

**CONFIDERATION OF NAVIGATION DANGER AT THE CHOICE OF
MANOEUVRE OF DIVERGENCE OF SHIP WITH TWO TARGETS****УЧЕТ НАВИГАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ МАНЕВРА
РАСХОЖДЕНИЯ СУДНА С ДВУМЯ ЦЕЛЯМИ**

**Т. Ю. Omelchenko, PhD, professor, Е. А. Petrichenko, PhD, professor,
Т.Ю. Омельченко, к.т.н., доцент, Е.А. Петриченко, к.т.н., доцент,**

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

ABSTRACT

It registers in the publication, that one of major is the problem of providing of safety of navigation, the successful decision of which conduces to the decline of harm of human life and environment.

Paid attention, that sailing of maritime vessels in the straitened districts is considerably complicated by the navigation obstacles and intensive navigation, which create pre-conditions for the origin of emergency situations, thus sailing in the straitened districts is characterized by the fleeting change of navigation situation, that requires development of operative methods of estimation of danger of rapprochement and choice of safe maneuver of divergence. The high level of the use on the ship of information technologies determines expedience of computer realization of the developed methods of prevention of collision of vessels.

It is specified, that in the conditions of intensive navigation there are the situations of dangerous rapprochement of ship with two targets at presence of navigation danger in the district of maneuvering.

The analysis of the last achievements and publications is resulted on the theme of prevention of collisions of vessels and it is shown that at the locally-independent management for this purpose offered method of forming of flexible strategies of divergence, methods of nonlinear integral invariance and theories of optimum discrete processes. Formalization is also produced cooperation of vessels in the situations of dangerous rapprochement and choice of strategy of divergence.

Strategy of urgent divergence is considered at rapprochement of vessels on small distances and description of process of divergence of vessels and choice of maneuver of divergence is produced in terms of differential antagonistic game.

It is shown that for the decision the problem set in the article it is necessary to choose the course of deviation the nearest to programmatic, and which does not belong to none of three impermissible great number of courses of deviation: with the first target, with the second target and with a navigation danger.

The condition of the safe passing by the ship of point danger, which foresees superiority of value of distance of the shortest rapprochement with her above the value of maximum possible distance of rapprochement, is resulted, and his analytical expression which allows to expect scope safe courses of deviation of ship. For estimation of danger of rapprochement of ship with a target equalizations of scopes of region of impermissible parameters of motion of ship are resulted.

The situation of rapprochement of ship is considered with two targets and the regions of impermissible values of parameters of motion of ship in relation to each of targets are formed. The condition of dangerous rapprochement is formulated.

The example of situation of rapprochement of ship with two targets is represented, when there is a point navigation danger in the district of sailing. The graphic reflection of regions of impermissible values of parameters of motion of ship in relation to each of targets is shown, on which the maximum courses of deviation on navigation limitations are also inflicted by the dotted

lines. The optimum courses of deviation by the change of course to the right and to the left are certain.

Keywords: safety of navigation, warning of collision of vessels, divergence with two targets, navigation dangers.

РЕФЕРАТ

У публікації наголошується, що однією з найважливіших є проблема забезпечення безпеки судноводіння, успішне рішення якої веде до зниження шкоди людського життя і навколишнього середовища.

Звернута увага, що плавання морських суден в обмежених районах значно ускладнюється навігаційними перешкодами і інтенсивним судноплаством, які створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій, причому плавання в обмежених районах характеризується швидкоплинною зміною навігаційної ситуації, що вимагає розробки оперативних методів оцінки небезпеки зближення і вибору безпечного маневру розходження. Високий рівень використання на судні інформаційних технологій визначає доцільність комп'ютерної реалізації методів запобігання зіткненню суден, що розробляються.

Вказується, що в умовах інтенсивного суднопластва виникають ситуації небезпечного зближення судна з двома цілями за наявності навігаційної небезпеки в районі маневрування.

Приведено аналіз останніх досягнень і публікацій по темі запобігання зіткненням суден і показано, що при незалежному управлінні для цього запропоновані метод формування гнучких стратегій розходження, методи нелінійної інтегральної інваріантності і теорії оптимальних дискретних процесів. Також проведена формалізація взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення і вибір стратегії розходження.

Розглянута стратегія екстреного розходження при зближенні суден на малі відстані і проведено опис процесу розходження суден і вибір маневру розходження в термінах диференціальної антагоністичної гри.

Показано, що для вирішення поставленої в статті задачі необхідно вибрати найближчий до програмного курс ухилення, який не належить жодній з трьох неприпустимих підмножин курсів ухилення: з першою ціллю, з другою ціллю і з навігаційною небезпекою.

Приведена умова безпечного проходження судном точкової небезпеки, яке передбачає перевагу значення дистанції найкоротшого зближення з нею над значенням граничної допустимої дистанції зближення, і його аналітичний вираз, який дозволяє розрахувати граничні безпечні курси ухилення судна. Для оцінки небезпеки зближення судна з цілями приведені рівняння меж області неприпустимих параметрів руху судна.

Розглянута ситуація зближення судна з двома цілями і сформовані області неприпустимих значень параметрів руху судна щодо кожної з цілей. Сформульована умова небезпечного зближення.

Представлено приклад ситуації зближення судна з двома цілями, коли в районі плавання знаходиться точкова навігаційна небезпека. Показане графічне відображення областей неприпустимих значень параметрів руху судна щодо кожної з цілей, на які також нанесені пунктирними лініями граничні курси ухилення по навігаційних обмеженнях. Визначені оптимальні курси ухилення зміною курсу управо і вліво.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, розходження з двома цілями, навігаційні небезпеки.

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

Одной из важнейших является проблема обеспечения безопасности судовождения, от успешного решения которой зависит уменьшение количества аварийных случаев и, следовательно, снижение вреда человеческой жизни и окружающей среде.

Плавание морских судов в стесненных районах значительно осложняется навигационными препятствиями и интенсивным судоходством, которые создают предпосылки для возникновения аварийных ситуаций. Плавание в стесненных районах характеризуется быстротекущим изменением навигационной ситуации, поэтому требуется разработка оперативных методов оценки опасности сближения и выбора безопасного маневра расхождения. Высокий уровень использования на судне информационных технологий определяет целесообразность компьютерной реализации разрабатываемых методов предотвращения столкновения судов.

В условиях интенсивного судоходства возникают ситуации опасного сближения судна с двумя целями при наличии навигационной опасности в районе маневрирования.

Поэтому разработка способов управления судами в ситуации опасного сближения при наличии навигационной опасности, чему посвященная настоящая работа, является актуальным и перспективным научным направлением.

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

Подробное исследование методов локально-независимого управления приведено в работе [1], в которой также предложен метод формирования гибких стратегий расхождения. Формализация процесса расхождения методом нелинейной интегральной инвариантности предложена в работе [2], а в работе [3] методы теории оптимальных дискретных процессов используются для описания процесса расхождения судов.

В работе [4] рассмотрены принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения судов и приведен анализ методов их реализации.

Теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения излагается в работе [5]. Рассмотрены Правила уклонения от столкновения COLREG и алгоритм по уклонению от столкновения. Показано, что исследования по автоматизации управления судном могут быть реализованы классическим подходом, который основан на математических моделях и алгоритмах, или же представлены компьютерной технологией, использующей искусственный интеллект.

Процедура выбора стандартного оптимального маневра расхождения судов предложена в работе [6], а взаимодействие судов в ситуации опасного сближения и выбор стратегии расхождения для предупреждения их столкновения рассмотрены в работе [7].

Стратегия экстренного расхождения при сближении судов на малые расстояния исследована в работе [8]. Описание процесса расхождения судов и выбор маневра расхождения в терминах дифференциальной антагонистической игры предложено в работе [9].

Учету инерционности судна и навигационных опасностей при расчете параметров маневра расхождения судна посвящены работы [10, 11].

В работе [12] обсуждается метод оценки риска столкновения с использованием режима истинного движения. Одной из причин возможного столкновения судов является метод оценки риска столкновений. Как правило, риск столкновения судна оценивается по значению параметров точки кратчайшего сближения. В этом случае трудно обнаружить пропуск опасной цели при плавании в стесненных водах.

В статье предложена линия прогнозируемого столкновения и зона препятствий по цели для оценки риска столкновения, значения которых связаны с истинным движением, и это дает возможность выявить ситуации опасного сближения и обеспечить безопасное плавание в стесненных водах.

Анализируемые работы при формировании маневра расхождения не предусматривают возникновения ситуации опасного сближения судна с несколькими целями.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является разработка способа учета навигационной опасности при выборе маневра расхождения судна с двумя целями.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Для решения поставленной задачи необходимо выбрать ближайший к программному курсу уклонения, который не принадлежит ни одному из трех недопустимых подмножеств курсов уклонения: с первой целью, со второй целью и с навигационной опасностью.

Условие безопасного прохождения точечной опасности предусматривает превосходство значения дистанции $\min l_n$ кратчайшего сближения с ней над значением предельной допустимой дистанции сближения \hat{l}_n , что аналитически выражается следующим образом:

$$\text{Abs}[l_n \sin(K_y - \alpha_n)] \geq \hat{l}_n,$$

где α_n - пеленг на точечную опасность.

Полученное выражение позволяет найти граничные безопасные курсы уклонения судна с условия $\min l_n = \hat{l}_n$, поэтому:

$$\text{Abs}[l_n \sin(K_y - \alpha_n)] = \hat{l}_n,$$

откуда граничные курсы уклонения судна K_{y*} и K_y^* :

$$K_{y*} = \alpha_n - \arcsin \frac{\hat{l}_n}{l_n};$$

$$K_y^* = \alpha_n + \arcsin \frac{\hat{l}_n}{l_n}.$$

Поэтому безопасными курсами уклонения K_y являются те, которые не принадлежат к подмножеству $[K_{y*}, K_y^*]$, т. е. $K_y \notin [K_{y*}, K_y^*]$, как показано на рис. 1.

Как указывается в работе [13], оценку опасности сближения судна с целью целесообразно производить с помощью области недопустимых параметров движения судна Ω_d , границы которой определяются для сближения судна с целью по следующим аналитическим выражениям:

$$K_1^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \quad (1)$$

причем $V_1 \geq V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})$;

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

здесь $V_1 \geq V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})$,

где K_1 и V_1 - параметры движения судна, K_2 и V_2 - параметры движения цели, $\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin \frac{d_d}{D}$, причем d_d - предельная дистанция сближения, α и D - пеленг на цель и дистанция до нее.

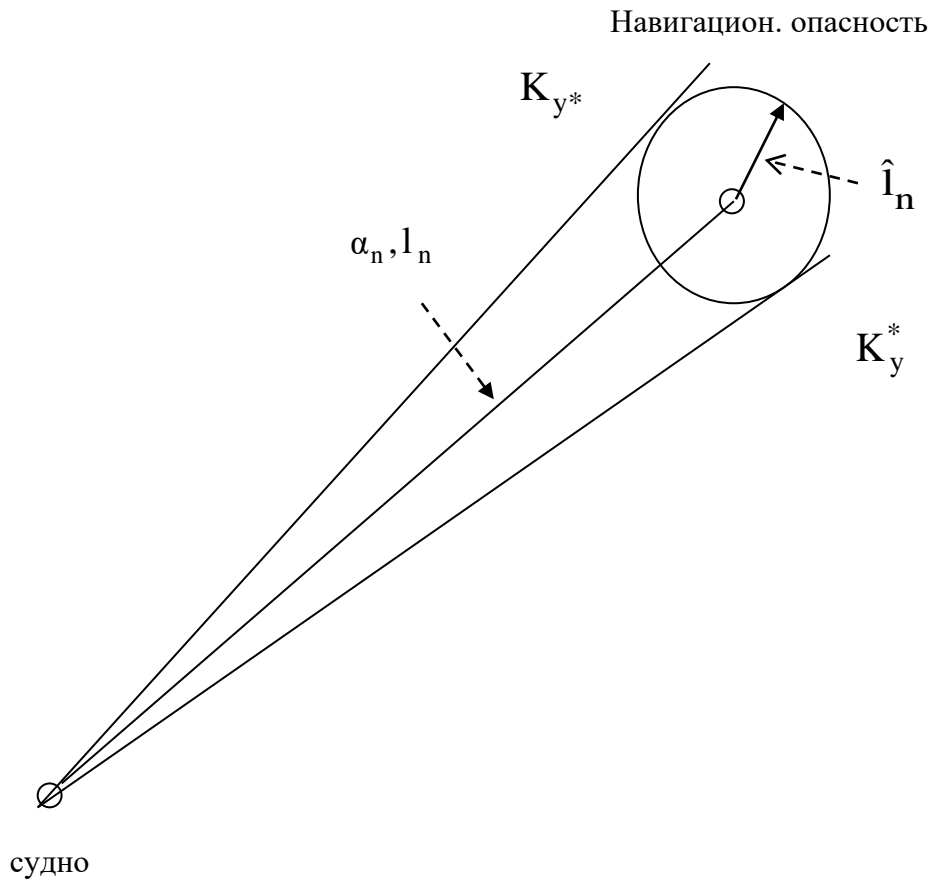


Рис. 1. Граничные безопасные курсы уклонения K_{y^*} и K_y^*

Рассмотрим ситуацию сближения судна с двумя целями, которая характеризуется параметрами движения судна K_1 и V_1 , параметрами движения первой цели K_2 и V_2 , параметрами движения второй цели K_3 и V_3 , пеленгами на цели α_{12} и α_{13} , а также дистанциями до них D_{12} и D_{13} . Сближение судна с первой целью характеризуется областью недопустимых значений параметров движения судна $\Omega_d^{(1,2)}$, границы которой рассчитываются с помощью формул (1) и (2), причем для расчета принимаются параметры K_2 , V_2 , α_{12} и D_{12} .

Аналогично формируется область $\Omega_d^{(1,3)}$ для сближения судна со второй целью, в этом случае границы области $\Omega_d^{(1,3)}$ рассчитываются по параметрам K_3 , V_3 , α_{13} и D_{13} . Затем производится проверка принадлежности точки параметров движения судна (K_1, V_1) каждой из областей $\Omega_d^{(1,2)}$ и $\Omega_d^{(1,3)}$, в результате которой делается заключение об опасности сближения судна с каждой из целей. В случае необходимости маневр расхождения судна изменением курса выбирается таким образом, чтобы точка (K_{1y}, V_1) с курсом уклонения K_{1y} не принадлежала областям $\Omega_d^{(1,2)}$ и $\Omega_d^{(1,3)}$, т. е. было справедливо условие

$(K_{1y}, V_1) \notin \Omega_d^{(1,2)} \cup \Omega_d^{(1,3)}$. При этом точка (K_{1y}, V_1) должна находиться на границе одной из областей.

Если при этом в районе маневрирования находится навигационная опасность, то курс уклонения K_{1y} должен удовлетворять также условию $K_{1y} \notin [K_{y*}, K_{y*}^*]$.

В качестве примера рассмотрим ситуацию сближения судна, следующего курсом $K_1 = 80^\circ$ и скоростью $V_1 = 23$ узла с двумя целями, которая показана на рис. 2, причем по пеленгу 70° находится точечная навигационная опасность, ограничивающая курсы уклонения судна предельными значениями $K_{y*} = 35^\circ$ и $K_{y*}^* = 105^\circ$. Области недопустимых значений параметров движения судна $\Omega_d^{(1,2)}$ и $\Omega_d^{(1,3)}$, построенные для предельной дистанции сближения $d_d = 1,0$ мили, приведены на рис. 3, на котором также нанесены пунктирными линиями предельные курсы $K_{y*} = 35^\circ$ и $K_{y*}^* = 105^\circ$. Точка с параметрами движения судна принадлежит обоим областям, поэтому судно опасно сближается с первой целью на дистанцию кратчайшего сближения $D_{\min 1} = 0,14$ мили и со второй целью на $D_{\min 2} = 0,70$ мили. Поэтому для безопасного расхождения с обоими целями и чистого прохождения навигационной опасности судно должно отвернуть либо вправо на курс $K_{1y} = 118^\circ$, либо влево на курс $K_{1y} = 35^\circ$ (рис. 3).

Курс поворота направо соответствует границе области $\Omega_d^{(1,3)}$, а курс поворота уклонением влево лимитируется навигационной опасностью.

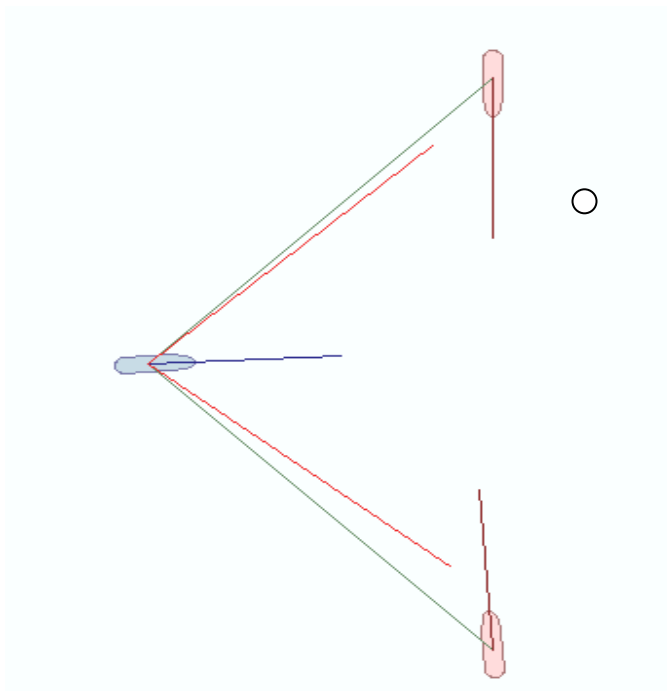


Рис. 2. Ситуация сближения судов

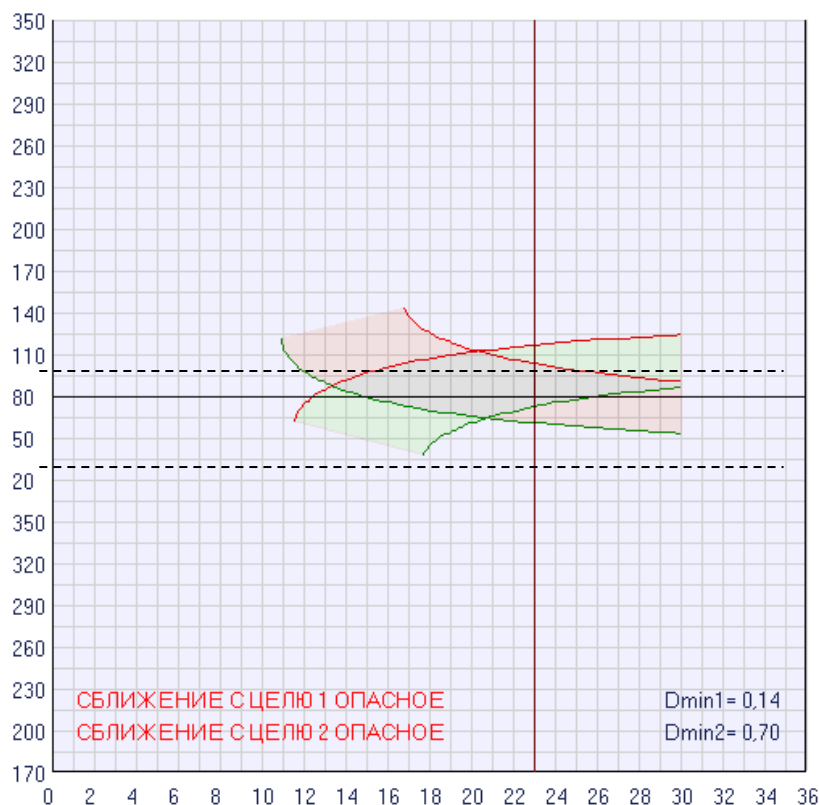


Рис. 3. Области $\Omega_d^{(1,2)}$ и $\Omega_d^{(1,3)}$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, в данной статье рассмотрена разработка способа расхождения судна с двумя целями общим уклонением с учетом навигационной опасности. В дальнейшем целесообразно рассмотреть маневр расхождения судна с двумя целями последовательными уклонениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. 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.
3. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.
4. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.
5. 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.
6. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.

7. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
8. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
9. 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.
10. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.
11. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.
12. Imazu H. Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion / Imazu H.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2017, Vol. 11, No. 1, pp. 65-70.
13. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 97 - 101.