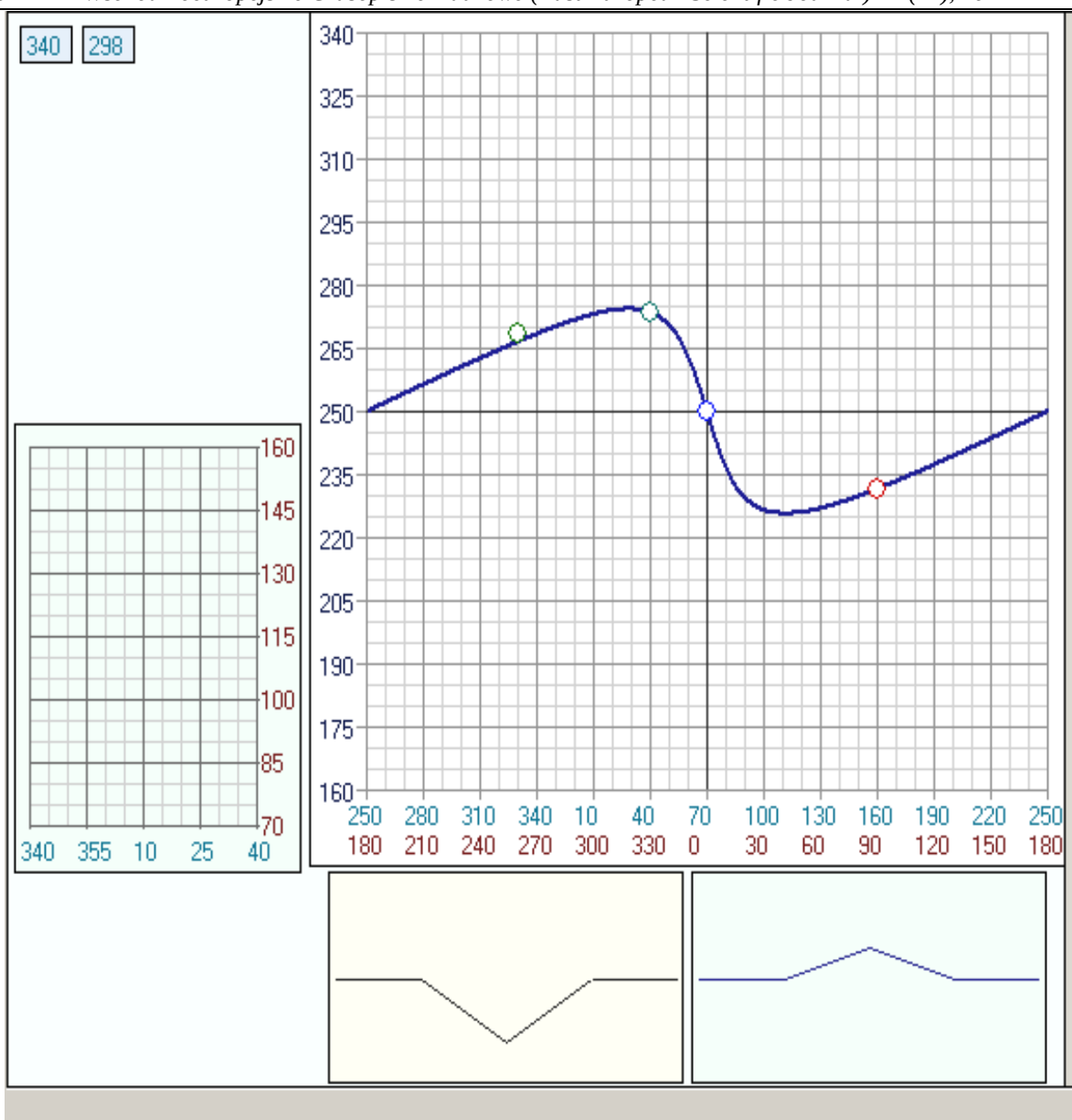


Рис. 6. Имитация ситуации $Q\Delta_1$ при $K_o = 70^\circ$ и $\Delta K_o = 0^\circ$

Для курсов K_y^* и K_o , как следует из рис. 7, справедливы выражения:

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

$$K_o = K_{oto} + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)], \quad (2)$$

с учетом которых выражение (1) принимает следующий вид:

$$K_{oto} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)] = K_{oto} + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)] + \frac{\pi}{2},$$

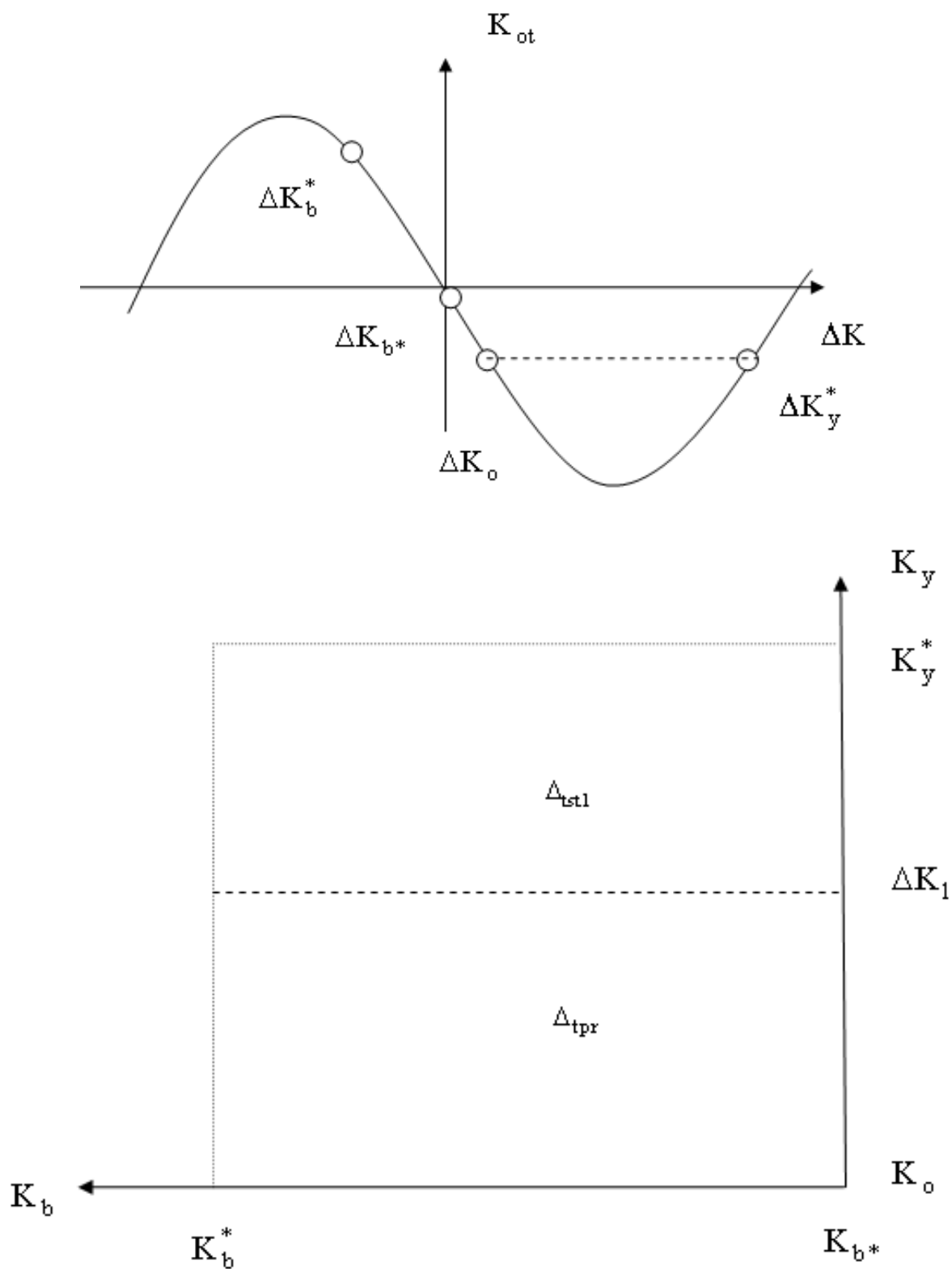


Рис. 7. Определение границы ΔK_1 смены ситуаций $Q\Delta_1$ и $Q\Delta_2$

откуда получим:

$$\arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)] = \frac{3\pi}{4}, \text{ или}$$

$$\sin(K_{oto} - K_c) = \rho \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right), \text{ и } K_{oto} = K_c + \arcsin[\rho \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right)].$$

Подставляем полученное выражение для K_{oto} в (2):

$$K_o = K_c + \arcsin[\rho \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right)] + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \rho \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right)] = K_c + \frac{\pi}{4} - \arcsin\left(\rho \frac{\sqrt{2}}{2}\right).$$

Поэтому:

$$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin\left(\rho \frac{\sqrt{2}}{2}\right).$$

В случае реализации ситуации $Q\Delta_2$, когда $\Delta K > \Delta K_1$ граница курса судна ΔK_{y1} , разделяющая области $\Omega_{\Delta pr}$ и $\Omega_{\Delta st1}$ с формами относительных траекторий Δ_{tpr} и Δ_{tst1} , определяется равенством $K_{oty1} = K_{oto}$ и выражается зависимостью:

$$\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)].$$

Компьютерная имитация ситуации $Q\Delta_2$ представлена на рис. 8 для курса оперирующего судна $K_o = 100^\circ$, причем отображение области Ω_{yb} разделено на области $\Omega_{\Delta pr}$ и $\Omega_{\Delta pr1}$ границей $\Delta K_{y1} = 126^\circ$.

Дальнейший рост ΔK ведет к появлению новой ситуации $Q\Delta_3 = (\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$, которая содержит дополнительную область $\Omega_{\Delta st}$ с формой относительной траектории Δ_{tst} , причем граница ΔK_2 между ситуациями $Q\Delta_2$ и $Q\Delta_3$ определяется равенством относительных курсов K_{oty}^* и K_{otb}^* , т. е.:

$$K_{oty}^* = K_{otb}^*, \quad (3)$$

причем

$$K_y^* = K_{b^*} + \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2} = K_{b^*} + \frac{2\pi}{3}. \quad (4)$$

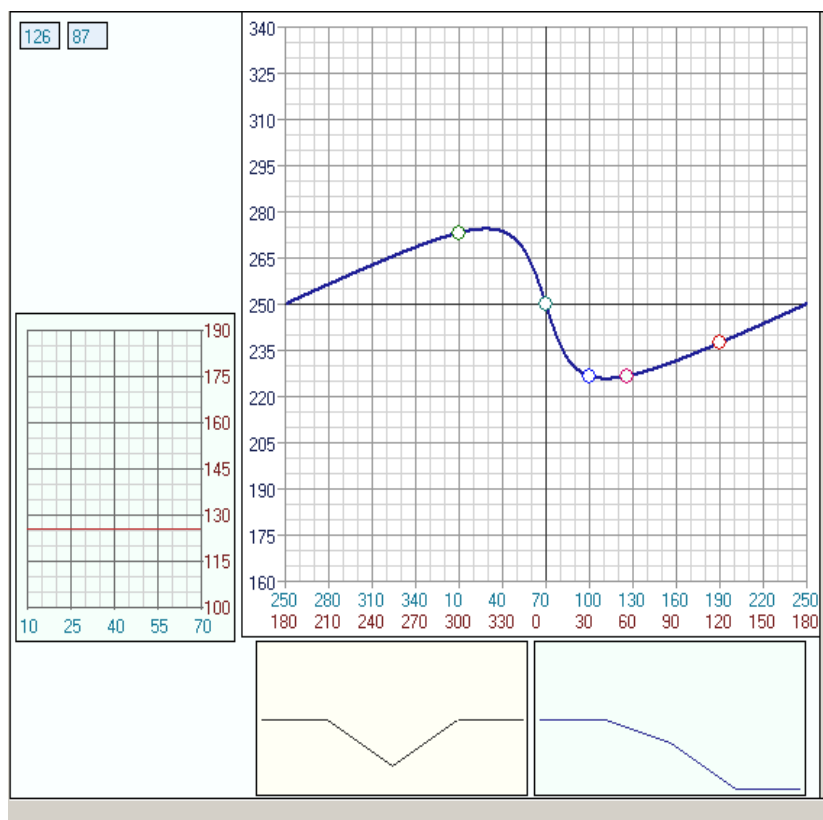


Рис. 8. Компьютерная имитация ситуации $Q\Delta_2$ для $K_o = 100^\circ$

Используем зависимости истинных курсов от относительных курсов (рис. 9):

$$K_{b*} = K_{otb*} + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb*} - K_c)],$$

$$K_y^* = K_{oty}^* + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oty}^* - K_c)]. \quad (5)$$

Подставляем полученные выражения в (4):

$$K_{oty}^* + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oty}^* - K_c)] = K_{oty}^* + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oty}^* - K_c)] + \frac{2\pi}{3},$$

откуда

$$\arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oty}^* - K_c)] = \frac{5\pi}{6} \text{ и } K_{oty}^* = K_c + \arcsin[\rho \sin \frac{5\pi}{6}].$$

Подставляем выражение для K_{oty}^* в (5):

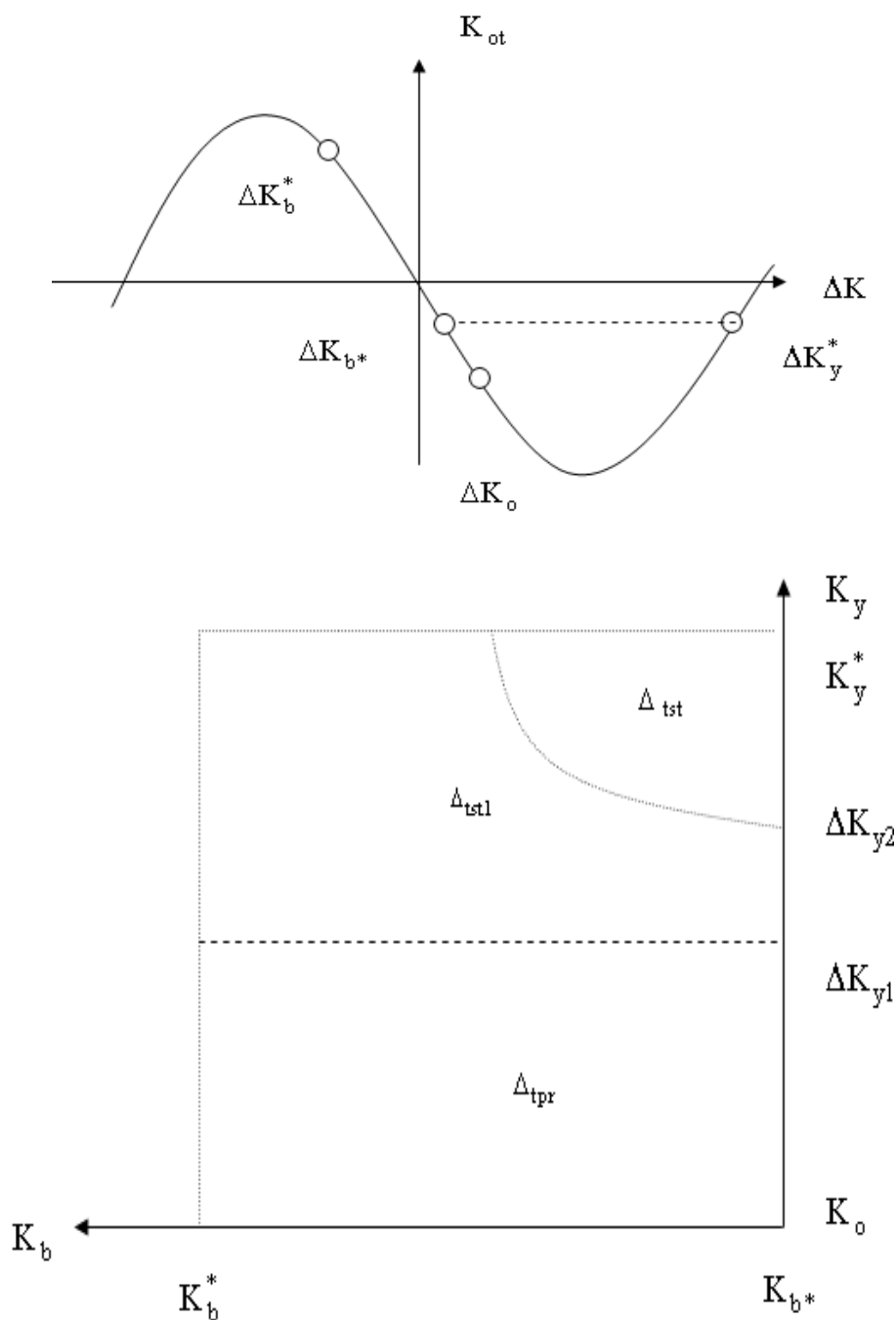


Рис. 9. Граница ΔK_2 смены ситуаций $Q\Delta_2$ и $Q\Delta_3$

$$K_o + \frac{\pi}{2} = K_2 + \arcsin[\rho \sin \frac{5\pi}{6}] + \arcsin[\rho^{-1} \rho \sin \frac{5\pi}{6}],$$

откуда получим:

$$\Delta K_2 = \frac{\pi}{3} - \arcsin(\frac{1}{2}\rho).$$

В случае $\Delta K > \Delta K_2$ граница курса судна ΔK_{y2} , которая разделяет области $\Omega_{\Delta st1}$ и $\Omega_{\Delta st}$ с формами траекторий Δ_{tst1} и Δ_{tst} , определяется равенством $K_{oty2} = K_{otb}$ и, следовательно, зависимостью:

$$\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)].$$

Граница курса судна ΔK_{y2} , как кривая зависимости курса уклонения K_y от курса выхода K_b , показана на рис. 9 точечной кривой.

Очевидно, что при $K_{oto} = K_{otmin}$, т. е. $K_o = K_{omin} = K_c + \arccos(\rho)$ область $\Omega_{\Delta pr}$ с относительной формой Δ_{tpr} исчезает и появляется новая ситуация $Q\Delta_4 = (\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$, причем граница ΔK_3 , при которой происходит смена ситуаций $Q\Delta_3$ и $Q\Delta_4$, определяется формулой

$$\Delta K_3 = \arccos(\rho).$$

Дальнейший рост разности курсов ΔK судов ведет появлению новых ситуаций $Q\Delta_j$ вплоть до ситуации $Q\Delta_8$, которая при увеличении ΔK и стремлении к 2π обращается опять в начальную ситуацию $Q\Delta_1$.

Полученные результаты подытожим в табл. 1, в которой укажем перечень ситуаций $Q\Delta_j$, возникающих при маневре уклонения судна, изменением курса отворотом вправо. Помимо этого в таблице приведены значения разницы курсов ΔK_i , при которых происходит смена последовательных ситуаций, а также уравнения границ ΔK_{yi} , разделяющих области с разными формами относительных траекторий.

Таблица 1. Отображение F_{em} при форме истинной траектории расхождения δ_{tst}

Ситуация $Q\Delta_j$	Состав ситуации	Выражения для границ ΔK_i и ΔK_{yi}
$Q\Delta_1$	(Δ_{tpr})	$\Delta K_1 = \frac{\pi}{4} - \arcsin(\rho \frac{\sqrt{2}}{2})$
$Q\Delta_2$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tpr1})$	$\Delta K_2 = \frac{\pi}{3} - \arcsin(\frac{1}{2}\rho)$ $\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_3$	$(\Delta_{tpr}, \Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_3 = \arccos(\rho)$ $\Delta K_{y1} = K_{oto} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_4$	$(\Delta_{tst1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_4 = \frac{3\pi}{4} - \arcsin(0,7071\rho)$ $\Delta K_{y2} = K_{otb} - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_5$	(Δ_{tst})	$\Delta K_5 = \frac{5\pi}{4} + \arcsin(0,71\rho)$

$Q\Delta_6$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst})$	$\Delta K_6 = \frac{4\pi}{3} + \arcsin(0,5\rho)$ $\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$
$Q\Delta_7$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tst}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_7 = 2\pi - \arccos\rho$ $\Delta K_{y3} = K_{oto} - \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{oto} - K_c)]$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$
$Q\Delta_8$	$(\Delta_{tpr1}, \Delta_{tpr})$	$\Delta K_8 = \frac{7\pi}{4} + \arcsin(0,71\rho)$ $\Delta K_{y4} = K_{otb} + \pi + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_{otb} - K_c)]$

На рис. 10 показаны зависимости границ ΔK_i (dKN на рис. 10) от значения отношения скоростей судна и цели ρ , изменяющегося в преде-

лах от 0 до 1, чем произведена декомпозиция плоскости ситуаций $\Delta K \times \rho$ на области неизменных ситуаций $Q\Delta_i$ (QN на рис. 10).

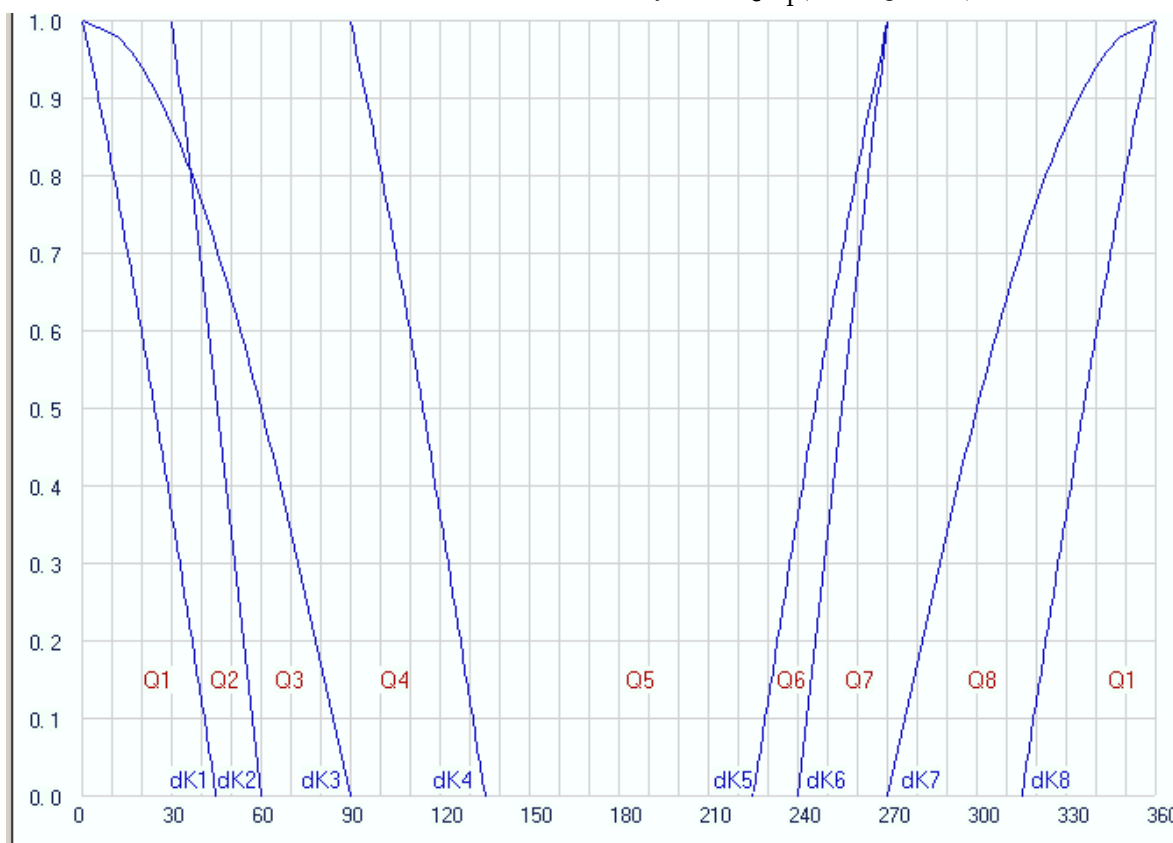


Рис. 10. Декомпозиция плоскости ситуаций $\Delta K \times \rho$ для формы δ_{tst}

Выводы и предложения.

1. Показано, что при скорости судна меньшей скорости цели в общем случае двум формам истинной траектории расхождения соответствует четыре формы относительной траектории, что вызвано особенностями зависимости относительного курса от истинного курса судна.

2. Исследовано отображение истинной траектории расхождения судна уклонением вправо в множество четырех относительных траекторий различной формы при изменении отношения скорости судна к скорости цели и разницы их курсов. Получены необходимые аналитические зависимости.

3. Представлена графическая интерпретация полученного отображения на плоскости ситуаций

для истинной траектории расхождения судна уклонением вправо.

Список литературы:

1. Lisowski J. The dynamic game models of safe navigation/ Lisowski J. // Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. - 2007. - P. 23 - 30.
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. Lisowski J. Mathematical modeling of a safe ship optimal control process/ Lisowski J. // Polish Journal of Environmental Studies. – 2005. - Vol. 14. – P. 68-75.
4. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. - 2005. - No 3-4, Vol. XVII. – P. 133-147.
5. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. – Gdańsk. – P. 71-78.
6. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
7. Lisowski J. Comparative analysis of safe ship control methods/ Lisowski J. // Proc. of the 11th Int. Conf. on Methods and Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje. – 2005. – P. 149-154.
8. Lisowski J. Intelligent safe ship control methods in collision avoidance/ Lisowski J. // Proc. of European Control Conference. - 2007. – P. 1-6.
9. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015.- 312 с.
10. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпинов. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
11. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов/ Пятаков Э.Н., Омельченко Т.Ю. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23якую70. – С. 77-83.

Linyucheva Olga Vladimirovna

Doctor of technical sciences,

Full Professor of Technology of Electrochemical Plants department

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Gulian Roman Ivanovich

PhD student of Technology of Electrochemical Plants department

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Byk Mikhail Vladimirovich

PhD, Associate Professor of Technology of Electrochemical Plants department

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Migas Sergey Vladimirovich

Student of Technology of Electrochemical Plants department

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Линючева Ольга Владимировна

доктор технических наук,

профессор кафедры технологии электрохимических производств,

Национального технического университета Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”

Гулян Роман Иванович

аспирант кафедры технологии электрохимических производств,

Национального технического университета Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”

Бык Михаил Владимирович

кандидат химических наук,

доцент кафедры технологии электрохимических производств,

Национального технического университета Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”

Мигас Сергей Владимирович

студент кафедры технологии электрохимических производств,

Национального технического университета Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”

**ELECTROCHEMICAL ALUMINUM ALLOY OXIDATION IN CHROMIC ACID SOLUTION
ОКСИДИРОВАНИЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ В РАСТВОРАХ ХРОМОВОЙ КИСЛОТЫ**

Summary: The electrochemical oxidation of 1050A aluminum alloy in chromic acid solution was studied. As electrolyte the chromic acid solution 40 g/l was used. It was found that the thin (2-3 μm) nonporous anode aluminum oxide formed at 50 V. The thickness, porosity and plasticity of obtained aluminum oxide were investigated. By SEM investigations it was proved that there are no pores formed in investigated electrolyte.

Key words: 1050A aluminum alloy, alumina oxide film, electrochemical oxidation, chromic acid electrolyte, porosity, plasticity.

Аннотация: Исследовано электрохимическое оксидирование сплава АД0 в растворе хромовой кислоты. В качестве электролита использован раствор CrO_3 концентрацией 40 г/л. Установлено что при напряжении 50 В формируются тонкие (2-3 мкм) беспористые пленки оксида алюминия. Исследованы толщина, пористость и пластичность полученных пленок. Исследование полученных образцов с помощью электронного микроскопа подтвердили данные о беспористости полученного оксидного слоя, полученные химическим способом.

Ключевые слова: сплав АД 0, пленка оксида алюминия, электрохимическое окисление, хромовокислый электролит, пористость, пластичность.

1. Introduction

Chromic acid anodizing, or CAA, was the first commercial anodizing process patented in 1923 by Bengough and Stuart, followed closely by the first sulfuric acid anodizing (SAA) process patented in 1927. While thin, when properly sealed chromic anodize affords the aluminum equal corrosion protection to the thicker sulfuric and hardcoat type anodize. Chromic anodize appears much grayer in color and being thinner absorbs less color when dyed. This limits chromic acid anodize as a decorative finish, however, it can be dyed black for use as a non-reflective, protective coating on housings for optical components. Even black dyed chromic anodize is lighter in appearance (grayer), than conventional sulfuric black anodize. In order to get chromic anodize to accept black dye, the temperature of the chromic acid must be raised, therefore, it isn't done every day and must be scheduled accordingly. But due to toxicity of chromic acid it was not widely used. Nevertheless such method of aluminum anodizing has some unique features :

- Good for tight tolerance parts: will not change dimensions;
- Can be black dyed - other colors not practical;
- Good for Bonding;
- Non-Conductive;
- Good for welded parts and assemblies.

The application of such anodizing film are:

- Precision Machined Components;
- Aerospace Components;
- Welded components and assemblies;
- As a paint/prime base;
- When chromic acid left in crevices of riveted joints the corrosion risk is less then for sulfuric acid anodizing.

In one of the first reviews devoted to anodizing in chromic acid [1] the different concentration of chromic acid was investigated. It was shown that a chromic acid concentration influenced on a velocity of anodic oxide formation and corrosion properties of formed oxide. At chromic acid concentration over $50 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ the time of oxide formation shortened and corrosion properties are better then for $30 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ of chromic acid and special voltage regime applying. The oxide film is softer and less porous than those formed by the other processes,

and is formed without any significant fatigue loss of the material. The film is easily damaged and the color is light opaque gray. When this film is sealed in a dichromate seal a greenish color appear.

The comparison of electrolyte composition influence on growth kinetic of alumina oxide film was studied in [2]. Chromic acid solution produces a typical barrier oxide growth at all temperatures.

The process is voltage controlled with a ramping in the beginning of the process increasing up to 40V depending on the type specified. Two types are specified in the military specification MIL-A-8625F, Type I and Type IB, whereas the first is conventional coatings produced by a voltage of around 40 V and Type IB uses a voltage of 20 to 22 V.

The main use of chromic acid anodizing is due to the fact that residues from the chromic acid trapped in parts that are difficult to rinse does not lead to corrosion. Another important feature is the fact that Type I coatings keep the aluminum materials fatigue strength and the very thin layer makes a minimal dimensional change.

The specifications for the performance of the coatings are little different than for hard anodizing but the same procedures should be used. The difference is the weight of the formed coating which should be min 200 mg/sq.ft.

The toxicity of hot chromic acid solution is result of lack literature data about such process. But some abovementioned unique features of obtained alumina oxide films overbalance this drawback, especially when talk about military or aircraft standards.

The aim of present investigation was obtaining the anodic oxide layer on 1050A aluminum alloy welded heat tubes as a prime base for epoxide primer and investigate the properties of obtained coating.

2. Experimental

The commercially available 1050A aluminum alloy was used as a substrate for aluminum oxide obtaining. The aluminum 1050A alloy sheet with thickness of 1 mm was cut to specimens of $25 \times 200 \text{ mm}$ and used for all tests. Prior to oxidation, the specimens were degreased in solution ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$) of $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 50$, $\text{Na}_3\text{PO}_4 - 50$, at $60 \pm 5^\circ\text{C}$ 1 min. After rinsing it was etched in 5% wt. NaOH 1 min. Also assembled (welded) heat tube was used as a specimen for anodizing process.

After that all specimens were anodized in 40 g • dm⁻³ chromic acid. The polypropylene cell with heater for constant temperature was used. The constant temperature 40 °C was used for all experiments. As cathode material aluminum foil Aluminium1100 was used. The special anodizing regime according to MIL-A-8625F was used. At first 30 min of anodizing process the voltage rise up to 40V and then it was rise to 50 V and anodizing process proceed 30 min. The porosity of obtained specimens was estimated by immersion into solution containing (g • dm⁻³): CH₃COOH - 60, CuSO₄ • H₂O - 5, ZnCl₂ • 7H₂O - 15. After 10 min the specimens were removed and investigated for copper crystals which formed when test solution reaches bare aluminum surface through pores.

The thickness of formed oxide layer was measured by direct micrometer and SEM measurement of cross

section. As indirect measurement the weight method was used.

Morphology of obtained alumina oxide was investigated by REM-110 scanning electronic microscope equipped by EDX detector.

3. Results and discussions

After anodizing process all specimens were rinsed by deionized water and dried by hot air gun.

Thickness measurements

The direct measurement of thickness by micrometer give the average value of 2,5 μm. The SEM images of specimens cross section give the value of 2,22 μm. (Fig. 1).

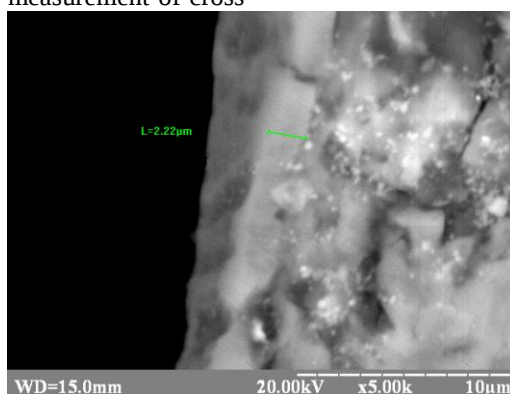


Fig. 1 SEM image of anodized aluminum specimen cross section.

The indirect methods of thickness measurements was done by measurement of specimens weight loss at anodizing process. The average thickness can be calculated by formula:

$$\delta = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 10000}{S \cdot \rho},$$

where m_1 and m_2 – specimen weight before and after anodizing, g;

S – specimen area, cm²;

ρ – oxide layer density, g/cm³.

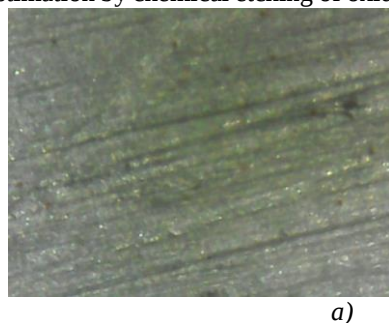
Calculated value at oxide layer density of 2,40 g/sm³ was 2,43 μm. The same procedure was used for thickness estimation by chemical etching of oxide layer

in solution of 35 ml • dm⁻³ of 85% wt. H₃PO₄ + 20 g • dm⁻³ CrO₃. The solution temperature was 95 °C and process duration 20 min. At such condition proposed solution doesn't etch pure aluminum but only oxide layer [3]. The average oxide film thickness obtained by such method was 2,64 μm.

According to the military specification MIL-A-8625F, Type I the weight of obtained coating must be greater than 200 mg/sq.ft. The weight measurements gives the value 500 mg/sq.ft.

Porosity measurements

The results of porosity measurements presented in Fig. 2.



a)



b)

Fig. 2 The surface of anodized a) and non anodized b) specimens after 10 min in test solution (× 1000).

There are no visible copper crystal on anodized specimen which confirm non porous oxide film formation. The SEM images of oxide surface revealed small (≈ 1 μm) not through self healed pores.

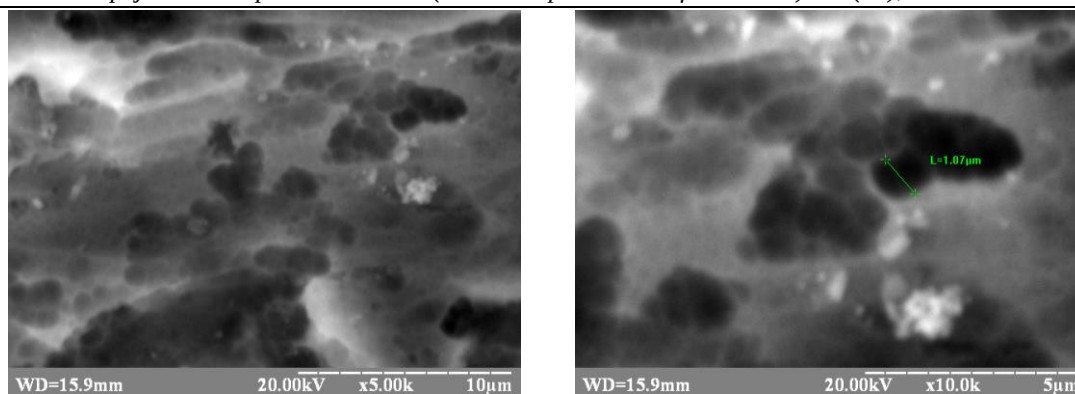


Fig. 3 SEM images of obtained oxide layer.

EDX analysis shows that on the surface and on cross section there are no traces of chromium were found, only pure aluminum oxide. That fact additionally confirmed the uniformity of obtained oxide layer.

Plasticity test

Plasticity of obtained oxide coating was estimated by bent test. The specimen was bents under 90° and analyzed at magnification of $\times 1000$. The results presented on Fig. 4.

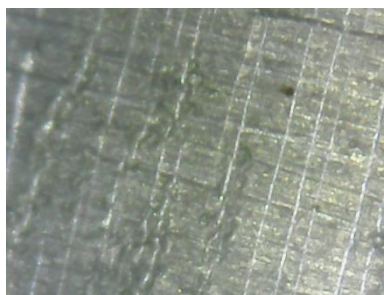


Fig. 4 Image of specimens bents under 90° ($\times 1000$).

There was no coating exfoliation observed. Which confirm good plasticity and adhesion of obtained oxide layer.

On base of obtained results the investigated process was used for heat transfer tube anodizing as a base for epoxide primer coating. Due to an epoxide primer customer recommendation the time after anodizing process and primer applying must not exceed 8 hr the anodizing process and primer applying was made the same day.

4. Conclusions

The process of 1050A aluminum alloy anodizing in chromic acid was investigated and properties of formed oxide layer studied. The average thickness of formed layer measured by different method give the value 2,22-2,64 μm . The obtained oxide film are non

porous with good plasticity and adhesion strength. So it was used as a base for epoxide primer coating.

References

1. Robert W. Buzzard ANODIZING OF ALUMINUM ALLOYS IN CHROMIC ACID SOLUTIONS OF DIFFERENT CONCENTRATIONS // Part of Journal of Research of the National Bureau of Standards, Volume 18, March 1937 P. 251-257.
2. S. S. Abdel Rehim, H. H. Hassan and M. A. Amin Galvanostatic anodization of pure Al in some aqueous acid solutions Part I: Growth kinetics, composition and morphological structure of porous and barrier-type anodic alumina films // Journal of Applied Electrochemistry 32: 1257–1264, 2002.
3. Averjanov E. E. Spravochnik po anodirovaniyu. M. – Mashinostroenie. – 1988. 224 P. (Russian).

Glazkov Yu. E.

candidate of technical Sciences, head of Department
"Exploitation of automobile transport and car"
Tambov state technical University

Dorovskikh D. V.

candidate of technical Sciences, associate Professor
"Exploitation of automobile transport and car"
Tambov state technical University

Глазков Юрий Евгеньевич

кандидат технических наук, заведующий кафедры
«Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»
Тамбовский государственный технический университет

Доровских Дмитрий Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»
Тамбовский государственный технический университет

IMPROVEMENT OF REPAIR OF FRAME CONSTRUCTION OF AUTOMOBILE TRANSPORT СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Summary: the Problem of reliability of frame structures relevant to all modes of transport. The leading factors influencing the durability is damage to the frame cracked and corroded. The result of the underestimation of the leading factors and processes of deterioration is unsustainable technological operations of manufacture, maintenance and repair of frame structures of automotive vehicles. To increase the level of design of repair processes necessary to develop improved methods of calculation, taking into account the actual operating conditions, manufacturing techniques, conversion or previous structural repair.

Key words: road transport, operation, frame, fatigue failure, repair, calculation methods.

Аннотация: Проблема надежности рамных конструкций актуальна для всех видов транспорта. Ведущими факторами влияния на долговечность являются повреждения рамы трещинами и коррозией. Результатом недооценки ведущих факторов и процессов разрушения служит использование нерациональных технологических операций изготовления, технического обслуживания и ремонта рамных конструкций автомобильного транспорта. Для повышения уровня проектирования процессов ремонта необходима разработка более совершенных методов расчета, учитывающих реальные условия эксплуатации, технологию изготовления, переоборудования или предыдущего ремонта конструкций.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, эксплуатация, рама, усталостное разрушение, ремонт, методы расчета.

Эксплуатация автомобильного транспорта постоянно сочетается с необходимостью противодействия влиянию как прогнозируемых так и не прогнозируемых нагрузок. При этом часто нагрузки и соответствующие внутренние напряжения концентрируются на локальных участках, которые характерны именно для этих условий эксплуатации, схем агрегатирования и тому подобное. Поэтому нередко на таких участках имеют место повреждения в виде микротрещин, деформаций и разрушений. Опыт ремонта или усиления таких участков рамных конструкций средств транспорта выявил следующие проблемы:

- неопределенность расположения участков, требующих более тщательного диагностирования при техническом осмотре средств транспорта;

- недолговечность участков конструкций рам, восстановленных по известным технологиями сварки;

- возникновение новых трещин и коррозионных повреждений, как правило, на небольшом расстоянии от отремонтированного участка, выполненных средствами сварки;

- недостаточность конкретных рекомендаций и технологий выполнения работ по усилению или ремонту поврежденных участков рам средств транспорта с учетом конструктивных особенностей и условий эксплуатации.

Проблема надежности рамных конструкций актуальна для всех видов транспорта. В России эта проблема особенно остра: грузовые автомобили, спецтехника и сельскохозяйственные машины работают в тяжелых рельефных и климатических условиях, на жестких подвесках, их основные элементы, воспринимающие нагрузки, преимущественно изготавливаются из стали.

В большинстве конструкций средств транспорта, рама – базовая сборная единица, которая вносит до 40% вклада металлоемкости всего автомобиля и значительно влияет на ресурс его работы. Ведущими факторами влияния на долговечность являются повреждения рамы трещинами и коррозией. Результатом недооценки ведущих факторов и процессов разрушения служит использование нерациональных технологических операций изготовления, технического обслуживания и ремонта рамных

конструкций автомобильного транспорта. Для повышения уровня проектирования процессов ремонта необходима разработка более совершенных методов расчета, учитывающих реальные условия эксплуатации и технологию изготовления, переоборудования или предыдущего ремонта конструкций. Особенно это касается рам, изготовленных или отремонтированных с использованием процессов сварки, которая вызывает изменения структуры и физико-механических свойств материала деталей. Эти изменения до сих пор мало учитываются при разработке технологических процессов ремонта автомобильного транспорта вследствие недостаточной изученности этих вопросов, часто приводят к непредсказуемым поломкам.

Вследствие действия в процессе эксплуатации средств транспорта статических и динамических нагрузок на рамы, возникают трещины и другие повреждения на определенных локальных участках. Кроме того, не исключено повреждение рам автомобильного транспорта в результате аварий и других экстремальных воздействий. Эти участки рам требуют ремонта, который преимущественно выполняется путем установки дополнительных элементов усиления приваркой или вырезанием поврежденных и ввариванием новых на их место.

Проблемой ремонта опасных зон рамных конструкций путем установки элементов усиления, а также восстановление таких зон с зародившимися трещинами, есть опасность повреждения основного металла за счет негативных процессов, которые могут иметь место при сварке, как основного метода ремонта. К таким негативным факторам относят мощные тепловые поля от сварочной дуги, напряжения и деформации, возникающие при этом и тому подобное. Мощные тепловые поля могут вызывать в зоне термического влияния перераспределение химических элементов и рекристаллизацию материала рамной конструкции.

Традиционно анализ прочности и жесткости рам грузовых автомобилей основывался на методах сопротивления материалов и строительной механики стержневых систем. Самым простым подходом к определению напряженно-деформированного состояния (НДС) рам является расчет рамы как статически неопределенной балочной конструкции [1, 2].

Использование этого метода позволяет весьма приближенно определить только интегральные характеристики жесткости, а также параметры общего напряженного состояния рам при изгибе. При кручении балочные модели применимы только для достаточно жестких на кручение рам, имеющих лонжероны и поперечины закрытого сечения. Для приближенной оценки параметров НДС рамы, работающей на кручение (которыми являются рамы большинства современных дорожных грузовых автомобилей с открытым сечением лонжеронов и поперечин), можно воспользоваться методом В. З. Власова [3], который учитывает влияние эффекта сжатого кручения на напряженно-деформированное состояние рамы. В подобных рамах крутильная жесткость обеспечивается преимущественно за

счет действия нормальных напряжений, возникающих в результате сжатия в «узлах» рамы, то есть местах соединения лонжеронов с поперечиной. Более современная методика расчета рам, основанная на подходе В. З. Власова, позволила с достаточной точностью анализировать НДС только плоских рам, все элементы которых имеют одинаковую высоту. Кроме того, при вычислениях по этому методу возникают определенные сложности, связанные с высокой степенью статической неопределенности расчетной модели. В качестве дополнительной статически неопределенной величины выступает бимомент в узлах рамы. В работе [4] указанный метод характеризуется как метод расчета рам с контуром поперечного сечения. Во второй половине 20-го века нашли применение алгоритмы расчета рам с предположением, что контур поперечного сечения является жестким, что позволило существенно уменьшить степень статической неопределенности модели рамы и охватить более широкий спектр вариантов конструкции. При этом в качестве критерия «жесткости» или «недеформируемости» контура выдвигалось отсутствие деформаций изгиба в поперечинах рамы и наличие достаточно большого количества поперечин (расстояние между поперечинами не должно быть больше, чем 10-кратная высота лонжерона). Все перечисленные подходы при исследовании кручения рам позволяли приближенно определить только интегральные характеристики жесткости. Иными словами, балочные и стержневые расчетные модели и методы, независимо от используемых гипотез, позволяли исследовать НДС рамы только в конструктивно однородных зонах, вдали от мест соединений лонжеронов и поперечин рам – «узлов», где они практически не давали корректных результатов. Однако, указанные подходы интенсивно развивались разными учеными и исследователями.

В дальнейшем, с появлением метода конечных элементов (МКЭ) и внедрением его в расчетную практику наряду с использованием ЭВМ, стали появляться модели, значительно усовершенствовавшие классические.

Так, Ю.Н. Апанович [5] использовал для расчета рам грузовых автомобилей стержневые модели, учитывающие эксцентриситет в соединениях элементов, а также переменную жесткость элементов рам.

Смешанные модели для расчета автомобильных рам активно развивал Н. J. Beermann [6], который представлял поперечины и участки лонжеронов рам между «узлами» как тонкостенные стержни, а «узлы» рам моделировал с помощью МКЭ в варианте метода сил. Исследовалось влияние податливости узлов на крутильные жесткость и напряженное состояние рам грузовых автомобилей с лонжеронами и поперечинами открытого сечения. В последнее время широкое применение нашли оболочковые модели. Моделирование узлов рамы МКЭ с использованием оболочечной модели позволило не только более точно определить жесткость рамы на кручение, но и вычислить напряжение в узлах рамы. Комбинированные методы оказались

весьма удобными для исследования различных вариантов конструктивного исполнения узлов рамы. В [7] учитывалось влияние кузова грузового автомобиля на жесткость несущей системы при кручении, особенно для случаев податливых рам. Показано влияние поперечины замкнутого сечения, а также способа ее крепления на крутильную жесткость рамы. Для лонжеронов открытого сечения (двутавр) и поперечин закрытого сечения, доминирующими видами деформаций являются изгиб лонжеронов и кручение поперечин.

Н. Oelschläger [Там же] исследовал рамы грузовых автомобилей с открытым профилем лонжеронов и поперечин с использованием смешанного метода. С использованием МКЭ (метод сил) исследовались различные способы соединения лонжеронов и поперечин рамы и влияние податливости «узлов» на напряженное состояние лонжеронов и поперечин. Было показано, что размер зон, которые необходимо моделировать по уточненным методами, практически совпадает с размерами «узлов» рамы. В работе предложен способ учета отверстий в поперечинах рамы, предназначенных для облегчения конструкции, при расчете рамы на кручение. Податливость поперечины с отверстиями определялась по МКЭ, как и податливость «узлов» рамы, а дальше использовался смешанный метод. Показано, что указанные отверстия, хотя и повышают общий уровень напряжений в поперечине, не являются существенными концентраторами напряжений. Влияние отверстий на общую жесткость рамы также незначительно.

А. И. Голованов, В. В. Нехотяев [8] на основании результатов экспериментов показали, что характер деформирования элементов рамы большегрузного автомобиля соответствует, в основном, алгоритму на основе тонкостенных стержней В. З. Власова. Для анализа общего НДС рам автомобилей они также использовали смешанные модели. Моделирование «узлов» рамы осуществлялось по результатам расчетно-экспериментальных исследований рамы, а для лонжеронов и поперечин использовалась модель тонкостенного стержня.

Значительный вклад в изучение рамных автомобильных конструкций внесли расчетные и экспериментальные исследования, проводившиеся В. Н. Белокуровым и А. А. Захаровым. Кроме того, они исследовали влияние надстройки автомобиля (в частности, самосвальной платформы и надрамника) на интегральную жесткость несущей системы.

Развитие смешанных методов исследования рамных конструкций объясняется в первую очередь их экономичностью. Использование более точных (оболочечных) моделей для расчета рам в 1980-е годы было возможно только в крупных исследовательских центрах, которые имели доступ к значительным вычислительным ресурсам. В то же время, практические конструкторы и проектировщики таких ресурсов не имели.

При экономичности смешанных методов им присущи два существенных недостатка. Во-первых, как отмечалось выше, они не позволяли исследовать локальный НДС рамы в зонах конструктивной неоднородности (в первую очередь, в узлах рамы), которые являются наиболее нагруженными зонами рамы. Во-вторых, использование смешанных методов требует высокой квалификации проектировщика, не только как инженера, но и как механика и математика.

Дальнейшее развитие методов расчета рам связано, с одной стороны, со стремительным ростом вычислительных возможностей ЭВМ, в том числе и персональных, и с другой стороны, с развитием и внедрением в расчетную практику численных методов расчета (в первую очередь, метода конечных элементов, который позволяет исследовать характеристики жесткости и прочности достаточно сложных конструкций), а также методов вычислительной геометрии и трехмерного моделирования.

Одним из первых математиков, которые применили МКЭ, был Рихард Курант. В 1943 году он опубликовал приближенный метод решения задачи кручения Сен-Венана, используя линейную аппроксимацию функции напряжений внутри каждого из совокупности треугольных элементов [9].

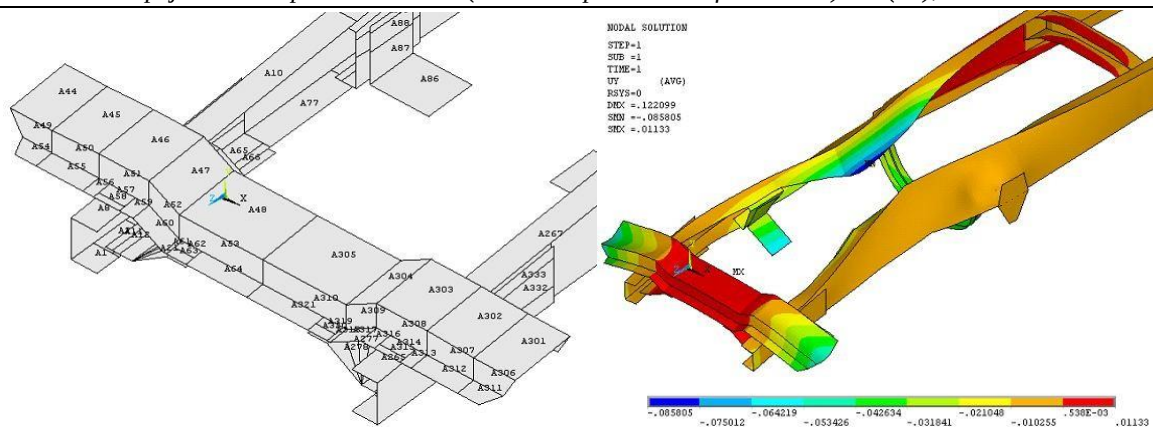
В настоящее время опубликовано значительное количество работ, связанных с развитием и использованием МКЭ. С основами метода и его технических приложений можно ознакомиться в книгах О. Зенкевича [10], Р. Галлагера [11], Л. Сегерлинда [12] и др. Вариационные принципы, на которых основывается большинство формулировок МКЭ, подробно изложены в книге К. Васидзу [13].

Моделирование рамы автомобиля, как тонкостенной оболочечной конструкции, является следствием внедрения МКЭ в расчетную практику. Однако, задача анализа оболочечных конструкций является одним из наиболее сложных классов задач механики деформирования и МКЭ. Высокая алгоритмизация, формализация и относительная простота расчетов тонкостенных оболочечных конструкций не избавляет от сложности получения достоверных результатов.

В настоящее время значительное развитие фундаментальных вопросов МКЭ и рост вычислительных возможностей ЭВМ привели к появлению коммерческих программных комплексов, реализующих МКЭ. При этом, возможности современных ЭВМ, даже персонального класса, позволяют решать задачи очень большой размерности (более 500 тыс. неизвестных).

Один из таких комплексов использован А. Ф. Дашенко [14] для оценки НДС автомобиля КамАЗ-5410.

Указанный комплекс он использовал для определения распределения напряжений, возникающих в отдельных элементах конструкции и деформаций рамы автомобиля, от нагрузок и схемы их приложения (рисунок 1).



а) набор составляющих плоскостей; б) изополя перемещений в поперечном направлении
Рисунок 1 - Фрагмент модели рамы автомобиля КамАЗ-5410

Однако, полученные результаты по перемещениям компонентов рамы от максимальной загрузки, которые составили 0,085 - 0,09 мм, ставят под сомнение корректность модели. Причиной могло стать то, что вся конструкция рамы смоделирована как набор составляющих плоскостей, изготовленных из листовой стали (рисунок 1 а), а все округления элементов не учитывались.

Таким образом, МКЭ становится инструментом не только ученого-исследователя, но и конструктора - практика. Однако, у последнего часто создается иллюзия тривиальности получения корректных результатов в силу высокой степени формализации и автоматизации, а также кажущейся простоты процесса подготовки исходной информации коммерческих программных комплексов. На самом деле, методические ошибки, допущенные на стадии подготовки модели и, особенно, при задании силовых и кинематических граничных условий, могут привести к результатам, противоречащим не только реальным параметрам исследуемого объекта, но и здравому смыслу.

Отсутствие или очень ограниченное количество методических разработок по вопросу исследо-

вания НДС реальных сложных конструкций способствует росту числа подобных ошибок. Таким образом, весьма актуальным становится исследование методических аспектов использования МКЭ для анализа сложных конструкций, каковыми являются рамы автотранспортных средств.

В настоящее время интенсивно разрабатывается вопрос оптимизации рам путем уменьшения их массы за счет уменьшения толщины материалов, используемых для их изготовления, и оценке НДС рам во время эксплуатации.

Так в работе [Там же] проведена оценка рам полуприцепов, предназначенных для перевозки цистерн с использованием программ анализа. Авторы обосновали возможность уменьшения металлоемкости рамы полуприцепа на 27,2% за счет толщины продольных и поперечных балок. Однако, в этих исследованиях авторы учитывали только статические нагрузки, что не совсем корректно по отношению к автомобильному транспорту.

Мировой опыт эксплуатации показывает, что такие ослабления рам неизбежно приводят к их изгибам при эксплуатации (рисунок2).



Рисунок 2 - Изгиб рамы

По нашему мнению, на данном этапе развития машиностроения уменьшение металлоемкости конструкций возможно путем использования более стойких и качественных материалов. Другой более прогрессивный способ повышения или восстановления (после поломки) эксплуатационных характеристик возможен за счет изменения профилей (сечений) основных несущих элементов рам,

как на этапе производства, так и в процессе эксплуатации.

Исследование процессов разрушения, ремонта и усиления рамных конструкций транспортной техники нашли свое отражение в широкой серии научных трудов ученых: Л. А. Розина, В. Б. Проскуракова, П. П. Лукина, В. Л. Колмогорова, Г. В. Пачурина.

Рама автомобиля во время эксплуатации, с одной стороны, подвергается воздействию высоких, непрерывных и разнонаправленных динамических нагрузок, передаваемых от тягово-сцепного устройства, с другой - нагрузок от неровностей дороги, передаваемых от колесной группы. Эти процессы нередко происходят в химически агрессивной среде под весом, часто неравномерно расположенного груза. Многочисленные конструкторские разработки имеют целью соблюдения необходимого баланса между низким весом и высокой прочностью, а также гибкостью и жесткостью. Очень гибкая рама подвержена лишним изгибам всей конструкции и поломкам, очень жесткая рама наоборот - к более интенсивному разрушению ее элементов и подвески. Конструкторские поиски в разработке рам полуприцепов направлены на максимально возможное уменьшение себестоимости материалов и технологий их изготовления. Наиболее сложные и опасные поломки полуприцепов связаны с повреждениями несущей части.

Для металлоконструкций различного назначения не удастся обеспечить равномерность нагрузок на все участки. Эксплуатационные нагрузки вызывают протекание в материалах процессов деградации и разрушения. Отдельно нужно обратить внимание на то, что различные участки противодействуют также и различным видам деформации - изгиба или кручения и их сочетанию. Следствием этого является разная скорость истощения ресурса и появления разрушений. При этом, разрушенным оказывается небольшой процент конструкции, а остальные имеют еще значительный запас долговечности. Актуальной задачей является выявление участков конструкции с наименьшим ресурсом уже на этапе проектирования и усиления их, а в процессе эксплуатации восстановления работоспособности путем установления усилительных элементов или замены отдельных деталей. Наиболее пригодными для выполнения этих задач, как показала практика, является сварка и родственные технологии.

Процесс, предшествующий разрушению, происходит медленно, но скорость развития повреждений прогрессивно растет. Долговечность детали с трещинами в среднем может составлять от 10 до 80% общей долговечности. Поломка детали происходит внезапно, при достаточно малых остаточных деформациях, что делает очень опасным разрушение.

В современной механике твердого тела существует много формул определения скорости распространения усталостной трещины в металлах и сплавах в зависимости от условий нагрузки, воздействия внешней среды и тому подобное. Но, как показывает практика, проблема разрушения конструктивных материалов настолько сложна, что не всегда возможно формальное использование математических расчетных методов, основанных на теории упругости и сопротивления материалов. Это касается проведения ремонтных сварочных работ, приводящих к изменению структуры металла в зоне

швов, которые влияют на величину и знак внутренних напряжений в сплаве, меняют показатели прочности.

На основании многочисленных исследований установлено, что процессы усталостного разрушения протекают по разным механизмам в зависимости от природы материала, вида укрепления, условий нагрузок, и обусловлены образованием дефектов и повреждений в локальных объемах материала.

Важную роль в развитии усталостных разрушений металлоконструкций играет среда и коррозионные свойства металлов и сплавов, из которых изготовлены металлоконструкции. Начальная локализация процесса усталостного разрушения вызвана существованием на поверхности металлов неоднородностей или включений, что приводит к образованию локальных коррозионно активных участков. Следствием этого является зарождение коррозионно-механических язв, которые следует рассматривать как потенциальные концентраторы напряжений. Решающая роль в этом начальном этапе коррозионного разрушения отводится электрохимическим процессам, которые активируются механическими напряжениями.

Второй этап разрушения материала характеризуется образованием от уже существующих первых трещиноподобных дефектов, так называемых физически коротких трещин - трещин, длина которых практически не превышает расстояния между главными микроструктурными барьерами. На этом этапе процесса усталостного разрушения возрастает роль механического фактора. Дальнейший ход процесса коррозионно-механического разрушения приводит к развитию и слиянию микротрещин. После этого формируются магистральные трещины, которые развиваются преимущественно в глубь материала. Достижения ими критических размеров приводит к катастрофическому разрушению элемента конструкции.

Следует заметить, что для конкретного конструктивного элемента в зависимости от его геометрических размеров и условий эксплуатации присущи свои лимитирующие стадии процесса усталостного разрушения.

Под влиянием большого количества циклов переменной нагрузки в наиболее нагруженном или ослабленном месте металла зарождается и развивается трещина и образуется участок усталостного разрушения. При нагрузке металл детали более подвержен различным концентраторам: дефекты на поверхности, подрезы (например, на сварочных швах), участки коррозии. Процессы усталостных повреждений преимущественно начинаются с поверхностного слоя.

Исследованию усталостных трещин в рамных конструкциях средств транспорта посвящено много работ известных ученых: В. С. Гурмана, В. Е. Титаренко и других. Ими доказана связь разрушения с видом эксплуатационных нагрузок. Приведенная в работах статистика указывает на усталостные разрушения как лонжеронов, так и поперечин автомобилей отечественного производства. На бортовых

автомобилях и самосвалах установлены усталостные разрушения только лонжеронов. При кручении лонжеронов разрушаются поперечины рам, а разрушение лонжеронов вызывается изгибающими циклическими нагрузками.

На основе многих сравнений и сопоставлений установлено, что общими причинами, основными факторами влияния на развитие трещин являются процессы колебательной динамики (чаще вертикального направления). В связи с этим, предлагается измерять относительные вертикальные перемещения точек рамного контура в процессе эксплуатации транспортного средства для установления вероятностных мест развития усталостных разрушений.

Экспериментальные исследования НДС изгиба и изгиба с кручением проводились на натуральных образцах рам, воспринимающих основные нагрузки, и являются основой экспериментальной установки (рисунок 4).

Установлена преобладающая роль в жесткости рамы «на изгиб» - лонжеронов, а «на кручение» - поперечин (90% нагрузки на изгиб воспринимаются лонжеронами, а около 90% нагрузки на кручение - поперечинами).

В последние годы большое внимание уделяется вопросам разработки конструкций несущих систем автомобилей с позиции минимальной металлоемкости и рационального использования прочностных свойств материала элементов рамы и узлов. Чтобы обеспечить достаточный ресурс металлоконструкций несущей системы автомобиля, в том числе рамы, максимально снизив ее металлоемкость без ущерба для прочности, конструкторы используют расчетные схемы и методы, которые имеют высокую степень детализации и отражают основные особенности эксплуатации несущих конструкций. Для проведения исследований используют экспериментальные методы определения реального напряженного состояния в отдельных точках металлоконструкции рамы.

Работа по анализу и классификации усталостных разрушений рам грузовых автомобилей также выполнялась рядом авторов [15, 16]. Все разрушения элементов рам, которые наблюдались удалось разбить на сравнительно небольшое количество характерных поломок. Изложенные характеристики отдельных групп повреждений деталей рамы автомобилей ЗИЛ-164 составлены на основе исследований, выполненных в ЦНИИСК и ГОСНИТИ.

Наибольший интерес для исследований составляют поперечные трещины продольных лонжеронов, поскольку их последствия могут быть катастрофическими. Установлено, что наиболее вероятной является появление таких трещин в местах, где сосредотачивается действие одновременно поперечных сил и крутящий момент. Это места крепления к раме подвески, поперечин и других агрегатов.

Иногда трещины зарождаются вокруг контура кронштейнов. Влага, которая задерживается в них, вызывает глубокую коррозию стенок и является фактором концентрации напряжений. Подобные концентраторы напряжений становятся началом

развития трещин в местах проведения ремонтных сварочных работ.

Важной задачей остается выявление, защита, обезвреживание и изоляция коррозионно-уязвимых участков, для уменьшения вероятности возникновения трещин на начальных этапах их зарождения.

Список литературы:

1. Биргер И. А. Сопротивление материалов: Учебное пособие / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов – М. : Наука, 1986. – 560 с.
2. Биргер И. А. Прочность, устойчивость, колебания; [В 3 т.]. / Под ред. И. А. Биргера. – М. : Машиностроение, 1968. – Т.1. – 832 с.
3. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. – М.: Физматгиз, 1959. – 200 с.
4. Проскуряков В. Б. Еще один метод расчета автомобильных рам на кручение / В. Б. Проскуряков, Г. Е. Павлова // Автомобильная промышленность. – 1966. – №5. – С.25 – 28.
5. Апанович Ю. Н. Автоматизированный расчет и доводка конструкций автомобильных рам / Ю. Н. Апанович // III Всесоюзное научно-техническое совещание «Динамика и прочность автомобиля» 22 – 25 ноября 1988г.: Тезисы докладов. – М. : Типография НАМИ, 1988. – С.28
6. Beermann H. J. Static analysis of commercial vehicle frames: a hybrid finite element and analytical method / H. J. Beermann // International Journal of Vehicle Design. – 1984. – V.5, №1 – 2. – P.26 – 52.
7. Oelschläger H. Nachgiebige Knoten bei der Torsionsberechnung von Nutzfahrzeugrahmen aus offenen Profilen / H. Oelschläger // Automobiltechnische Zeitschrift. – 1986. – V.86, №3. – P.105 – 108.
8. Голованов А. И. Расчет автомобильных рам с учетом податливости узлов / А. И. Голованов, В. В. Нехотяев // Исследования по теории пластин и оболочек. Казань: Изд-во Казан. Ун-та. - 1989. – вып. 21. – С. 67 – 72.
9. Courant R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations / R. Courant // Bulletin of the American Mathematical Society. – 1943. – V.49, №5. – P.1 – 23.
10. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич – М. : Мир, 1975. – 541 с.
11. Галлагер Р. Метод конечных элементов: Основы. / Р. Галлагер – М.: Мир, 1984. – 428 с.
12. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд – М. : Мир, 1979. – 392 с.
13. Васидзу К. Вариационные принципы в теории упругости и пластичности / К. Васидзу – М. : Мир, 1987. – 560 с.
14. Дашенко А. Ф. Анализ напряженно-деформированного состояния рамы автомобильного полуприцепа в программе ANSYS / А. Ф. Дашенко, Н. Г. Сурьянинов, Д. В. Лазарева // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2005 – № 29. – С.20 – 30.
15. Гурман В. С. Ремонт автомобильных рам. / В. С. Гурман – М.: Транспорт, 1967. – 100
16. Кобрин М. М. Классификация и анализ усталостных разрушений рам грузовых автомобилей, используемых в сельском хозяйстве / М. М. Кобрин – М.: Труды ГОСНИТИ, 1964. – 112 с.

Kulbjakina A.V.

PhD (in technical science)

Associate Professor of the Department of Thermal and Nuclear
Power Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov**Кульбякина А.В.**

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Тепловая и атомная энергетика»

имени А.И. Анндрющенко

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

**THERMODYNAMIC ANALYSIS OF FUEL SYSTEMS EFFICIENCY OF HYDROCARBON
PROCESSING ENTERPRISES
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ
ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

Summary: The total results of thermodynamic analysis of fuel systems of hydrocarbon processing enterprises are given in the article. The effectiveness and prospects of the exergy analysis application of fuel systems are justified. This method allows determining scientifically grounded development trends and optimizing structure and operation mods of fuel system of hydrocarbon processing enterprises.

Key words: energy efficiency, hydrocarbons, exergy, energy resources, thermodynamic performance indicators, energy losses

Аннотация: В статье приведены результаты термодинамического анализа топливных систем предприятий по переработке углеводородного сырья. Обоснована эффективность и перспективность применение метода эксергетического анализа для определения научно обоснованных направлений развития и оптимизации структуры и режимов функционирования топливных систем предприятий переработки углеводородного сырья

Ключевые слова: энергоэффективность, углеводородное сырье, эксергия, энергетические ресурсы, термодинамические показатели эффективности, энергетические потери.

Постановка проблемы

Необходимость повышения энергетической эффективности российского промышленного сектора декларируется на государственном уровне [1, 2]. Особое место среди промышленных предприятий занимают объекты нефтегазового комплекса (НГК). Кроме того что они являются крупными потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на собственные нужды, они представляют собой стратегический сектор экономики РФ за счет которого в значительной степени формируется федеральный бюджет (43% в 2015 г.) и основу всего топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны.

Российские предприятия по переработке углеводородного сырья (ПП УВС), отличаются повышенной энергоемкостью продукции, которая в 2-3 раза превышает мировые показатели. В настоящее время идет бурное развитие и модернизация отрасли, однако, проблема несовременного и отслужившего срок службы основного и вспомогательного оборудования стоит крайне остро, так же как и вопросы энерго- и ресурсосбережения, снижения негативного воздействия на окружающую среду. Значительным потенциалом энерго- и топливосбережения обладают топливные системы ПП УВС, это обусловлено наличием малоиспользуемых или неиспользуемых вовсе вторичных энергетических

ресурсов (ВЭР), в том числе горючих и низкотемпературных ВЭР. Кроме этого значительный эффект могут дать мероприятия направленные на оптимизацию структуры и параметров функционирования топливной системы во взаимосвязи с технологической системой (ТС), энергетическим комплексом (ЭК) и внешними источниками ТЭР.

Оптимизация топливной системы и всего ЭК ПП УВС – сложная научная задача, решение которой возможно только при системном подходе, включающем декомпозицию объекта, установление внутренних и внешних взаимосвязей между системами и подсистемами, термодинамический анализ и др. Эксергетический метод термодинамического анализа один из наиболее объективных методов оценки энергоэффективности объекта и его элементов, а так же эффективности использования ТЭР, который позволяет не только сделать исчерпывающие выводы о настоящем состоянии объекта, но и разработать наиболее перспективные направления его развития и совершенствования.

Анализ последних исследований и публикаций

Эксергетический анализ - актуальный и перспективный инструмент определения направлений повышения эффективности промышленных объектов и выявления наименее эффективных элементов

систем. Он успешно и широко применяется для анализа отдельного энергетического и теплотехнологического оборудования, различных объектов промышленности и энергетики. Однако эксергетический анализ таких сложных и многофункциональных систем, как ПП УВС характеризуется рядом ограничений, мешающих широкому применению этого метода на практике. В первую очередь это специфичность предприятий подобного профиля, тогда как существующие методики эксергетического анализа отличаются недостаточной степенью универсальности. Во-вторых чрезвычайно сложным и недостаточно освещенным является вопрос учет переменных во времени внешних и внутренних влияющих факторов.

Постановка задачи исследования

Одним из наиболее перспективных методов решение проблем повышения эффективности топливной системы ПП УВС и синтеза ее оптимальной структуры с учетом всех внутрипроизводственных и внешних влияющих факторов является термодинамический анализ с определением энергетических потерь и наименее эффективных узлов и аппаратов. Выполненный эксергетический анализ с элементами системного подхода и экономики позволил

определить наиболее перспективные направления повышения энергоэффективности и предложить научно-обоснованные технические решение и оптимальные схемы топливной системы ПП УВС.

Теория

Топливная система ПП УВС имеет тесные взаимосвязи с технологическими процессами основных производств и всеми подсистемами ЭК объекта. В качестве основных потребителей топлива выступают технологические аппараты – печи, испарители, а так же энергетическое оборудование. Для газоперерабатывающих предприятий (ГПП) характерно преимущественное использование природного газа из сети товарной продукции и частично (для передовых предприятий) некондиционных газовых смесей переменного состава. Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) отличаются более сложной структурой потребления топлива, в состав которого входит газообразное топливо (собственной выработки и от внешних источников), жидкое топливо, твердое топливо. Распределение топлива для действующего российского НПЗ по основным процессам пересчитанное в т у.т. приведено в табл. 1.

Таблица 1 Потребление топлива на основных производствах НПЗ в тоннах условного топлива

Производство	Потребление топлива, тонны у.т.			
	Природный газ	Нефтезаводской газ	Жидкое топливо	Кокс
Первичная переработка нефти	15378,9	133902	26957,5	0
Термический крекинг	2635,9	52095	11414,8	0
Каталитический крекинг	1924,2	20245,5	12297,1	12486,9
Каталитический риформинг	3072,9	83724	129438	0
Гидроочистка	66,2	56520	523,3	0
Легкий гидрокрекинг	0	22519,5	142,5	0

В среднем по производствам потребление всех видов топлива распределено аналогично, с преимущественным потреблением нефтезаводского газа собственной выработки (рис. 1).

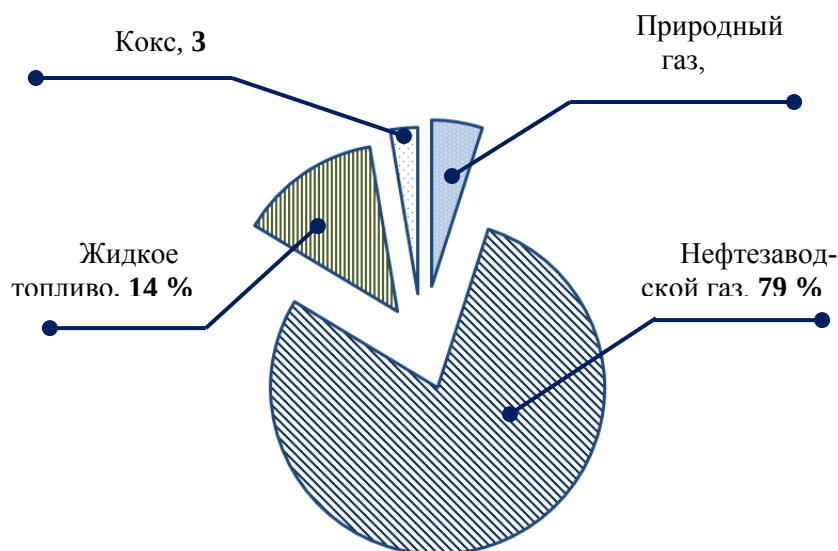


Рис. 1 Среднее распределение разных видов топлива на НПЗ, %

Анализ данных позволяет сделать вывод, что большая часть топливопотребления приходится на углеводородное топливо собственной выработки – нефтезаводской газ, мазут, кокс, оставшаяся часть

компенсируется за счет природного газа, покупаемого со стороны. Топливные системы предприятия обеспечивают подачу топлива потребителям и обладают сложной и многофункциональной структурой (рис.2).

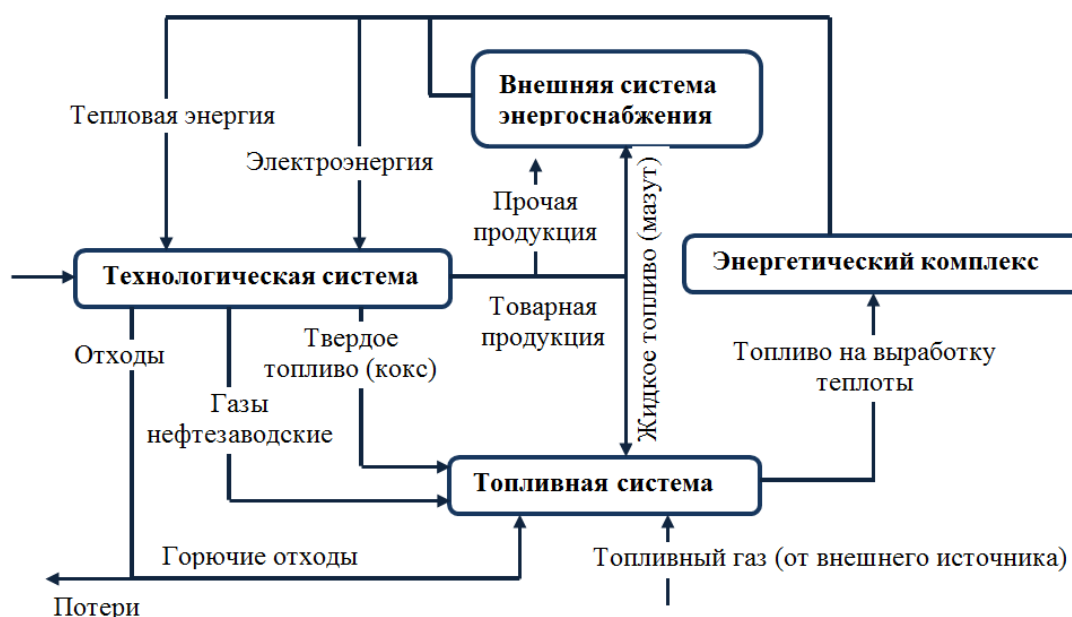


Рис. 2. Схема взаимосвязей топливной системы с другими системами НПЗ и внешним источников энергообеспечения

Топливная система характеризуется наличием технологических потоков, продуктов и полупродуктов связывающих ее со всеми системами предприятия и внешней системой энергообеспечения. Оптимизация топливной системы с повышением ее энергетической эффективности сложная научная задача, для ее решения в качестве одного из инструментов применяют эксергетический метод термодинамического анализа. Такой анализ позволяет судить о степени совершенства протекающих процессов, дает не только количественную, но и качественную оценку используемым на объекте ТЭР от использования первичных энергоресурсов и сырья до стадии использования ВЭР и отходов. С помощью эксергетической оценки определяются энергетические потери и наименее эффективные с точки зрения термодинамики узлы и аппараты.

Термодинамические показатели эффективности ПП УВС обобщены в виде эксергетического КПД (η_{ex}), определяемого для различных элементов ТС и ЭК объекта через сумму эксергий на выходе ($\sum ex_{BIX}$) и входе ($\sum ex_{BX}$), а так же сумму потерь в системе ($\sum ex_{II} = \sum D$) [3]:

$$\eta_{ex} = \sum ex_{BIX} / \sum ex_{BX} = 1 - \frac{\sum ex_{II}}{\sum ex_{BX}}; (1)$$

$$\sum ex_{II} = \sum D = \sum ex_{BX} - \sum ex_{BIX} \geq 0 (2)$$

В элементах ПП УВС, как правило, осуществляются процессы с подводом и отводом электрической (механической) энергии ($\mathcal{E}$), теплоты (Q) и энергии технологического потока (J).

Эксергия потока вещества в общем виде представляется суммой:

$$ex_J = ex_{ПOT} + ex_{КИНЕТ} + ex_{ФИЗ} + ex_{ХИМ}; (3)$$

где $ex_{ПOT}$, $ex_{КИНЕТ}$ - эксергии потенциальной и кинетической энергии вещества, которые в рамках поставленных задач не учитываются;

$ex_{ФИЗ}$, $ex_{ХИМ}$ - физическая и химическая эксергии, соответственно.

Физическая эксергия определяется, как:

$$ex_{ФИЗ} = H - H_0 - T_0 \cdot (s - s_0); (4)$$

где H, H_0 - энтальпия системы и окружающей среды соответственно, T_0 - температура окружающей среды; s, s_0 - удельная энтальпия системы и окружающей среды соответственно.

Эксергию химическую в случае ПП УВС справедливо рассматривать как эксергию топлива. Расчет многокомпонентных топлив, сопряжен со сложностями, обусловленными неизвестной молекулярной структурой. Методики определения концентрационной и реакционной эксергии в этом случае не могут быть применены, для расчета эксергии топлив используют специально разработанные методики [4, с.52], основанные на использовании теплотворной способности топлива, с учетом

его влагосодержания, что справедливо, поскольку эксергия и теплота сгорания топлив являются величинами мало отличающимися друг от друга:

$$ex_{хим.ж} = 0,975Q_p^B; \quad (5)$$

$$ex_{хим.г} = 0,95Q_p^B; \quad (6)$$

$$ex_{хим.т} = Q_p^B \cdot (1 - d_T), \quad (7)$$

где $ex_{хим.ж}$, $ex_{хим.г}$, $ex_{хим.т}$ - эксергия химическая жидкого, газообразного и твердого топлива соответственно.

Многолетняя практика расчетов, также показывает, что эксергия топлив оказывается довольно близкой к их нижней рабочей теплоте сгорания Q_p^H , отличаясь на постоянную величину в интервале 2-3 %. С достаточной высокой точностью можно принять [5]:

$$ex_{хим.топ} = Q_p^H \quad (8)$$

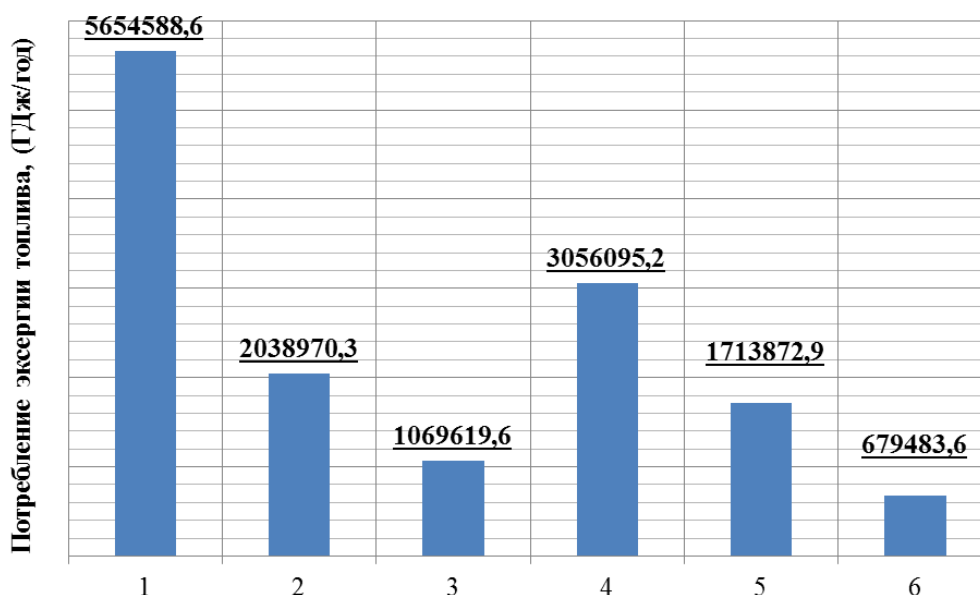
Расчеты эксергии топлива двумя способами дают сопоставляемые результаты с незначительными расхождениями.

Потери эксергии $\sum D$ делятся на две группы:

- внутренние D_i , связанные с необратимостью процессов, протекающих внутри элемента или системы;

- внешние D_e , связанные с условиями взаимодействия элементов и систем ПП УВС с окружающей средой и внешними источниками и приемниками энергии и рабочего вещества (при химических превращениях).

В ходе эксергетического анализа топливной системы ПП УВС, была рассчитана эксергия потребляемого топлива по основным производствам (рис. 3), входящим в состав объекта исследования - (5) - (8).



1 – Первичная переработка; 2 – термический крекинг; 3 – каталитический крекинг; 4 – каталитический риформинг; 5 гидроочистка; 6 – легкий гидрокрекинг.

Рис. 3. Потребление эксергии топлива основными производствами НПЗ

Наибольшее потребление эксергии топлива характерно для установок первичной переработки сырья, что связано с их большой производительностью и самыми высокими показателями потребления топлива. В свою очередь, наибольшими

показателями удельного потребления эксергии топлива отличаются процессы вторичной углубленной переработки сырья (табл. 2)

Таблица 2 – Удельное потребление эксергии топлива основными производствами НПЗ, %

Производство	Производительность, тыс. тонн	Удельное потребление эксергии топлива, %
Первичная переработка	6426,5	9,2
Термический крекинг	1141	18,7
Каталитический крекинг	624,5	17,9
Каталитический риформинг	938,1	34,0
Гидроочистка	2035,5	8,8
Легкий гидрокрекинг	622,3	11,4

Анализ данных позволяет сделать вывод о неравномерности потребления эксергии топлива ос-

новными производствами ПП УВС и о значительном расхождении в показателях абсолютного и удельного потребления эксергии топлива.

Эксергетический баланс ПП УВС с потреблением тепловой и электрической энергией, частично топливной компоненты от внешних источников имеет вид:

$$ex_J + ex_Q + ex_L + ex_F + ex_W = ex_R + ex_C + ex_D + \sum D, (9)$$

где ex_J , ex_Q , ex_L , ex_F , ex_W , ex_R , ex_C , ex_D - эксергия сырья, тепловой и электрической энергии, топлива, воды, продукции, стоков, отходов;

$\sum D$ - потери эксергии материальных и энергетических потоков.

Оптимизация топливной системы ЭК ПП УВС по критерию термодинамических потерь состоит в минимизации суммы $(ex_C + ex_D + \sum D) \rightarrow \min$.

Важно отметить, что оптимальный вариант соответствует не только минимуму потерь $ex_D + \sum D$

и отходов ex_C , но и минимальному потреблению ТЭР от сторонних источников, в том числе сокращению потребления топлива (собственной выработки и стороннего):

$$(ex_Q + ex_L + ex_F + \sum D) \rightarrow \min.$$

В соответствии с проведенным термодинамическим анализом основных производств ПП УВС, установлено, что значительным потенциалом в области энергосбережения обладают установки первичной подготовки и переработки УВС. Объекты первичной подготовки и переработки УВС используется не только непосредственно на ПП УВС, но и на объектах промысла. В качестве актуального и перспективного направления развития для таких объектов по результатам термодинамического анализа предлагается создание собственных источников энергообеспечения, с минимальными выбросами в окружающую среду и утилизацией низконапорных технологических газов, что позволяет не только повысить эффективность топливных систем, но и сформировать энергоэффективные, практически замкнутые и экологически безопасные системы ЭК ПП УВС.

Так для комплексной установки переработки нефти ГК-3, производительностью 3000 тыс. т/год в качестве комбинированного источника энергообеспечения с собственной выработкой тепловой (14,2 МВт) и электрической (9,2 МВт) энергии, рассмотрена ПГУ-ТЭЦ на базе газовой турбины ГТЭ-

бу [6]. Для этого варианта индекс доходности составит 1,963 руб./руб., интегральный эффект 990 млн. руб., срок окупаемости не более 5 лет, что говорит об экономической целесообразности и перспективности создания собственных источников энергообеспечения.

Выводы

Эксергетический метод является одним из наиболее объективных инструментов анализа эффективности и оптимизации топливных систем ЭК ПП УВС. На базе эксергетического подхода определяются наименее эффективные узлы на всех уровнях иерархии от аппаратов до производств, с разработкой экономической и энергетически целесообразных направлений и технических решений по повышению эффективности ПП УВС. Термодинамическая оптимизация топливных систем ПП УВС на базе эксергетического метода позволяет выбрать рациональные режимы и параметры функционирования объекта, с учетом показателей эффективности использования ТЭР. Предлагаемые научно-обоснованные технические решения отличаются экономической и энергетической эффективностью, а также экологической безопасностью.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10134)

Список литературы

1. Федеральный закон от 23.11. 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
2. Государственная программа Российской Федерации от 27.12. 2010 г. №2446-р «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»
3. Шаргут, Я., Петела, Р. Эксергия. - М.: Энергия, 1968. - 280 с.
4. Эксергетические расчеты технических систем / Бродянский В. М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. - Киев : Наук. думка, 1991. -360 с.
5. Андриященко А.И., Техническая работоспособность термодинамических систем / Саратов: Саратовский автомобильно-дорожный ин-т, 1956.
6. Кульбякина (Ленькова) А.В., Ларин Е.А., Долотовский И.В. Эффективная система энергообеспечения комбинированных установок переработки нефти // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. 2016. №8. С. 233-238.

Myronyuk T. V.

Ph.D., associate professor of the department of information security and computer engineering, Cherkasy State Technological University

Myronets I. V.

Ph.D., associate professor, associate professor of the department of information security and computer engineering, Cherkasy State Technological University

Babenko V. G.

Ph.D., associate professor, associate professor of the department of information security and computer engineering, Cherkasy State Technological University

Sysoienko S. V.

assistant of the department of information security and computer engineering, Cherkasy State Technological University

Миронюк Татьяна Васильевна

к.т.н., доцент кафедры информационной безопасности и компьютерной инженерии,

Черкасский государственный технологический университет

Миронец Ирина Валериевна

к.т.н., доцент, доцент кафедры информационной безопасности и компьютерной инженерии,

Черкасский государственный технологический университет

Бабенко Вера Григорьевна

к.т.н., доцент, доцент кафедры информационной безопасности и компьютерной инженерии,

Черкасский государственный технологический университет

Сысоенко Светлана Владимировна

ассистент кафедры информационной безопасности и компьютерной инженерии,

Черкасский государственный технологический университет

FEATURES OF USING OPERATIONS OF THE PERMUTATIONS CONTROLLED BY INFORMATION FOR THE CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATION ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕСТАНОВОК, УПРАВЛЯЕМЫХ ИНФОРМАЦИЕЙ, ДЛЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Summary: The article provides the use of the basic group of operations of permutations controlled by information based on three types of algorithms for implementing the cryptographic transformation. Algorithms for using the operations of permutations controlled by information have been developed for the purpose of applying them both in software and hardware for cryptographic information protection. The effectiveness of these algorithms was evaluated on the basis of their software implementation and statistical testing.

Keywords: operations of permutations controlled by information, algorithm, use, cryptographic transformation.

Аннотация: В статье предложено применение базовой группы операций перестановок управляемых информацией на основе трех видов алгоритмов для реализации криптографического преобразования. Разработаны алгоритмы использования операций перестановок, управляемых информацией, с целью применения их как в программных, так и аппаратных средствах криптографической защиты информации. Проведена оценка эффективности данных алгоритмов на основе их программной реализации и статистического тестирования.

Ключевые слова: операции перестановок управляемых информацией, алгоритм, использование, криптографическое преобразование.

Постановка проблемы. Разработка новых и усовершенствование распространенных методов шифрования, которые были бы простыми в аппаратной и программной реализациях, и в то же время обеспечивали достаточно высокий уровень криптографической стойкости за счет расширения спектра используемых операций криптографического преобразования полученных путем модификации базовых операций, является одной из актуальных задач

информационной безопасности. Поиск и синтез модифицированных операций для криптографического преобразования позволит строить алгоритмы с их использованием с лучшими криптографическими свойствами, что и делает данное исследование актуальным.

Программные средства криптографической защиты отличаются гибкостью, что дает им особенное преимущество по сравнению с аппаратными. А

мобильность и простота использования объясняет их современную популярность и распространенность. Поэтому среди способов улучшения показателей устойчивости криптоалгоритмов можно выделить несколько подходов к построению программных шифров. Наиболее перспективными для программной реализации являются гибкие шифры, основанные на использовании нескольких модификаций алгоритма шифрования, шифры с псевдослучайной выборкой ключей и шифры с перестановкой фиксированных процедур и настройкой операций преобразования. Кроме этого одним из известных способов повышения криптостойкости является многопроходный режим применения алгоритма шифрования.

Применение управляемых операций [1, с. 127] открывает большие возможности в достижении необходимого уровня криптозащиты. Учитывая то, что эффективность использования управляемых операций увеличивается с ростом числа потенциально реализуемых модификаций, поскольку в этом случае расширяется подблок преобразуемых данных, приобретает актуальность использование операции перестановки, так как она имеет очень большое число модификаций [1, с. 129]. Таким образом разработка криптографических средств на основе управляемых перестановок является перспективным направлением в современной криптографии.

Анализ последних исследований и публикаций. Среди последних публикаций особенное внимание заслуживают исследования посвященные синтезу операций на основе перестановок. В работе [2, с. 42, рис. 2.1] проведена классификация трехразрядных функций криптографического преобразования, где определена группа функций для реализации операций перестановок управляемых информацией. А в работе [3, с. 31, табл. 12] проведен синтез группы операций сложения по модулю два и описана возможность их применения в алгоритмах криптографического преобразования путем доказательства того, что данная группа операций является группой перестановок.

Результаты исследования четырех модификаций операции сложения по модулю два с точностью

до перестановки операндов [4, с. 50] показали, что на основе их с помощью трех попарных перестановок и одной одинарной перестановки возможно получить полное множество модифицированных операций с точностью до перестановки результатов выполнения операций [5, с. 110, табл. 3]. Проведенный анализ операций сложения по модулю два и перестановок, которые используются для реализации матричных операций криптографического преобразования, позволил провести разделение матричных моделей операций на три группы в зависимости от типа перестановки, использованной в них [6, с. 7]. В статье определены взаимосвязи между операциями в группах, используя которые возможно построить последовательности применения операций для синтеза матричных операций криптографического преобразования [6, с. 9].

В [7, с. 114] осуществлена схемная реализация устройств на уровне дискретных моделей для криптографического преобразования данных на основе использования операций перестановок, управляемых информацией.

Но вопросу применения группы операций перестановок, управляемых информацией для реализации криптографического преобразования при разработке программных средств защиты внимание не уделено. Таким образом разработка методов применения данной группы операций для шифрования и расшифрования данных и алгоритмизация указанных процессов является безусловно актуальной задачей исследования.

Цель статьи. Разработать способ применения базовой группы операций перестановок, управляемых информацией и предложить алгоритмы использования данных операций для реализации криптографического преобразования данных. А также оценить эффективность их использования для средств криптографической защиты.

Изложение основного материала. Обобщенные дискретные модели базовой группы трехразрядных операций перестановок, управляемых информацией для ее шифрования и расшифрования представлены выражениями (1) [8, с. 62] и (2) [8, с. 64] соответственно:

$$F^k = \begin{bmatrix} (x_1 \equiv (x_{11})) \cdot (x_2 \equiv (\bar{x}_{11} \vee (x_{22} \oplus x_{33}))) \vee (x_1 \equiv (x_{11} \oplus 1)) \cdot (x_3 \equiv (x_{11} \vee (x_{22} \oplus x_{33}))) \\ (x_2 \equiv (x_{22})) \cdot (x_1 \equiv (\bar{x}_{22} \vee (x_{11} \oplus x_{33}))) \vee (x_2 \equiv (x_{22} \oplus 1)) \cdot (x_3 \equiv (x_{22} \vee (x_{11} \oplus x_{33}))) \\ (x_3 \equiv (x_{33})) \cdot (x_1 \equiv (\bar{x}_{33} \vee (x_{11} \oplus x_{22}))) \vee (x_3 \equiv (x_{33} \oplus 1)) \cdot (x_2 \equiv (x_{33} \vee (x_{11} \oplus x_{22}))) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$F^d = \begin{bmatrix} (x_1 \equiv (\bar{x}_{11}x_{22} \vee x_{11}\bar{x}_{33})) \cdot (x_2 \equiv (\bar{x}_{22} \vee (x_{11} \oplus x_{33}))) \vee \\ \vee (x_1 \equiv ((\bar{x}_{11}x_{22} \vee x_{11}\bar{x}_{33}) \oplus 1)) \cdot (x_3 \equiv (\bar{x}_{33} \vee (x_{11} \oplus x_{22}))) \\ (x_2 \equiv (x_{11}\bar{x}_{22} \vee x_{22}x_{33})) \cdot (x_1 \equiv (\bar{x}_{11} \vee (x_{22} \oplus x_{33}))) \vee \\ \vee (x_2 \equiv ((x_{11}\bar{x}_{22} \vee x_{22}x_{33}) \oplus 1)) \cdot (x_3 \equiv (x_{33} \vee (x_{11} \oplus x_{22}))) \\ (x_3 \equiv (\bar{x}_{11}\bar{x}_{33} \vee x_{22}x_{33})) \cdot (x_1 \equiv (x_{11} \vee (x_{22} \oplus x_{33}))) \vee \\ \vee (x_3 \equiv ((\bar{x}_{11}\bar{x}_{33} \vee x_{22}x_{33}) \oplus 1)) \cdot (x_2 \equiv (x_{22} \vee (x_{11} \oplus x_{33}))) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Разработанные методы синтеза операций перестановок, управляемых информацией, прямого

и обратного преобразования [8, с. 64] позволяют рассмотреть варианты построения алгоритмов защиты информации.

Для проверки корректности полученных результатов было разработано программное обеспечение реализации определенной группы базовых операций на основе следующих алгоритмов:

1. Простого перемешивания.
2. Выполнение гаммирования с ключом.
3. Выполнение гаммирования с ключом с заданным количеством раундов.

Программное обеспечение для шифрования и расшифрования данных полученной группой базовых операций разработаны на основе метода простого перемешивания. Алгоритм его реализации изображен в виде блок-схемы на рисунке 1.

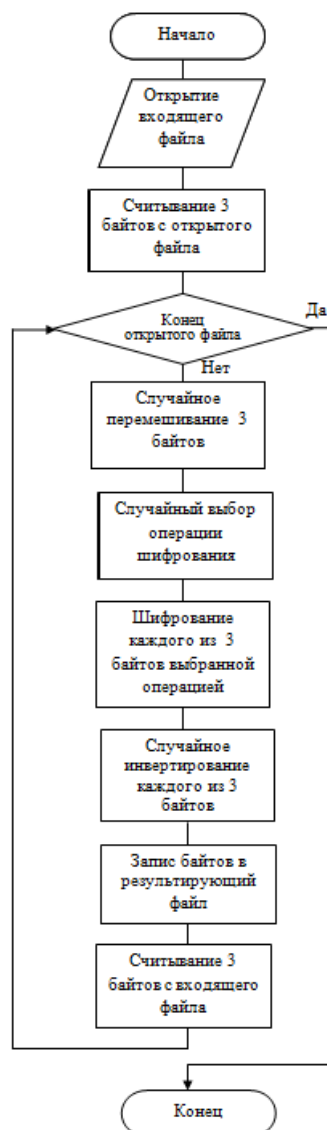


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма шифрования данных полученной группой базовых операций на основе простого перемешивания

Согласно построенной блок-схеме, представленной на рисунке 1, алгоритм работы программы состоит из следующих шагов:

1. Выбираем входной файл любого типа и открываем его для чтения данных.
2. Чтение данных, находящихся во входном файле, последовательно по 3 байта информации;
3. Случайным образом перемешиваем прочитанные 3 байта;
4. Выбираем операцию шифрования для байтов;
5. Шифруем прочитанные 3 байта информации выбранным методом шифрования;

6. Случайным образом инвертируется каждый из зашифрованных байтов;

7. Записываем полученные 3 байта информации в результирующий файл;

8. Если не достигнут конец файла, переходим к пункту 2;

9. Завершение работы программы.

Алгоритм работы программного обеспечения для расшифрования результирующего файла представлено на рисунке 2 и описывается аналогично алгоритму шифрования.

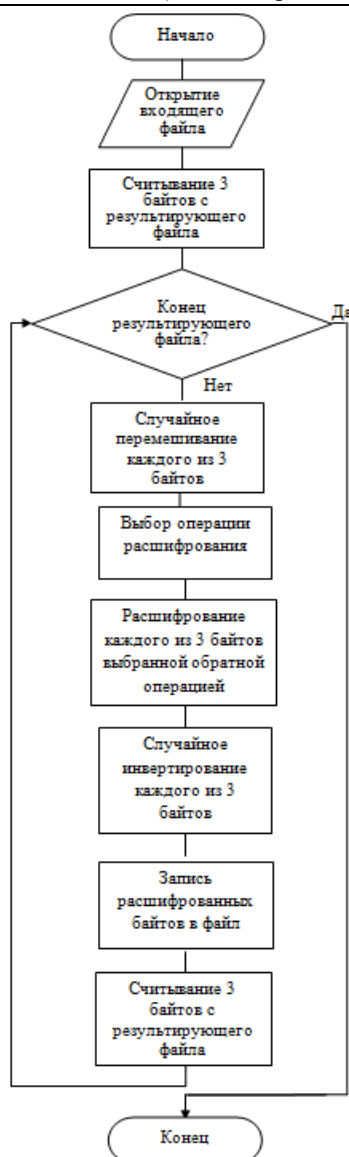


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма для расшифрования данных полученной группой базовых операций на основе простого перемешивания

Следующее программное обеспечение проверки правильности полученной группы базовых операций было разработано с использованием алгоритма работы программы на основе выполнения гаммирования с ключом.

Алгоритм работы такого метода будет состоять из следующих шагов:

1. Выбираем входной файл любого типа и открываем его для чтения данных;
2. Чтение данных, находящихся в исходном файле, последовательно по 3 байта;
3. Выбираем операцию шифрования для байтов;
4. Шифруем прочитанные 3 байта информации выбранным методом шифрования;

5. Выполняем гаммирование с ключом;
6. Записываем полученные 3 байта информации в результирующий файл;
7. Если не достигнут конец файла переходим к пункту 2;
8. Завершение работы программы.

Алгоритм работы метода расшифрования результирующего файла описывается аналогично алгоритму шифрования.

В соответствии с алгоритмом работы программы построим блок-схемы реализации методов шифрования и расшифрования информации, которые будут иметь следующий вид и представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

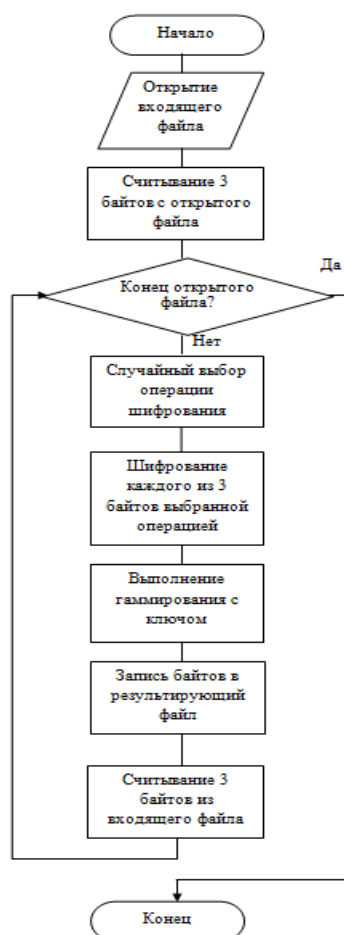


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма шифрования данных полученной группой базовых операций на основе выполнения гаммирования с ключом.

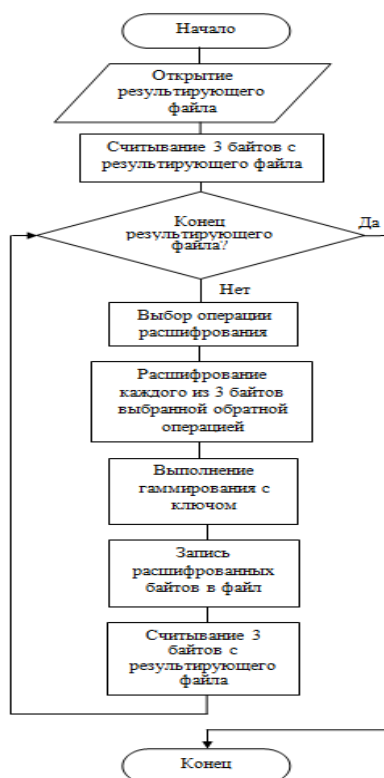


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма расшифрования данных обратной группой полученной группы базовых операций на основе выполнения гаммирования с ключом.

Программное обеспечение для шифрования данных полученной группой базовых операций разработано с использованием алгоритма работы программы на основе выполнения гаммирования с

ключом с определенным количеством раундов и построено на основе блок-схемы представленной на рисунке 5, которую приведено ниже.

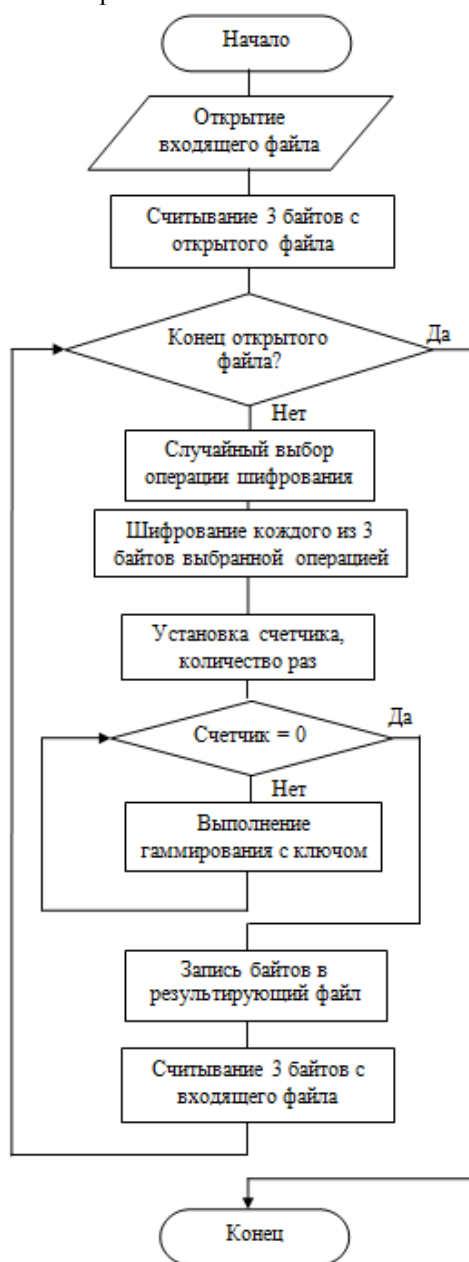


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма для шифрования данных группой базовых операций на основе выполнения гаммирования с ключом с заданным количеством раундов.

Алгоритм работы разработанного программного обеспечения представлен на рисунке 5 и состоит из следующих шагов:

1. Выбираем исходный файл любого типа и открываем его для чтения данных;
2. Чтение данных, находящихся в исходном файле по 3 байта;
3. Выбираем операцию шифрования для байтов;
4. Шифруем прочитанные 3 байта информации выбранным методом шифрования;
5. Выбираем количество раундов кодирования;

6. Выполняем гаммирование с ключом;
7. Если счетчик раундов не равен 0, возвращаемся к пункту 6;
8. Записываем полученные 3 байта информации в результирующий файл;
9. Если не достигнут конец файла, переходим к пункту 2;
10. Завершение работы программы.

На рисунке 6 приведено блок-схему алгоритма для расшифрования данных обратной группой базовых операций на основе выполнения гаммирования с ключом с заданным количеством раундов.

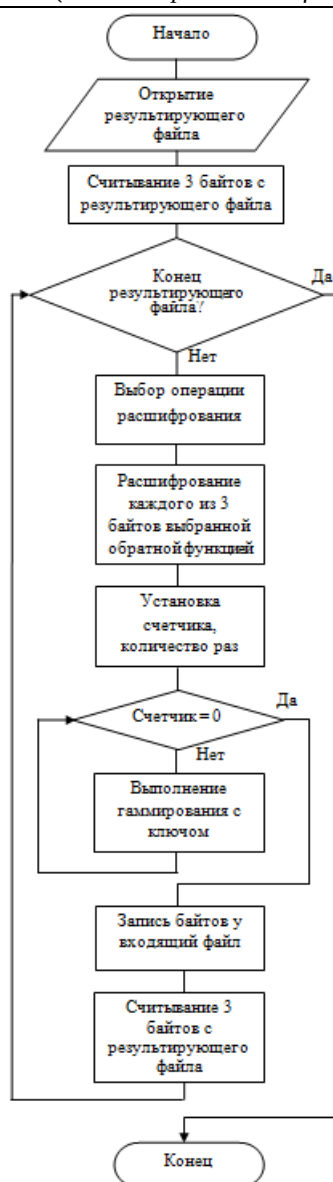


Рисунок 6. Блок-схема алгоритма расшифрования данных обратной группой базовых операций на основе выполнения гаммирования с ключом с заданным количеством раундов.

Алгоритм работы программного обеспечения для расшифрования результирующего файла обратной группой базовых операций на основе выполнения гаммирования с ключом заданного количества раундов описывается аналогично алгоритма шифрования.

Для разработанных алгоритмов работы программы для шифрования и расшифрования данных определенной группой базовых операций была проведена оценка эффективности их реализации с помощью системы оценки статистических свойств NIST STS [10, 11].

Сводные результаты тестирования такого использования операций перестановок, управляемых

информацией, для криптографического преобразования представлены в таблице 1 [12, с. 43, табл. 1, с. 45, табл. 3, с. 46., табл. 5].

Реализация операций перестановок, управляемых информацией, на основе псевдослучайной (гаммирующей) последовательности, практически соответствует требованиям программного пакета статистического тестирования NIST STS. Отклонение требований от 0,5% до 2,7% обосновывается только за счет малого количества операций для криптопреобразования при проведении тестирования. Поэтому целесообразно их использовать с другими алгоритмами криптопреобразования.

Таблица 1. Сводные результаты тестирования псевдослучайных последовательностей, полученные на основе шифрования данных для алгоритмов использования операций перестановок, управляемых информацией, для криптографического преобразования

Алгоритм использования операций перестановок, управляемых информацией, для криптографического преобразования	Количество тестов, в которых тестирование прошло	
	99 % послед.	96 % послед.
На основе простого перемешивания	137 (72,4 %)	184 (97,3 %)
На основе гаммирования с ключом	148 (78,3 %)	188 (95,5 %)
На основе гаммирования с ключом с заданным количеством раундов	155 (81,4 %)	188 (99,5 %)

Эффективность использования операций перестановок, управляемых информацией, для криптографического преобразования, заключается в реализации метода повышения скорости шифрования, сущность которого заключается в использовании гуммирующей последовательности как набора команд выполнения последовательностей операций криптопреобразования с использованием данных операций перестановок. Если для шифрования одного блока данных используют 384 определенные операции перестановок, управляемых информацией, то для m блоков информации их необходимо в m раз больше. Именно таким образом обеспечивается вариативность алгоритмов, использованных при криптопреобразовании.

Длина пароля при применении данного метода повышения скорости шифрования должно равняться количеству алгоритмов обработки данных. Для обработки m блоков данных длина пароля будет соответствовать значению

$$D_{\text{пароль}} = m \cdot \log_2 384 \approx 9 \cdot m.$$

Итак, можно сделать вывод, что длина пароля при случайном выборе операций, управляемых информацией, зависит от длины информации. При этом, длина пароля при выборе операций для обработки каждого блока равна 9 бит. При таком подходе количество байтов информации для трехрядный операций перестановок, управляемых информацией, увеличится в $9 \times m$ раз.

Выводы. Осуществлена алгоритмизация разработанного способа использования базовой группы операций перестановок управляемых информацией для криптографического преобразования данных на основе трех алгоритмов: простого перемешивания, выполнение гаммирования с ключом, выполнение гаммирования с ключом с заданным количеством раундов. Построенные блок-схемы предложенных алгоритмов дают возможность их дальнейшей программной реализации.

В ходе исследования разработанных алгоритмов использования операций перестановок управляемых информацией для криптографического преобразования и анализа их результатов тестирования полученных с помощью пакета NIST STS было определено, что самым эффективным среди трех алгоритмов является алгоритм на основе использо-

вания гаммирования с ключом с заданным количеством раундов. Так как два другие алгоритмы имеют более низкую оценку при статистическом тестировании, то применять их рекомендуется вместе с другими алгоритмами криптографического преобразования, чтобы обеспечить необходимую криптографическую стойкость.

Предложенный способ применения базовой группы операций перестановок управляемых информацией на основе трех видов алгоритмов для реализации криптографического преобразования возможно использовать при разработке программных средств для систем компьютерной криптографии.

Список литературы:

1. Молдовян А.А., Молдовян Н.А, Советов Б.Я. Криптография. – СПб.: Издательство «Лань», 2001. – 224 с., ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Мельник Р.П. Методи та засоби синтезу операцій розширеного матричного криптографічного перетворення: дис. канд. техн. наук: 05.13.21 / Р.П. Мельник. – Черкаси, 2013. – 178 с.
3. Криптографическое кодирование: коллективная монография / Под ред. В.Н. Рудницкого, В.Я. Мильчевича. – Харьков : Изд-во «Щедрая усадьба плюс», 2014. – 240 с.
4. Бабенко В.Г. Технологія дослідження операцій за модулем два / В.Г. Бабенко, Н.В. Лада // Щомісячний науковий журнал «Smart and Young». – №11-12, 2016. – Ч.1. – С.49-54.
5. Бабенко В.Г. Аналіз результатів виконання модифікованих операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки [Текст] / В.Г. Бабенко, Н.В. Лада // The scientific potential of the present : зб. наук. праць «ЛОГОС». – 2016. – С. 108-111.
6. Бабенко В.Г. Дослідження взаємозв'язків між операціями в матричних моделях криптографічного перетворення / В.Г. Бабенко, Н.В. Лада, С.В. Лада // Вісник ЧДТУ, 2016. – №1. – С. 5-11.
7. Миронюк Т.В. Апаратна реалізація операцій перестановки керування інформацією для комп'ютерних криптографічних систем / Т.В. Миронюк, І.В. Миронець // Науковий прогрес та процес розвитку країни в аспекті євроінтеграції : зб. наук. праць «ЛОГОС». СПЕЦВИПУСК - 2016. - Т.1. - С. 112-116.

8. Миронюк Т. В. Дискретна модель базових груп операцій перестановок, керованих інформацією, для криптоперетворення / Т. В. Миронюк, Є. В. Ланських // Smart and Young : щомісячний наук. журн. – Вип. 11-12. – Київ, 2016. – С. 58–65.

9. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications [Електронний ресурс] / A. Rukhin, J. Soto, J. Nechvatal et al. – Режим доступу : <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-22-rev1a/SP800-22rev1a.pdf>

10. Статистичне тестування генераторів випадкових і псевдовипадкових чисел з використанням

набору статистичних тестів NIST STS [Електронний ресурс] / Потій А.В., Орлова С.Ю., Гриненко Т.А. – Режим доступу : www.kiev-security.org.ua

11. Миронюк Т.В. Аналіз статистичних властивостей результатів криптографічного перетворення на основі операцій перестановок, керованих інформацією / Т.В. Миронюк, В.Г. Бабенко // Інноваційні тенденції сьогодення у сфері природничих, гуманітарних та точних наук : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 17 жовтня 2017 року у м. Івано-Франківськ. – Одеса: Друкарня «Друкарник». – 2017. – Т.2. – С. 41-47.

УДК 620.179.143

Шлеенков А.С.¹, Сурков А.Ю.¹, Новгородов Д.В.¹, Кукушкин А.Н.²

¹ Інститут фізики металів ім. М.Н. Михеева УрО РАН, г.Екатеринбург

² ООО «Научно-производственный центр «Внутритрубная диагностика», г. Березовский

ВЫЯВЛЕНИЕ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА ГАЗОПРОВОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ

По данным внутритрубной диагностики сделано предположение об упруго-пластическом изгибе участка магистрального газопровода. Для подтверждения просадки трубопровода проведено местное обследование напряженно-деформированного состояния. Для оценки величины смещения выполнено геодезическое обследование. Сделаны выводы о возможности выявления участков упруго-пластического изгиба при проведении внутритрубной диагностики.

Ключевые слова: внутритрубная диагностика, упруго-пластический изгиб, напряженно-деформированное состояние

Внутритрубная диагностика магистральных газопроводов проводится для выявления, идентификации и определения размеров различных дефектов. На подготовительном к запуску прибора-дефектоскопа этапе проводится пропуск профиломера, который собирает полную информацию о внутренней геометрии и изменении пространственного положения инспектируемого участка газопровода на всем его протяжении. Отклонение оси трубопровода фиксируется, и по результатам можно построить график кривизны оси трубопровода, который показывает величину отклонения. Анализ

полученных данных позволяет, кроме всего прочего, идентифицировать участки с упруго-пластическим изгибом [1].

Диагностические внутритрубные приборы-дефектоскопы, используемые ООО «НПЦ «ВТД» оборудуются навигационными системами. Навигационная система включает в себя: одометры (оценка пройденного пути), трехосевые акселерометры (оценка ускорений навигационного блока) и трехосевые гироскопы (измерение угловых скоростей) (рис. 1).



Рис. 1. Волоконно-оптический гироскоп ТИУС500

Положение блока навигационной системы в снаряде-дефектоскопе определяется координатами точки и тремя углами Эйлера (рис. 2). Результатом обработки навигационных данных снаряда явля-

ются координаты блока в системе отсчета, связанной с началом участка, определённые для каждого среза данных. Эти координаты включают положение блока и его ориентацию относительно направления силы тяжести.

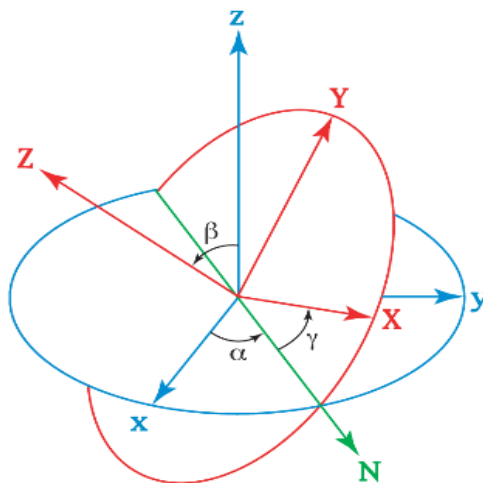


Рис. 2. Координаты блока навигационной системы в снаряде-дефектоскопе

Важная характеристика, которую можно получить из навигационных данных – кривизна траектории и следовательно осевое положение трубопровода в пространстве. Она рассчитывается как частное модуля угловой и линейной скоростей блока (снаряда) (рис. 3). Отклонение оси трубопровода

фиксируется, и по результатам можно построить график кривизны оси трубопровода, который показывает величину отклонения. Анализ полученных данных позволяет, кроме всего прочего, идентифицировать участки с упруго-пластическим изгибом.

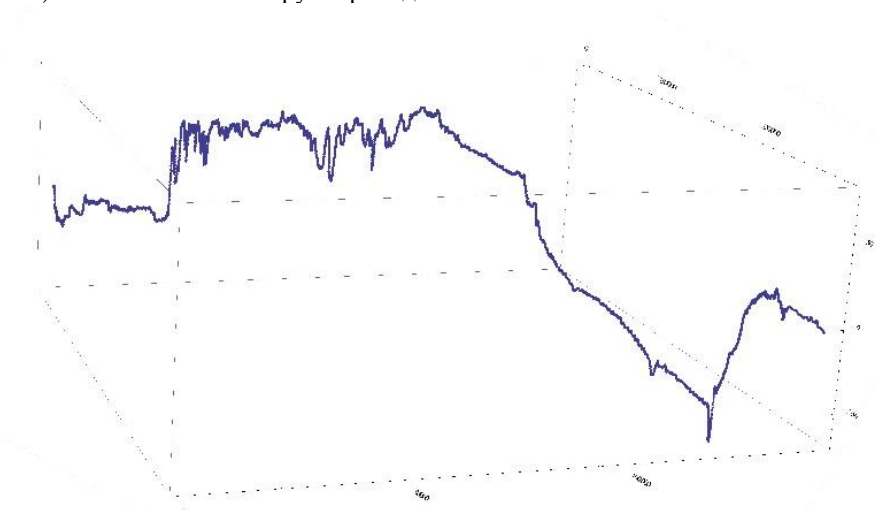


Рис.3. Траектория осевого положения трубопровода

Рассмотрим данные, полученные НПЦ «ВТД» при проведении внутритрубной диагностики на участке магистрального газопровода Уренгой-Петровск в марте 2016 года. График кривизны участка газопровода представлен на рис.4. Данные о

направление выпуклости участка не приведены на графике, т.к. это усложнит его восприятие. Локальный максимум, или предполагаемый изгиб трубопровода, расположен на расстоянии 3608-3610 метров от камеры запуска снаряда-дефектоскопа.

Изгиб магистрального газопровода Уренгой-Петровск

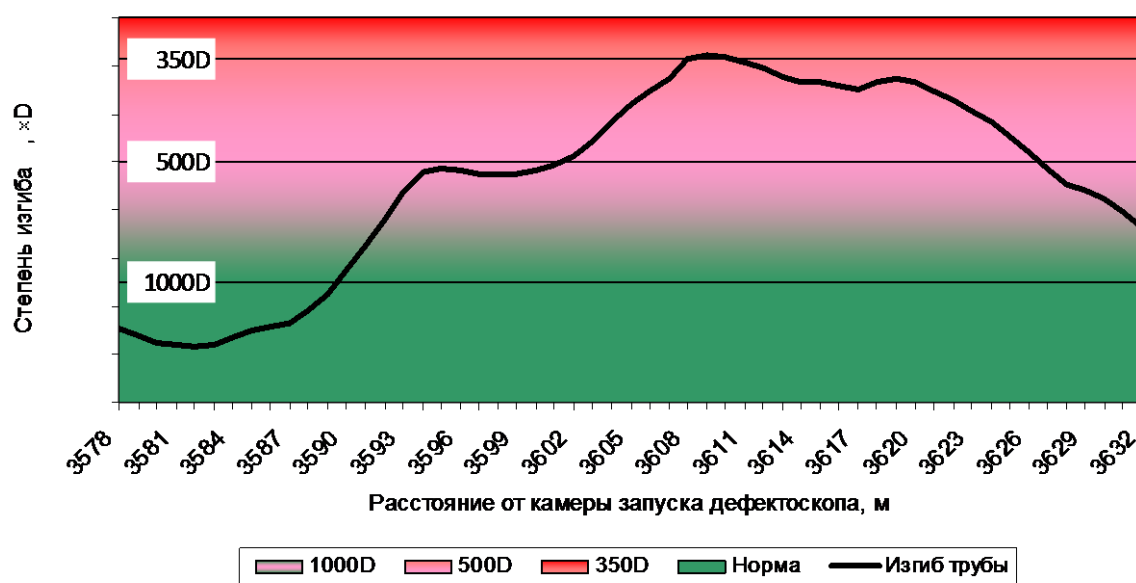


Рис. 4. Кривизна участка магистрального газопровода

Для подтверждения упруго-пластического изгиба участка магистрального газопровода, выявленного по результатам внутритрубной диагностики, была выполнена шурфовка, после чего проведены измерения действующих продольных напряжений [2] в сечениях, расположенных на краях и в середине участка. Диаграмма распределения напряжений, представленная на рис.5, демонстрирует существенное различие для крайних и средних сечений. Равномерный характер распределения напряжений в крайних сечениях свидетельствует об отсутствии смещений трубопровода, тогда как в центральных сечениях участка зафиксирован изгиб газопровода, выражающийся в разнице

знака действующих напряжений на верхней и нижней образующей трубопровода. Такая схема распределения напряжений соответствует просадке вниз центральной части выделенной секции газопровода. Распределение действующих продольных напряжений соответствует данным, полученным в результате внутритрубной диагностики. Упруго-пластический изгиб более 1000D является недопустимым по действующим нормам [3]. Для принятия решения о мерах устранения нарушения необходимо знать величину смещения текущего положения трубопровода относительно проектного, что может быть определено по результатам геодезического обследования [4].

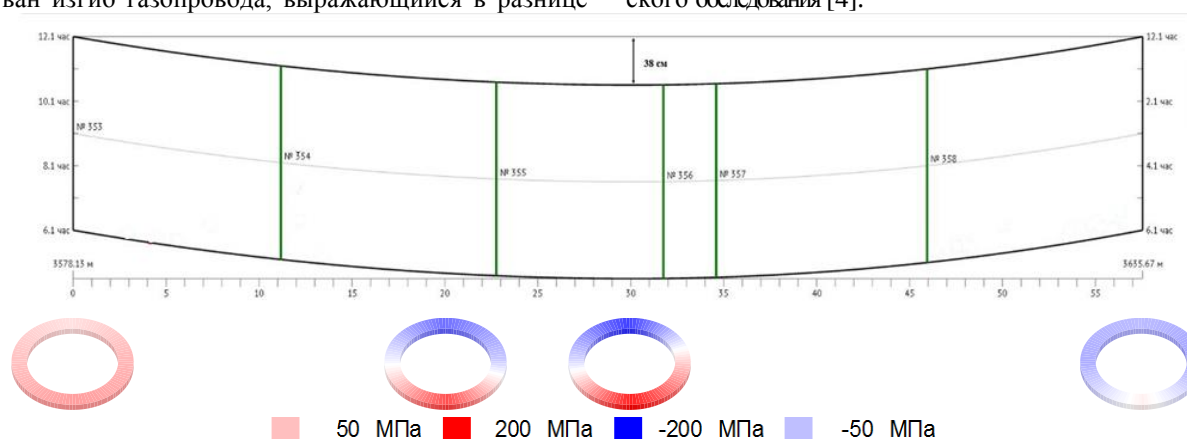


Рис. 5. Результаты местного обследования участка магистрального газопровода

Для оценки просадки участка трубопровода относительно проектного положения было выполнено геодезическое обследование, результаты которого также представлены на рис.5. Анализ полученных данных показывает, что максимальное вертикальное смещение 38 см приходится на трубу №355 и плавно уменьшается к краям обследованного участка. Причина столь существенной просадки

трубопровода может быть связана как с внешними условиями эксплуатации (сезонные подвижки, вымывание грунта и т.д.), так и с возможными нарушениями, допущенными при строительстве газопровода. Для восстановления проектного положения газопровода должны быть выполнены соответствующие ремонтные мероприятия.

Выводы

Методики оценки опасности дефектов [5,6] в трубах магистральных газопроводов исходят из проектных условий эксплуатации. Дополнительные изгибные воздействия на локальном участке трубопровода могут создавать условия ускоренного развития дефектов или снижать общую несущую способность трубы. Обнаружить подобные места на линейной части подземного магистрального газопровода без проведения дополнительного обследования не представляется возможным. Выполнение местного обследования в шурфах подтверждает возможность выявления участка упруго-пластического изгиба газопровода при проведении внутритрубной диагностики. Полученные данные позволяют повысить безопасность эксплуатации магистрального газопровода.

Список литературы

1. Аскарлов Р.М., Мазитов Д.Г., Чучкалов М.В., Кукушкин А.Н. Выявление и оценка напряженно-деформированного состояния магистральных газопроводов, пересекающих геодинамические зоны // Газовая промышленность.-2015.- №11(730).-С.47-50

2. Методические указания по оценке НДС технологических трубопроводов компрессорных станций. // ОАО Газпром. - 2002. - 45.

3. Свод правил. Магистральные трубопроводы. 86.13330.2014. Актуализированная редакция. СНиП III-42-80.- М.:Издательство "Проспект" 2017,- 208с.

4. Инструкция «По определению по данным геодезической съемки фактического напряженно-деформированного состояния участков газопроводов, расположенных на территориях с опасными геодинамическими процессами, и оценки их работоспособности». – М. : ОАО «Газпром», 2006. – 58 с.

5. СТО Газпром 2-2.3-112-2007. Методические указания по оценке работоспособности участников магистральных газопроводов с коррозионными дефектами.- М.: Изд. дом "Полиграфия" 2007, -60с.

6. СТО Газпром 2-2.3-173-2007. Инструкция по комплексному обследованию и диагностике магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением.- М.: Изд. дом "Полиграфия" 2007,- 42с.

Yakovyshyna T.F.

Ph.D., assistant professor

State Higher Education Establishment

"Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture"

Яковичина Тетяна Федорівна

кандидат сільськогосподарських наук,

доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища

Державний вищий навчальний заклад

"Придніпровська державна академія будівництва та архітектури"

COMPREHENSIVE ESTIMATION OF ELEMENTAL CONTAMINATION BY HEAVY METALS OF SOIL URBAN ECOSYSTEMS ACCORDING ECOLOGICAL SAFETY STANDARDS КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПОЕЛЕМЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТІВ УРБООКОСИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ НОРМ ЕКОБЕЗПЕКИ

Summary: The system of the complex estimation for the elemental contamination by the heavy metals has been created for the urban ecosystem soils by the valuation of the total content, available and potentially available forms with the help of the MPC and the natural geochemical background in parallel with the determination of the introduced technogenic fraction of the pollutants and buffer reserves in relation to the anthropogenic loading. The nature of the heavy metal elemental contamination has been proposed to establish by calculating its technogenicity. The buffer reserves for the possibility of the further pollutant accumulation have been recommended to determine as the difference between the MPC of the investigated metal and its real total content.

Keywords: heavy metal, contamination, soil, estimation, urban ecosystem.

Анотація: Розроблена система комплексної оцінки поелементного забруднення важкими металами ґрунтів урбоєкосистем шляхом нормування валового вмісту, рухомих та потенційно рухомих форм за допомогою ГДК і природного геохімічного фону паралельно з визначенням привнесеної техногенної частки забруднювачів та запасів буферності щодо подальшого антропогенного навантаження. Запропоновано встановлювати характер поелементного забруднення важким металом шляхом розрахунку його техногенності. Рекомендовано визначати запаси буферності для можливості подальшого накопичення забруднювача, як різницю між ГДК досліджуваного металу та його реальним валовим вмістом.

Ключові слова: важкий метал, забруднення, ґрунт, оцінка, урбоєкосистема.

Постановка проблеми. Забруднення важкими металами (ВМ) ґрунтів мегаполісів промислово-навантажених регіонів набуває глобального характеру, що негативно позначається на якості навколишнього природного середовища та спричиняє екологічну небезпеку для здоров'я його мешканців, а

також урбоєкосистеми в цілому. Тривале функціонування промислових зон сприяє створенню на території міста урбанізованого геохімічного фону, вміст в якому важких металів суттєво перевищує їх концентрації в зональних ґрунтах, котрі знахо-

дяться в нативних умовах та значення санітарно-гігієнічного показника – ГДК. Крім того руйнівний вплив будівельної діяльності при розбудові міста позначається на втраті екологічних властивостей ґрунту щодо депонування забруднювачів, отже їх токсичність для біоти в межах урбоєкосистеми зростає. Тому виникає необхідність у створенні системи комплексної оцінки поелементного забруднення ВМ з урахуванням їх рухомості, а також частки техногенності, котра відбиває вплив людської діяльності на ґрунт, та запасів буферності в кожному конкретному випадку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Екологічну оцінку поелементного забруднення ґрунту ВМ зазвичай проводять за двома показниками – ГДК [3, с. 107; 16, с. 153] та фоновою концентрацією відносно валового вмісту [8, с. 640]. Проте валовий вміст на завжди надає реальну картину ступеня екологічної небезпеки щодо здатності міграції цих токсикантів в екосистемі, котру визначає наявність рухомих, а для техногенно навантажених екосистем – потенційно-рухомих форм ВМ [17, с. 42]. Природа буферності ґрунтів, що зумовлюється їх генетичними особливостями, впливає на міграційну здатність токсикантів [11, с. 47], тому добре відомі факти прояву фітотоксичності навіть при низькому рівні техногенного навантаження в 1-2 ГДК особливо в ґрунтах урбоєкосистем, які зазнали порушення внаслідок будівельної діяльності [12]. Крім того, невирішеним залишаються декілька питань, по-перше, відокремлення техногенного внеску спричиненого людською діяльністю, що має важливе значення за умов підвищеного вмісту металу в материнській породі, котре може відбиватися через перевищення природного геохімічного фону над ГДК, а, по-друге, набуває сенс визначення кількісних запасів буферності для подальшого сприйняття антропогенного навантаження, що має велике науково-практичне значення для промислово навантажених регіонів.

Мета роботи полягала у створенні системи комплексної оцінки поелементного забруднення ВМ міських ґрунтів з урахуванням норм екобезпеки щодо здатності їх міграції та проявів токсичності за валовим вмістом, рухомими і потенційно-рухомими формами при порушенні нативних властивостей ґрунтів внаслідок будівництва, а також їх техногенності з обґрунтуванням запасів буферності відносно подальшого антропогенного навантаження на прикладі забруднення цинком урбоєкосистеми м. Дніпро.

Методика досліджень. Показники вмісту Zn були одержані в мережі екологічного моніторингу ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро: розмір сітки (2 км × 2 км), загальна кількість ключових ділянок відбору проб – 65, з яких за характером функціонального призначення припадало на промислову зону – 9, висотну забудову – 13, приватний сектор – 26, зелену (рекреаційну) зону – 17. Проби ґрунту відбирали методом конверту з глибини 0-10 см, репрезентативна проба складалася з 25 індивідуальних проб [17, с. 30].

У відібраних зразках визначали валовий вміст Zn атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту, його потенційно-рухомі форми у витягу 1 Н НСl, а рухомі форми – у ААБ (рН 4,8) за стандартними методиками [9, 10]. Для встановлення закономірностей розповсюдження Zn по території урбоєкосистеми м. Дніпро використовували методи математичної статистики та пакет прикладних програм Microsoft Excel 2010.

Ступень екологічної небезпеки забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро здійснювали шляхом нормування за допомогою показників природного геохімічного фону та ГДК для валу та рухомих форм за методиками [3, 16], а також шляхом розрахунку техногенності [18, с. 5322] та буферної здатності, як різниці між ГДК та реальним валовим вмістом кожної конкретної ділянки за умов неперевикнення рухомими формами значення ГДК.

Результати досліджень. Цинк відзначається високою технофільністю та біофільністю, отже має широкий діапазон впливу на живі організми. Як мікроелемент, Zn життєво необхідний для всіх живих організмів, адже він відіграє важливу роль у біосинтезі нуклеїнових кислот, РНК- та ДНК-полімерази, відповідає за гормональний метаболізм, імунну реакцію, стабілізацію рибосом і клітинних мембран, крім того у рослин підвищує інтенсивність фотосинтезу. Дефіцит Zn згідно Ф.Т. Бінгам (1993) відбивається через захворювання шкіри, відставання у рості, порушення полового розвитку [2]. Так його надлишок в організмі людини призводить до шлунково-кишкових розладів, гіпохромної анемії, карієсу зубів, ішемічної хвороби [7].

Значення кларку у літосфері для Zn становить $8,3 \cdot 10^{-3} \%$, а в ґрунті – $5,0 \cdot 10^{-3} \%$ [1, 4], за умов фонової концентрації в чорноземах звичайних малогумусних важкосуглинкових 34-100 мг/кг, при середньому значенні 63 мг/кг та коефіцієнті варіації 28,8 [15, с. 45], тобто верхнє значення межує з ГДК.

Розповсюдження Zn вздовж ґрунтового профілю зазвичай рівномірне, невеличкі коливання можуть бути пов'язані з вмістом органічної речовини, глинистої фракції та карбонатів. Переважним чином в ґрунтах Zn асоціюється з гідроокисдами Fe, Al та глинистими мінералами. В межах урбоєкосистеми, за умов зміни рівня рН ґрунтового середовища в той чи інший бік, слід зважати на два механізми адсорбції Zn, при підкислення через осадження фізіологічно кислих сполук викидів промислових підприємств – він буде пов'язаний з катіонним обміном та, навпаки, при збільшенні лужності через включення решток будівельного сміття розглядається як хемосорбція, котра в значній мірі залежить від кількості органічних лігандів. Найбільшою селективністю адсорбції Zn характеризуються оксиди Fe, галуазит, алофап та імоголіт, а найменшою – монтморилоніт [5, с. 29]. Також Zn може входити в кристалічну решітку деяких мінералів, приміром, того ж монтморилоніту. Серед факторів, що контролюють розчинність, а отже і трансформацію Zn у ґрунтах, в загальному механізмі буферності перевагу мають вміст глинистих міне-

ралів, гідрооксидів Fe і Al, величина рН, над утворенням органічних комплексів і осадженням у вигляді фосфатів, карбонатів та сульфідів.

Рівень концентрації Zn в зональних ґрунтах степової зони України – чорноземах звичайних визначається його високим вмістом у лесах, а відхилення від загального фону пов'язані з впливом ґрунтоутворних порід, так у лесі важкосуглинковому вміст Zn вищий (63 мг/кг), чим у глинистому (54 мг/кг) [15, с. 45].

Підвищення вмісту цинку в ґрунтах урбоекосистеми зумовлюється наявністю промислових підприємств з виробництва кольорових металів, чавуна і сталі, скла і цементу, а також роботи ТЕС і автотранспорту, в останньому випадку, це пов'язано із стиранням деталей, ерозією оцинкованих поверхонь, зносом шин, використанням в маслах присадок, котрі містять у своєму складі сполуки Zn. Загальний викид цинку в атмосферне повітря від стаціонарних джерел 13 промислових підприємств дорівнює 4,404 т, що в перерахунку на 1 км² площі міста становить близько 0,011 т або 0,0044 кг на душу населення (дані Головного управління статистики в Дніпропетровській області).

Природний геохімічний фон Zn в зональному ґрунті – чорноземі звичайному складає для валового вмісту – 39,60 мг/кг, потенційно рухомих форм – 21,70 та рухомих форм – 1,08 мг/кг відповідно (Ерастівська дослідна станція Інституту сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України). Вміст валового Zn в ґрунтах м. Дніпро становив від 15,27 до 959,11 мг/кг при урбанізованому геохімічному фоні на рівні 290,99 мг/кг або 2,9 ГДК (табл. 1), що, за умов першого ступеня токсичності [6], відповідало другому ступеню деградації за В.В. Снакіним (1992) [13, с. 19]. Забруднення Zn ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро характеризувалось підвищеною рухомістю,

а саме, вміст потенційно-рухомих форм сягав 99 % та рухомих – 87 % від валу відповідно. Потенційно-рухомі форми Zn варіювали в досить широких межах, так максимальний вміст був у 307 разів вищий за мінімальний, в той час як значення урбанізованого фону перевищувало природний на один порядок. Урбанізований геохімічний фон за рухомими формами перевищував природний до 60 разів та ГДК у 2,8 рази. Між валовим вмістом та потенційно-рухомими формами встановлено тісний кореляційний зв'язок (0,945), в той час як по відношенню до рухомих форм він не простежувався, що свідчить про вибіркове, за окремими ділянками відбору проб, спрацювання механізмів буферності по відношенню до Zn.

У досліджуваних форм Zn середнє значення було більше за медіану від 1,35 до 2,28 разів, що свідчило про наявність масштабного прогресуючого забруднення цим елементом території м. Дніпро (табл. 1). Згідно коефіцієнту ексцесу, спостерігалось гостровершинне розподілення щодо потенційно-рухомих та рухомих форм, у випадку із валовим вмістом крива характеризувалась слабкою ексцесивністю, так згідно В.В. Тарасової (2008) коефіцієнт ексцесу < 0,4 [14, с. 123]. Коефіцієнт асиметрії, що відбиває ступінь відхилення розподілення від симетричного був вище за 0, що свідчило про його правосторонній характер, однак значного зміщення не зафіксовано, навпаки за валовим Zn асиметрія незначна. Детальний аналіз статистичних характеристик свідчить про інтенсивне техногенне забруднення цинком ґрунтів всієї території м. Дніпро відносно валового вмісту та збільшення строкатості забруднення за потенційно-рухомими та рухомими формами внаслідок часткового порушення буферних властивостей в процесі створення та функціонування урбоекосистеми.

Таблиця 1. Характеристика вмісту Zn у ґрунтах урбоекосистеми м. Дніпро

Показник	Валовий вміст, мг/кг	Потенційно-рухомі форми, мг/кг	Рухомі форми, мг/кг
Мінімум	15,27	3,09	2,16
Максимум	959,11	921,14	836,16
Середнє	290,99	217,96	64,49
Медіана	215,71	139,09	28,24
Ексцес	0,1092	1,51	30,60
Асиметрія	0,9949	1,32	5,05
Дисперсія	55909,24	39357,86	13491,90
Стандартне відхилення	238,29	199,93	117,06
Розмах	943,84	918,05	834,00

Нормування за коефіцієнтом концентрації відносно валового вмісту показало широкий спектр забруднення ґрунтів Zn від природної флуктуації до помірного ступеня, як по лівобережній, так і по правобережній частинам м. Дніпро (табл. 2). Процеси деконцентрації були зафіксовані тільки на двох ділянках відбору проб в ґрунтах прибережної частини вздовж р. Дніпро на периферії Амур-Нижньо-

дніпровського району (лівобережжя) та рекреаційній зоні житлового району “Перемога-1” Соборного району (правобережжя). Решта ж території зазнала значного антропогенного впливу внаслідок аерогенного забруднення ґрунтів Zn, в середньому валовий вміст цього хімічного елементу по місту переважав природний геохімічний фон у 7,35 рази. Домінування помірного забруднення над слабким

свідчило про чітко виражену строкатість, тобто наявність поряд з екологічно безпечними ділянками окремих hot spots здебільшого в зонах техногенного впливу наступних промислових підприємств – ПАТ “Дніпропетровський металургійний завод” ім. Комінтерну, ВАТ “Дніпрококс”, ВАТ “Дніпроперес”,

ООБ “Полімермаш”, ЗАТ “Дніпропетровський ремонтний завод”, ВАТ “Дніпропетровський агрегатний завод”, валовий вміст Zn в яких досить високий, що позначається на перевищенні фоновой концентрації більш ніж в 10 разів.

Таблиця 2. Нормування поелементного забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно природного геохімічного фону за валовим вмістом

Адміністративна одиниця	Категорія забруднення ґрунту			
	природна флуктуація	слабка	помірна	сильна
Амур-Нижньодніпровський район	<u>1,59 (0,39-2,76)</u> 6	<u>7,04 (5,45-9,97)</u> 4	<u>17,41(11,37-20,98)</u> 3	
Індустріальний район	<u>2,50 (1,91-3,09)</u> 2	<u>7,55</u> 1	<u>16,65 (13,41-19,88)</u> 2	
Новокодацький район	<u>2,68 (1,41-4,14)</u> 6	<u>7,12 (5,60-8,64)</u> 2	<u>16,23 (12,44-24,22)</u> 4	
Самарський район	<u>2,48 (1,72-3,92)</u> 6	<u>7,37</u> 1	<u>11,08</u> 1	
Соборний район	<u>1,90 (0,49-2,65)</u> 4	<u>8,37 (7,36-9,38)</u> 2	<u>11,13 (11,05-11,21)</u> 2	
Центральний район	<u>3,97</u> 1	<u>9,84</u> 1	<u>13,39</u> 1	
Чечелівський район	<u>3,50 (2,52-4,57)</u> 4	<u>6,47 (5,48-7,46)</u> 2	<u>16,28 (13,28-19,28)</u> 3	
Шевченківський район	<u>3, 25 (1,82-4,75)</u> 3	<u>9,54</u> 1	<u>14,82 (10,78-19,51)</u> 3	
Лівобережжя	<u>2,10 (0,39-4,14)</u> 14	<u>7,18 (5,45-9,97)</u> 6	<u>16,10 (11,08-20,98)</u> 6	
Правобережжя	<u>2,85 (0,49-4,75)</u> 18	<u>7,91 (5,48-9,54)</u> 8	<u>14,91 (10,78-24,22)</u> 13	
м. Дніпро	<u>2,52 (0,39-4,75)</u> 32	<u>7,74 (5,45-9,97)</u> 14	<u>15,29 (10,78-24,22)</u> 19	

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

На 48 ділянках відбору проб по території міста спостерігалось перевищення рівня ГДК щодо валового вмісту цього хімічного елемента з таким розподіленням відносно рівня забруднення: толерантний – 15, помірно небезпечний – 20 та небезпечний

– 13 (табл. 3). Найбільше потерпала правобережна частина міста, площа забруднення якої перевищувала аналогічну на лівобережжі майже вдвічі за умов наявності максимальної зафіксованої концентрації.

Таблиця 3. Нормування поелементного забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно ГДК за валовим вмістом

Адміністративна одиниця	Рівень забруднення ґрунту			
	безпечний	толєрантний	помірно небезпечний	небезпечний
Амур-Нижньодніпровський район	<u>0,42 (0,15-0,63)</u> 4	<u>1,06 (1,03-1,09)</u> 2	<u>3,13 (2,16-4,50)</u> 5	<u>8,10 (7,88-8,31)</u> 2
Індустріальний район	<u>0,76</u> 1	<u>1,22</u> 1	<u>2,99</u> 1	<u>6,58 (5,31-7,84)</u> 2
Новокодацький район	<u>0,78 (0,56-0,98)</u> 3	<u>1,34 (1,12-1,64)</u> 3	<u>3,52 (2,22-4,93)</u> 3	<u>6,92 (5,22-9,59)</u> 3
Самарський район	<u>0,87 (0,68-0,98)</u> 5	<u>1,55</u> 1	<u>3,66 (2,92-4,39)</u> 2	
Соборний район	<u>0,65 (0,20-0,88)</u> 3	<u>1,05</u> 1	<u>3,86 (2,92-4,44)</u> 4	
Центральний район		<u>1,57</u> 1	<u>3,90</u> 1	<u>5,30</u> 1
Чечелівський район		<u>1,39 (1,00-1,81)</u> 4	<u>2,57 (2,17-2,96)</u> 2	<u>6,45 (5,26-7,64)</u> 3

Шевченківський район	<u>0,72</u> 1	<u>1,57 (1,26-1,88)</u> 2	<u>4,01 (3,78-4,24)</u> 2	<u>6,69 (5,64-7,73)</u> 2
Лівобережжя	<u>0,68 (0,15-0,98)</u> 10	<u>1,22 (1,03-1,55)</u> 4	<u>3,24 (2,16-4,50)</u> 8	<u>7,34 (5,31-8,31)</u> 4
Правобережжя	<u>0,72 (0,20-0,98)</u> 7	<u>1,39 (1,00-1,88)</u> 11	<u>3,59(2,17-4,93)</u> 12	<u>6,53 (5,22-9,59)</u> 9
м. Дніпро	<u>0,69 (0,15-0,98)</u> 17	<u>1,35(1,00-1,88)</u> 15	<u>3,45 (2,16-4,93)</u> 20	<u>6,78 (5,22-9,59)</u> 13

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Як правило при наявності такого високого рівня забруднення за валовим вмістом ВМ в умовах деградації, котру зазнав антропогенно перетворений ґрунт урбоєкосистем, внаслідок будівництва, прокладання комунікацій, що призвело до втрати його буферності – з одного боку, та додаткового інтенсивного аерогенного надходження токсикантів з викидами промислових підприємств – з іншого боку, відбувається значне збільшення рухомості, отже окрім пилення і потрапляння токсикантів до організму людини в процесі дихання, виникає ризик включення катіонів ВМ²⁺ до трофічних ланцюгів, що становить екологічну небезпеку для всіх живих організмів порушеної екосистеми. Так вміст рухомих форм (витяг ААБ, рН 4,8) збільшувався на

три порядки порівняно до природного геохімічного фону, притаманного високобуферному зональному ґрунту – чорнозему звичайному в нативних умовах, який зазвичай досить невисокий (табл. 4). Згідно нормуванню забруднення ґрунту за рухомими формами Zn можна ідентифікувати як сильне і тільки на 6 ділянках відбору проб – як помірне. Збільшення валового вмісту Zn зумовлювало підвищення його рухомості, проте при нормуванні було встановлено значну невідповідність при визначенні категорій забруднення ґрунту, слід відмітити, що реальну небезпеку становлять саме рухомі форми, тому при визначенні рівня забруднення їх обов'язково належить брати до уваги.

Таблиця 4. Нормування поелементного забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно природного геохімічного фону за рухомими формами

Адміністративна одиниця	Категорія забруднення ґрунту			
	природна флуктуація	слабка	помірна	сильна
Амур-Нижньодніпровський район			<u>5,68 (5,37-5,98)</u> 2	<u>34,06 (8,65-95,50)</u> 11
Індустріальний район			<u>3,57</u> 1	<u>55,00 (17,09-80,47)</u> 12
Новокодацький район				<u>104,44 (13,63-774,22)</u> 12
Самарський район			<u>5,86</u> 1	<u>32,77 (9,06-132,91)</u> 7
Соборний район			<u>2,00</u> 1	<u>40,26 (12,61-125,69)</u> 7
Центральний район				<u>73,24 (25,89-153,40)</u> 3
Чечелівський район				<u>103,40 (21,13-930,63)</u> 9
Шевченківський район			<u>5,76</u> 1	<u>73,15 (7,17-147,71)</u> 6
Лівобережжя			<u>5,20 (3,57-5,98)</u> 4	<u>37,45 (8,65-132,91)</u> 22
Правобережжя			<u>3,88 (2,00-5,76)</u> 2	<u>84,44 (7,17-930,63)</u> 37
м. Дніпро			<u>4,76 (2,00-5,98)</u> 6	<u>66,92 (7,17-930,63)</u> 59

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Значення ГДК для рухомих форм Zn, втім як і для валу, досить високе і становить 23 мг/кг ґрунту, порівняно до 1,08 – фон. Згідно проведеного нормування відносно ГДК за рухомими формами Zn неза-

бруднених ділянок на території м. Дніпро не виявлено, за рівнем забруднення вони розподілились майже рівномірно від толерантного до небезпечного (табл. 5). Як і при нормуванні за фонову кон-

центрацією, так і при використанні в якості нормативу – ГДК, характеристика забрудненню надана як

небезпечна порівняно до валового вмісту, хоча і в меншій мірі.

Таблиця 5. Нормування поелементного забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно ГДК за рухомими формами

Адміністративна одиниця	Рівень забруднення ґрунту			
	безпечний	толерантний	помірно небезпечний	небезпечний
Амур-Нижньодніпровський район		<u>0,43 (0,25-0,70)</u> 5	<u>1,37 (1,07-1,62)</u> 5	<u>3,04(2,14-4,48)</u> 3
Індустріальний район		<u>0,49 (0,17-0,80)</u> 2		<u>3,18 (2,12-3,78)</u> 3
Новокодацький район		<u>0,75 (0,64-0,91)</u> 3	<u>1,30 (1,03-1,93)</u> 5	<u>12,53 (2,34-36,35)</u> 4
Самарський район		<u>0,51 (0,28-0,84)</u> 5	<u>1,14 (1,06-1,22)</u> 2	<u>6,24</u> 1
Соборний район		<u>0,49 (0,09-0,63)</u> 4	<u>1,62 (1,30-1,94)</u> 2	<u>4,07 (2,27-5,87)</u> 2
Центральний район			<u>1,56 (1,22-1,90)</u> 2	<u>7,20</u> 1
Чечелівський район		<u>0,96 (0,92-0,99)</u> 2	<u>1,20 (1,16-1,23)</u> 2	<u>7,88 (2,48-17,61)</u> 5
Шевченківський район		<u>0,31 (0,27-0,34)</u> 2	<u>1,63 (1,30-1,95)</u> 2	<u>5,67 (3,62-6,94)</u> 3
Лівобережжя		<u>0,47 (0,17-0,84)</u> 12	<u>1,31 (1,06-1,62)</u> 14	<u>3,56 (2,12-6,24)</u> 7
Правобережжя		<u>0,61 (0,09-0,99)</u> 11	<u>1,60 (1,03-1,95)</u> 13	<u>8,12 (2,27-36,35)</u> 15
м. Дніпро		<u>0,54 (0,09-0,99)</u> 23	<u>1,50 (1,03-1,95)</u> 20	<u>6,67 (2,12-36,36)</u> 22

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Представлення коефіцієнту концентрації Zn у картографічному вигляді наглядно показало строкатість і нерівномірність розповсюдження забруднення по території м. Дніпро. Інтенсивність забруднення Zn згідно В.В. Добровольського (1999) [8, с. 641] слід визнати як дуже сильну, чому в більшій мірі сприяло підвищення рухомості – до 87 % та широта розповсюдження – більше ніж 70 % від загальної території міста, чим накопичення валового вмісту.

Буферні можливості щодо забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро за територіальною ознакою носять фрагментарний характер, а саме, його валовий вміст ще не досяг значень ГДК всього на 18 ділянках відбору проб, котрі розподілились

між лівою та правою частинами міста майже рівномірно, 10 і 8 відповідно (табл. 6). В середньому розрахована буферна здатність по місту для Zn становила до 30 мг/кг, традиційно вища на лівобережжі, котре зазнало інтенсивного промислового розвитку дещо пізніше. Значні запаси буферності на окремих ділянках визначались не стільки процесом деконцентрації, котрий майже не відчувався загалом по території міста, скільки достатньою межею ГДК – 100 мг/кг, яка перевищувала природний геохімічний фон більш ніж в 2,5 рази, тому не дивно що зазначені запаси були притаманні зеленим зонам вздовж р. Дніпро на периферії лівого берегу та в техногенно-ненавантаженому Соборному районі.

Таблиця 6. Буферна здатність ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро щодо забруднення Zn, мг/кг

Адміністративна одиниця	Загальна кількість ділянок	Буферна здатність
Амур-Нижньодніпровський район	13	<u>58,71 (37,45-84,73)</u> 4
Індустріальний район	5	<u>24,25</u> 1
Новокодацький район	12	<u>22,25 (1,80-44,31)</u> 3
Самарський район	8	<u>13,18 (1,89-31,99)</u> 5

Соборний район	8	<u>34,79 (11,95-80,41)</u> 3
Центральний район	3	
Чечелівський район	9	<u>0,20</u> 1
Шевченківський район	7	<u>28,05</u> 1
Лівобережжя	26	<u>32,50 (1,89-84,73)</u> 10
Правобережжя	39	<u>24,92 (0,20-80,41)</u> 8
м. Дніпро	65	<u>29,13 (0,20-84,73)</u> 18

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Антропогенне забруднення Zn ґрунту підтверджували високі значення техногенності на 55 ділянках відбору проб (табл. 7) в деяких випадках навіть вище 90 %, як приміром в зоні впливу південно-західної групи заводів. Традиційно вона мала ширші ареали розповсюдження і була вищою на правобережжі, чим на лівобережній частині мі-

ста. Процеси деконцентрації відносно цього хімічного елементу майже не притаманні ґрунтам урбо-екосистеми м. Дніпро, тільки частково вони зафіксовані на території Амур-Нижньодніпровського району. На решті території згідно профільного підходу при нормуванні на вміст Al чітко просліджувався техногенний характер впливу відносно накопичення Zn в ґрунтах урбоекосистеми м. Дніпро.

Таблиця 7. Техногенність Zn в ґрунтах урбоекосистеми м. Дніпро, %

Адміністрати-вна одиниця	Загальна кількість ділянок	Техногенність, %		
		низька	середня	висока
Амур-Нижньодніпровський район	13	<u>19,81 (17,59-22,02)</u> 2	<u>64,28 (60,50-67,37)</u> 3	<u>84,61 (78,41-89,75)</u> 4
Індустріальний район	5	<u>30,41</u> 1		<u>81,55 (71,51-89,18)</u> 3
Новокодацький район	12	<u>29,49 (13,23-48,08)</u> 4	<u>61,55</u> 1	<u>83,66 (75,09-91,12)</u> 5
Самарський район	8	<u>14,33 (0,93-45,07)</u> 5		<u>75,95 (70,81-80,58)</u> 2
Соборний район	8	<u>8,37 (3,15-18,74)</u> 3		<u>77,29 (70,78-80,80)</u> 4
Центральний район	3	<u>45,78</u> 1		<u>81,05 (78,14-83,93)</u> 2
Чечелівський район	9	<u>29,70 (14,62-41,96)</u> 3	<u>56,81 (52,89-60,73)</u> 2	<u>82,65 (71,17-88,84)</u> 4
Шевченківський район	7	<u>32,48</u> 1	<u>54,67</u> 1	<u>82,80 (77,44-88,97)</u> 4
Лівобережжя	26	<u>17,71 (0,93-45,97)</u> 8	<u>64,28 (60,50-67,37)</u> 3	<u>81,61 (70,81-89,75)</u> 9
Правобережжя	39	<u>25,87 (3,15-48,08)</u> 12	<u>57,46 (52,89-61,55)</u> 4	<u>81,65 (70,78-91,12)</u> 19
м. Дніпро	65	<u>22,60 (0,93-48,08)</u> 20	<u>60,38 (52,89-67,37)</u> 7	<u>81,64 (70,78-91,12)</u> 28

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Висновки. Змістовно доведена перспективність впровадження системи комплексної оцінки для поелементного забруднення важкими металами ґрунтів урбоекосистем шляхом нормування валового вмісту, рухомих та потенційно рухомих форм за допомогою ГДК і природного геохімічного фону

паралельно з визначенням привнесеної техногенної частки забруднювачів та запасів буферності щодо подальшого антропогенного навантаження з метою забезпечення норм екобезпеки. На прикладі ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро перевірена її ефективність відносно встановлення ступеня екологічної

небезпеки, а саме: за рухомими формами важких металів встановлено високий рівень забруднення Zn й здатність його до міграції, а саме, сильна категорія за фонову концентрацією та небезпечний рівень за ГДК через практично повну втрату буферності, що дещо відрізнялось від валового вмісту – помірна категорія та небезпечний рівень відповідно. Встановлено техногенний характер забруднення міських ґрунтів при майже повній втраті запасів буферності відносно майбутнього антропогенного навантаження внаслідок привнесення Zn.

Перспективи подальших досліджень потрібно зосередити на удосконаленні системи екологічного моніторингу поліелементного забруднення ВМ ґрунтів урбоєкосистем з урахуванням порушення їх стану внаслідок будівельної діяльності та при функціонуванні промислових підприємств для підтримання екологічної безпеки техногенно навантажених регіонів на належному рівні.

Список літератури:

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко. – Москва: Логос, 2000. – 627 с.
2. Бингам Ф.Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Ф.Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
3. Богданов Н.А. Метод оценки состояния земель по индексу загрязнения почв / Н.А. Богданов, Ю.С. Чуйков, В.С. Рыбкин // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1(23). – С. 102–112.
4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов / А.П. Виноградов. – Москва: Изд-во АН СССР. – 1957. – 276 с.
5. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. – 96 с.
6. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почва. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – Введ. 01.01.85. – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
7. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу / Я.М. Грушко. – Ленинград: Химия, 1987. – 160 с.
8. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.
9. Методи аналізу ґрунту і рослин: методичний посібник / За заг. ред. С.Ю. Булигіна. – Харків: Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського, 1999. – 157 с.
10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукционной растительности. – Москва, 1992. – 61 с.
11. Мотузова Г.В. Природа буферности почв к внешним химическим воздействиям // Почвоведение. – 1994. – №4. – С. 46–52.
12. Налета Е.В. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на фитотоксические свойства почв городов Ростовской области / Е.В. Налета, С.И. Колесников, К.Ш. Казеев // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – №112(08) (Режим доступа <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/54.pdf>)
13. Снакин В.В. Химическое загрязнение почв и возможность его нормирования / В.В. Снакин // Теоретические основы охраны почв. Москва: Институт охраны природы, 1992. – С.17–21.
14. Тарасова В.В. Екологічна статистика: Підручник / В.В. Тарасова. – Київ: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
15. Фатеев А.І. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / А.І. Фатеев, Я.В. Пашенко. – Харків: КП “Друкарня № 13”, 2003. – 117 с.
16. Яковишина Т.Ф. Нормування поелементного та поліелементного забруднення за допомогою ГДК / Т.Ф. Яковишина // Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. – 2016. – Вип. 87. – С. 152–158.
17. Яковишина Т.Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем / Т.Ф. Яковишина. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2013. – 101 с.
18. Baron S. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-Lozere, France) / S. Baron, J. Carignan, A. Ploquin // Environ. Sci. Technol. – 2006. – V. 40. – P. 5319–5326.

Khapilin V.K
student

Kharkiv National University of Radioelectronics,
candidate member of the Small Academy of Sciences of Ukraine

Osetinsky I.O

The teacher of the highest category
Kharkiv General Education School №71

Yashkov I.O

Professor
Kharkov National University of Radioelectronics

Хапилин В.К

студент

Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники,
кандидат в члены Малой академии Наук Украины

Осетинский И.О

Учитель высшей категории
Харьковская Обще Образовательная Школа №71

Яшков И.О.

Профессор

Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники

USING SCENARIO FILES FOR AUTOMATIC USERS ACTIONS ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЙЛОВ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Summary: Studying the problems of automating custom actions. Create an alternative computer management application for solving the tasks of automating user actions.

Key words: application program, bat script, java script, database, user.

Аннотация: Изучение проблем автоматизации пользовательских действий. Создание прикладной программы альтернативного управления компьютером для решения задач автоматизации пользовательских действий.

Ключевые слова: программа прикладного типа, бат-скрипт, java-скрипт, база данных, пользователь.

Постановка проблемы. В настоящее время распространена проблема неумения пользователей выполнить простейшие задачи для обслуживания компьютера и поддержания его в рабочем состоянии. Речь идет вовсе не практических навыках по сборке, чистке или ремонту оборудования, а о серии простых операций, таких как: программная чистка свободного места на жестком диске, исправление и удаление ошибок реестра, изменение размера дампа памяти, дефрагментация виртуального дискового пространства и многих других.

Но наиболее неприятным в сложившейся ситуации является то, что в мире существует огромное количество пользователей не имеющих ни малейшего представления о подобных операциях, их интересуют куда более практические задачи, из серии: открытие окна браузера, вход в свою любимую социальную сеть, открытие дисковода компьютера, установка или удаление программы (игры), создание файла на рабочем столе (документа Microsoft Word) и многие другие.

Исходя из имеющихся предпосылок, важность изучения новых способов автоматизации действий пользователя является безусловной и неоспоримой.

Анализ последних исследований и публикаций. На данный момент существует достаточно много программ, которые предлагают возможности управления компьютером посредством нестандартных действий.

Проблему распознавания речи с помощью компьютера программисты-разработчики решают

давно. Первые программы для массового пользователя появились еще в 90-х годах прошлого столетия. За этот срок было создано много программ голосового управления компьютером и преобразования речи в текст. На сегодняшний день программы лидеры в этой области:

- Горыныч 5;
- Web Speech;
- RealSpeaker;
- Dragon (только для английского языка).

Эти программы выдают наиболее оптимальный результат.

Нельзя не упомянуть о таких продуктах как *Siri, Microsoft Cortana, Samsung Bixby, Google Now*. Но они скорее выполняют роль справочно-поисковой системы, чем голосового управления и получили распространение в мобильных операционных системах. Причины этого лежат, наверное, чисто психологической проблеме. Разговаривать с телефоном более привычно, чем с компьютером. Но в целом, это направление управления компьютерными устройствами, рано или поздно, станет преобладающим.

Управление жестами - Специфический метод, позволяющий управлять устройством, используя жесты. Данный метод получил широкое распространение, не в компьютерах, а в компьютерных приставках. Самым известным устройством, реализующим данную функцию, является Microsoft Kinect. Это бесконтактный сенсорный игровой контроллер, сначала представлен для консоли Xbox

360, и значительно позже для персональных компьютеров под управлением ОС Windows. Существуют и другие, не менее популярные решения:

- Wii Remote основной контроллер для игровой консоли Wii компании Nintendo;
- PlayStation Move чувствителен к движению игровой контроллер для приставок Sony PlayStation 3 и Sony PlayStation 4;
- Razer Hydra - игровой контроллер для ПК. Созданный по технологии компании Sixense Entertainment совместно с Razer.

Кроме выше перечисленных программно-аппаратных комплексов, реализующих управления компьютером с помощью жестов, существуют программные решения, которые используют веб-камеру для жестового управления компьютером. Это и Flutter, который недавно получил полную поддержку Chrome, ведь стартап в октябре 2013 купила Google, и PointGrab продвинулась в этой тематике настолько, что ее продуктами пользуется Acer, а Lenovo на основе этих разработок делает свой собственный Motion Control 2.0 и еще много других.

Направление безусловно очень перспективное, но пока используется только для реализации управления в играх. Ведь действительно размахивать руками перед ноутбуком сидя в аэропорту мало у кого будет желание.

Жесты мышью - способ управления программами в компьютере с помощью движений мыши (Рисунок 1), которые превращаются в команды.

Идея способа заключается в замене навигации по командам меню на ввод команд с помощью знаков, нарисованных на плоскости экрана движениями мыши. «Рисовать» команды может быть быстрее и проще, чем искать нужный пункт меню или использовать горячие клавиши. Кроме того, таким образом облегчает работу для тех, кому трудно пользоваться клавиатурой.

Жест фиксируется, если нажать и удерживать старт-кнопку (обычно это правая кнопка мыши) и одновременно «начертить» мышью нужную фигуру.

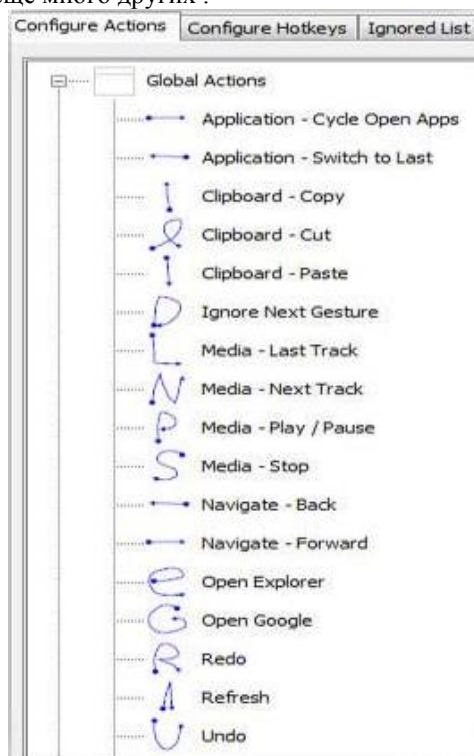


Рисунок 1. Примеры жестов для управления компьютером мышью.

В зависимости от программы, движение может отображаться на экране в виде следа или не отображаться. Широкое распространение получил в браузерах.

Очень удобный и быстрый способ управления компьютером, но большая проблема с использованием жестов - отсутствие общих стандартов применения и отображения жестов. Каждая из программ делает это по-своему.

Панель быстрого доступа – один из наиболее привычных способов облегчения доступа пользователя к необходимому файлу или программе (Рисунок 2).

Данный метод имеется во всех версиях Windows, в том или ином виде. Открыв данное средство пользователю достаточно ввести несколько начальных букв из названия искомого файла (программы), как появятся доступные варианты для выбора.

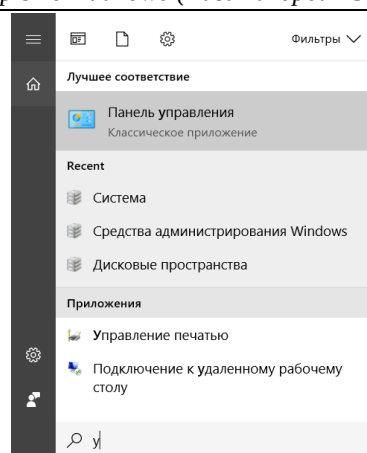


Рисунок 2. Пример панели быстрого доступа (поиск в Windows 10).

Единственным недостатком данного метода является необходимость знать точное название объекта поиска, в случае же если пользователь забыл название, ему придется заниматься поиском вручную.

Цель статьи – уточнить имеющиеся на данный момент проблемы в автоматизации действий пользователя, при помощи нестандартных методов управления устройством; изложить новый метод автоматизации на примере программы прикладного типа PC-helper, которая была разработана нами для удовлетворения нужд пользователя; описать принцип действия и особенности данной программы.

Изложение основного материала. Все приведенные ранее методы управления компьютером имеют ряд недостатков, заключающихся в неудобстве и сложности использования, необходимости дополнительных действий от пользователя, или же знания необходимых терминов или сложных названий. В связи с этим их применение не доступно большинству пользователей.

Программисты и системные администраторы, обладающие знаниями в области написания bat и java скриптов упрощают для себя выполнение большинства рутинных операций, создавая исполнительные файлы, которые могут выполнить определенную последовательность простейших команд.

Данные исполнительные файлы лежат в основе разработанного метода. Суть метода заключается в объединении исполнительных файлов под одной оболочкой, имеющей доступ к базе данных, в которой содержится информация о поступающей команде и соответствующем ей исполнительном файле. (Рисунок 3) При взаимодействии пользователя с оболочкой, вводимый запрос обрабатывается и сравнивается на соответствие в текстовой базе команд, в случае обнаружения соответствия, программная оболочка запустит соответствующий команде исполнительный файл.

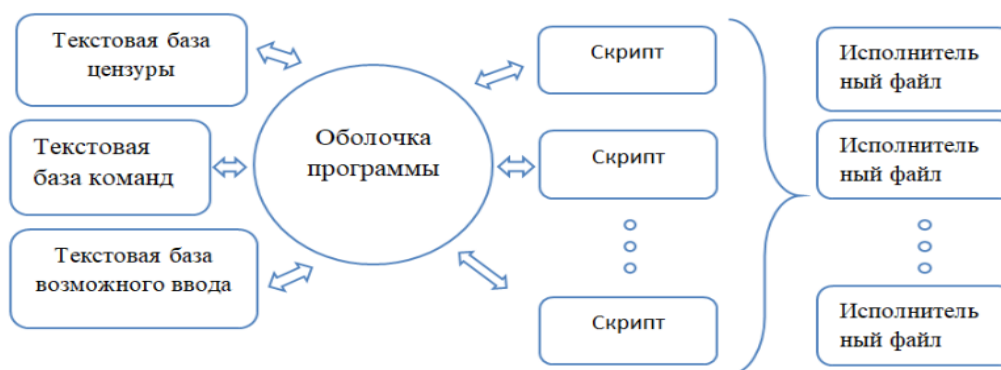


Рисунок 3. Принципиальная схема предлагаемого нами метода.

Программная оболочка работает по принципу посимвольного сравнения. При каждой новой вводимой букве, оболочка делает новый запрос к доступным базам. При вводе команд, оболочка работает сразу с тремя имеющимися текстовыми базами: база цензуры, база команд, база возможного ввода.

База цензуры – текстовая база, необходимая для пресечения ввода нецензурных выражений или запретных команд.

База команд – текстовая база, содержащая в себе попарное соответствие пользовательской команды и исполнительного файла, выполняющего необходимые пользователю действия.

База возможного ввода – текстовая база, необходимая для вывода подсказки, максимально приближенной к запросу пользователя.

Для практической демонстрации метода исполнительных файлов была разработана программа

PC_helper (Рисунок 4). Данная программа была создана на языке Visual Basic в среде Microsoft Visual

Studio, без каких-либо проблем работает в средах Windows 7, Windows 8 и Windows 10.

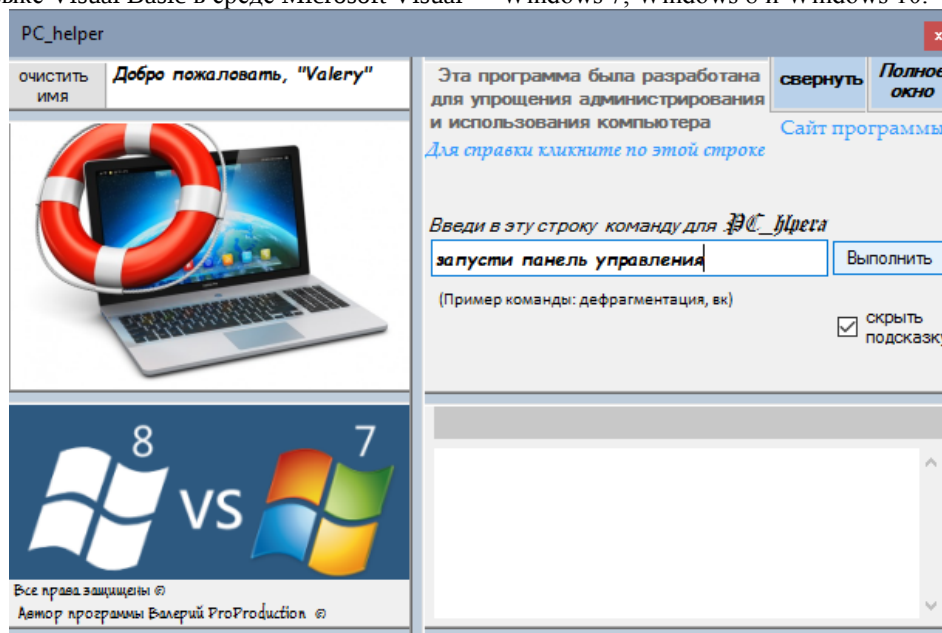


Рисунок 4. Оболочка программы PC_helper.

Минимальные системные требования - компьютер под управлением вышеперечисленных операционных систем.

PC_helper позволяет решить такие возможные проблемы как:

- Возникновение случайной ошибки в написании программной команды в случае с командной строкой;
- Скорость выполнения задания значительно увеличивается, так как не нужно вводить команду при каждом новом администрировании
- С помощью средств удаленного администрирования возможно выполнить задание сразу для нескольких компьютеров;

• Код данной программы является открытым, следовательно знающий программист сможет его изменить, тем самым настроить его под свои нужды и исправить возможные ошибки.

• Максимальное упрощение вводимой команды до уровня, понятного любому пользователю.

Для данной демонстрационной модели все текстовые базы представлены обычными текстовыми файлами (.txt). В текстовой базе команд запрашиваемая команда находится на одной строке, а название соответствующего ей исполнительного файла находится на следующей строке (Рисунок 5). По причине вариативности команд пользователя, одному исполнительному файлу может соответствовать до 10 пользовательских команд.

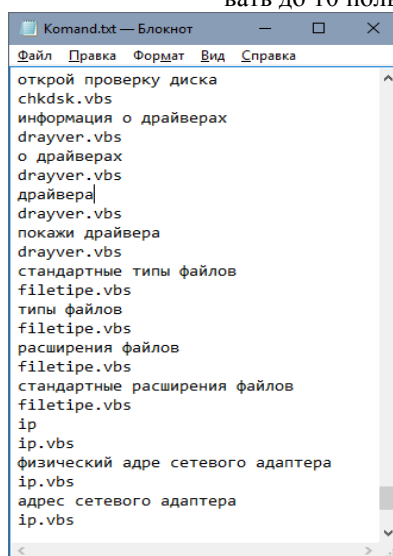


Рисунок 5. Текстовая база команд программы PC_helper.

Подавая пользовательский запрос в текстовую базу команд возможны 2 результата: при совпадении пользовательского запроса и команды в базе

выдается сообщение об удачном завершении операции, а при неудаче, соответственно сообщение об ошибке (Рисунок 6).

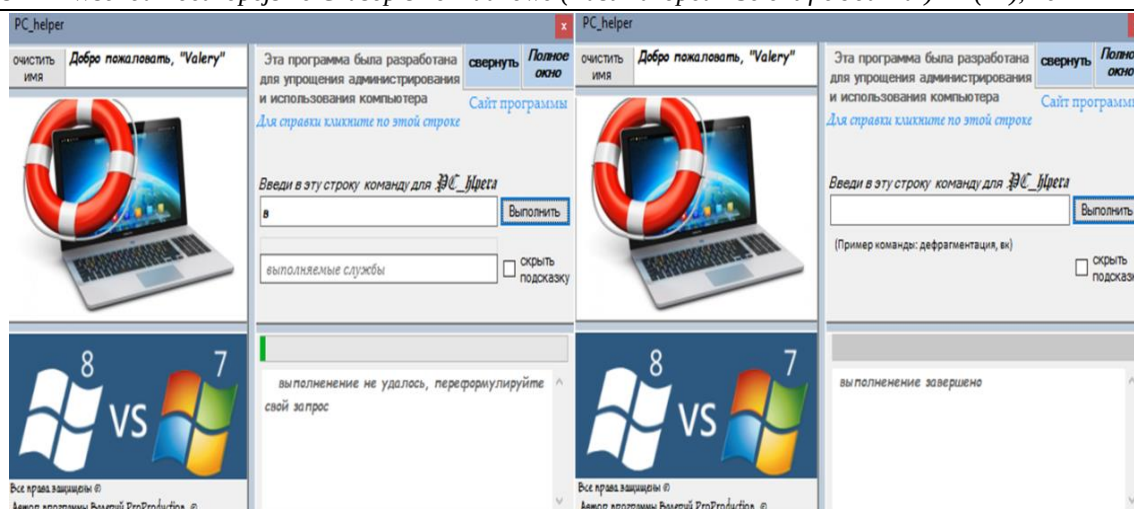


Рисунок 6. Примеры удачного и неудачного выполнения пользовательского запроса программой PC_helper.

В программе имеется достаточно подробная справка. В ней объясняются общие принципы работы программы и особенности ее работы (Рисунок 7).

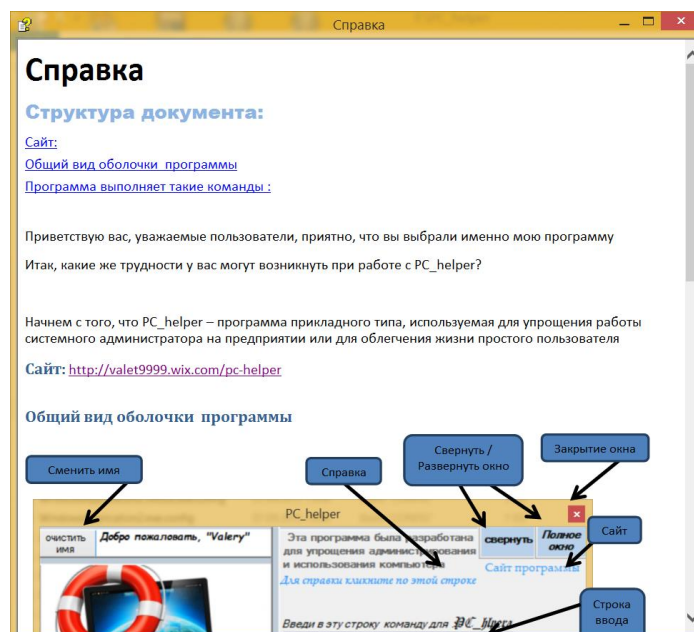


Рисунок 7. Файл справки программы PC_helper.

Для поддержки программы был создан веб-сайт, который доступен по ссылке <http://valet9999.wix.com/pc-helper>.

На сайте доступны ссылки на актуальную и предыдущие версии, объяснены различия между версиями программы и описаны планы относительно будущих версий.

Кроме того, на сайте есть контакты автора и онлайн чат для обратной связи с автором и оперативного общения.

Выводы и предложения. Методы альтернативного управления компьютером очень актуальны. Разнообразие способов управления открывают широкий простор для творческого подхода к программированию.

Метод, который мы представили, имеет некоторые преимущества перед существующими методами этого класса:

- Во-первых, это простота использования. Пользователю достаточно открыть оболочку программы и ввести свой запрос.
- Во-вторых, выбранный нами метод управления с помощью исполнительных файлов не требует дополнительных умственных напряжений от пользователя. Пользователю вовсе не нужно запоминать сложные термины, названия и определения, не нужно запоминать пути к файлам (их расположение на виртуальном диске компьютера), пользователю достаточно сформулировать общий запрос, доступными ему словами, оболочка же программы предоставит ему подсказку в случае возникновения сложностей.

- В-третьих, данный метод не доставляет пользователю никаких неудобств. Пользователю не нужно размахивать руками перед камерой своего устройства или переживать из-за того что его разговор с машиной может быть неправильно воспринят окружающими.

- В-четвертых, первоначально разработанный нами метод является общедоступным и свободным для корректировки или персонализации, при желании пользователь имеет возможность, прочитав инструкцию, добавить необходимые ему команды и соответствующие им исполнительные файлы. Также пользователь может подать на рассмотрение разработчику программы свой новый функционал, с целью включить его в следующую версию программы.

Разработанная нами демонстрационная программа PC_helper прекрасно подходит для демонстрации работоспособности данного метода. Данную программу можно скачать на сайте <http://valet9999.wix.com/pc-helper>.

Список літератури:

1. Роман С. Сценарные языки:Python / Сузи Роман. // Мир ПК. – 2001. – №9.
2. Билл С. 10 советов по использованию сценариев / Стюарт Билл. // Windows IT Pro. – 2006. – №8.

3. Windows Scripting Host Resources [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://labmice.techtarget.com/scripting/WSH.htm>.

4. Компилятор и интерпретатор [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://cpp.com.ru/shildt_spr_po_c/01/0105.html.

5. VBScript Реализация языка программирования Basic [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://progopedia.ru/implementation/vbscript/>.

6. Пакетные (batch, bat) файлы [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.windowsfaq.ru/content/category/3/7/45>.

7. By Thomas. The Difference Between BAT- and VBS-files [Электронный ресурс] / By Thomas // Windows Guides. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: <http://mintywhite.com/software-reviews/customization-software/batfiles/>.

8. Управление компьютером голосом [Электронный ресурс] // Управление компьютером без рук – Режим доступа до ресурсу: <https://sites.google.com/site/upravleniekomputerombezruk/upravlenie-komputerom-golosom>.

9. Управление голосом и жестами на компьютере [Электронный ресурс] // Bursin.ru. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://bursin.ru/upravlenie-golosom-i-zhestami-na-kompyutere/>.

#11 (27), 2017 część 1
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

#11 (27), 2017 part 1
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

**E-mail: info@eesa-journal.com ,
<http://eesa-journal.com/>**

Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

**E-mail: info@eesa-journal.com ,
<http://eesa-journal.com>**