

## Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями

Э. Н. Пятаков, В. Э. Пятаков, Т. Ю. Омельченко  
<https://doi.org/10.31174/NT2018-158VI18-19>

Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Одесса, Украина  
Corresponding author. E-mail: burmaka-mob@ukr.net

Paper received 24.01.18; Accepted for publication 29.01.18.

**Аннотация.** Для ситуации сближения судна с двумя целями предложен способ формирования областей недопустимых значений параметров движения судна относительно каждой из них. Получена процедура оценки опасности возникшей ситуации сближения по каждой цели применением сформированных областей. Показана возможность выбора маневра расхождения общим отклонением от двух целей с помощью областей недопустимых значений параметров движения судна. В качестве примера рассмотрены три ситуации сближения судна с двумя целями.

**Ключевые слова:** безопасность судовождения, процесс расхождения судов, области недопустимых параметров, маневр общим отклонением.

**Введение.** Проблема обеспечения безопасности судовождения является одной из важнейших, - от ее успешного решения зависит уменьшение количества аварийных случаев и, как следствие, снижение вреда человеческой жизни, окружающей среде, имуществу и производственным процессам.

Навигационные препятствия и интенсивное судоходство значительно осложняют плавание морских судов в стесненных районах и создают предпосылки для возникновения аварийных ситуаций. Стесненные воды являются сложными районами плавания, в которых происходит свыше 80 % всех навигационных аварий, что свидетельствует о большой сложности условий плавания и несовершенстве методов судовождения в стесненных водах.

Особенностями плавания в стесненных районах является быстротекущее изменение навигационной ситуации, что требует разработки оперативных и простых в использовании методов оценки опасности сближения и, в случае необходимости, выбора безопасного маневра расхождения. Нынешнее компьютерное оснащение производственных процессов и высокий уровень использования на судне информационных технологий определяют необходимость компьютерной реализации предлагаемых методов предотвращения столкновения судов. Следовательно, разработка способов управления судами, которые опасно сближаются, почему посвященная данная работа, является актуальным и перспективным научным направлением.

**Краткий обзор публикаций по теме.** В работе [1] для описания процесса расхождения используются методы теории оптимальных дискретных процессов, а в работе [2] предлагается формализовать процесс расхождения методом нелинейной интегральной инвариантности.

Принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов рассмотрены в работе [3], а также приведен анализ методов их реализации, причем в работе [4] проведено подробное исследование методов локально-независимого управления и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения. В работе [5] рассмотрены взаимодействие судов в ситуации опасного сближения и выбор стратегии расхождения для предупреждения их столкновения, а процедура выбора оптимального стандартного маневра расхождения пары судов рассмотрена в работе [6]. Экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближения судов предложена в работе [7].

В работе [8] излагается теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения СА. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения рассмотрены дополнительно Правила уклонения от столкновения COLREG. Также рассматриваются требования к автономной навигации, учитывающие факторы, которые влияют на процесс уклонения от столкновения. Отмечается, что исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены классическим подходом, основанным на математических моделях и алгоритмах, или компьютерной технологией, использующую искусственный интеллект. Причем областью искусственного интеллекта для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, являются эволюционные алгоритмы, логика фуззи, экспертные методы, нейросеть и комбинация этих методов — гибридные системы.

Вопросы учета навигационных опасностей и инерционности судна при выборе стратегии расхождения судна освещены в работах [9, 10].

Метод оценки риска столкновения с использованием режима истинного движения рассматривается и обсуждается в работе [11]. Отмечается, что необходимо разработать полезное приложение для использования данных, таких как АИС для обеспечения безопасности и эффективности работы судна. АИС является системой пригодной для сбора информации о целях, но эта информация пока используется неэффективно. Одной из причин возможного столкновения судов является метод оценки риска столкновений. Обычно риск столкновения судна оценивается по значению параметров точки кратчайшего сближения (СПА), которая связана с относительным движением. В этом случае трудно обнаружить пропуск опасной цели при плавании в стесненных водах. В статье вводятся линия прогнозируемого столкновения (ЛОПС) и зона препятствий по цели (ОЗТ) для оценки риска столкновения, эти значения связаны с истинным движением, и это дает возможность выявить ситуации опасного сближения и обеспечить безопасное плавание проход в стесненных водах. В работе [12] предложено описание процесса расхождения судов в терминах дифференциальной антагонистической игры. Анализируемые работы вносят значительный вклад в теорию решения проблемы предупреждения столкновений судов, однако при формировании стратегии расхождения они не предусматривают возникновение ситуации опасного сближения судна с несколькими целями.

**Цель.** Целью настоящей статьи является изложение процедуры выбора маневра расхождения судна измене-

нием курса при сближении с двумя целями с помощью областей недопустимых значений параметров его движения.

**Материалы и методы.** При локально-независимом управлении, как указывается в работе [13], оценка опасности ситуации сближения судна с целью может производиться с помощью области недопустимых параметров движения судна  $\Omega_d$ , границы которой определяются для сближения судна с целью на встречных курсах следующими аналитическими зависимостями:

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

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

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

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

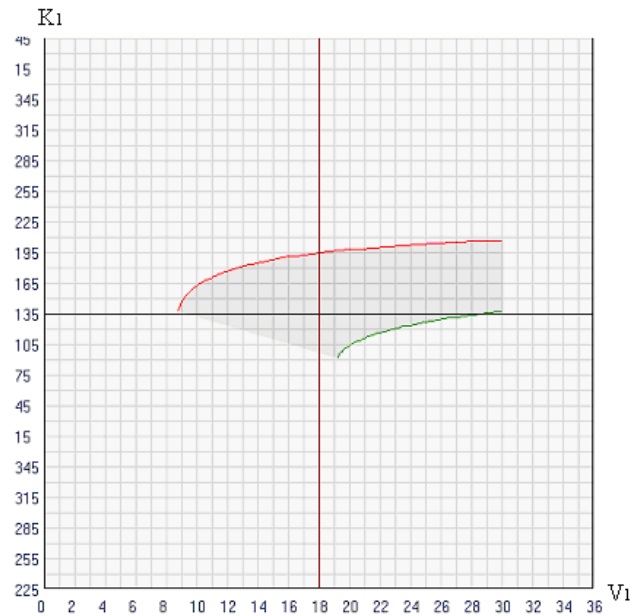
В приведенных выражениях  $K_1$  и  $V_1$  - параметры движения судна,  $K_2$  и  $V_2$  - параметры движения цели,  $\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin \frac{d_d}{D}$ , причем  $\alpha$  и  $D$  - пеленг на цель и дистанция до нее,  $d_d$  - предельная дистанция сближения.

Помимо приведенных выражений в работе [13] представлено графическое изображение области  $\Omega_d$ , аналогичное изображение для параметров движения судна  $K_1 = 135^\circ$  и  $V_1 = 18$  узлов показано на рис. 1.

Область недопустимых параметров движения судна  $\Omega_d$  позволяет оценить наличие опасности при сближении судна с целью. Если точка с параметрами движения судна  $(K_1, V_1)$  принадлежит области  $\Omega_d$ , то сближение является опасным, если же нет - судно и цель сближаются безопасно. При опасном сближении судна с целью область  $\Omega_d$  позволяет выбрать маневр расхождения изменением курса судна при неизменной его скорости. Такому маневру соответствует точка  $(K_{1y}, V_1)$  с курсом уклонения  $K_{1y}$ , находящаяся на границе области  $\Omega_d$ . Для нашего примера, как следует из рис. 1, безопасный курс уклонения  $K_{1y}$  достигается увеличением до  $195^\circ$ .

Очевидно, принцип оценки ситуации сближения и выбора безопасного курса уклонения с помощью области недопустимых значений параметров движения судна  $\Omega_d$  можно распространить на ситуацию сближения судна с несколькими целями, формируя области  $\Omega_d$  для каждой из встречных целей.

**Результаты и их обсуждение.** 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  $\alpha_{12}$  и  $\alpha_{13}$ , 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  $K_2, V_2, \alpha_{12}$  и  $D_{12}$ .



**Рис. 1.** Область  $\Omega_d$  при сближении судна с целью на встречных курсах

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  $K_3, V_3, \alpha_{13}$  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.

В дальнейшем в качестве примера рассмотрим несколько ситуаций сближения судна, следующего курсом  $K_1 = 80^\circ$  и скоростью  $V_1 = 23$  узла с двумя целями и произведем из анализ на необходимость выбора маневра расхождения изменением курса судна. Первая ситуация сближения судна с целями показана на рис. 2, а 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. 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 судно должно отвернуть либо вправо на курс  $K_{1y} = 118^\circ$ , либо влево на курс  $K_{1y} = 58^\circ$  (рис. 3).

Вторая ситуация сближения судна с целями показана на рис. 4, причем судно следует с теми же параметрами движения. Анализ областей  $\Omega_d^{(1,2)}$  и  $\Omega_d^{(1,3)}$ , представленных на рис. 5, показывает, что  $(K_{1y}, V_1) \notin \Omega_d^{(1,2)}$  и

судно безопасно расходится с первой целью. Для области  $\Omega_d^{(1,3)}$  сближения со второй целью характерно  $(K_{ly}, V_1) \in \Omega_d^{(1,3)}$  и судно опасно сближается с ней на дистанцию кратчайшего сближения  $D_{min2} = 0,09$  мили. Для безопасного расходжения судну целесообразно уклонится вправо на курс  $K_{ly} = 104^\circ$ , как показано на рис. 5.

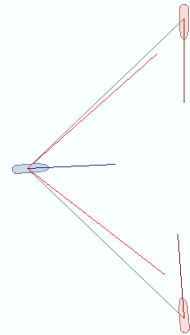


Рис. 2. Первая ситуация сближения судов

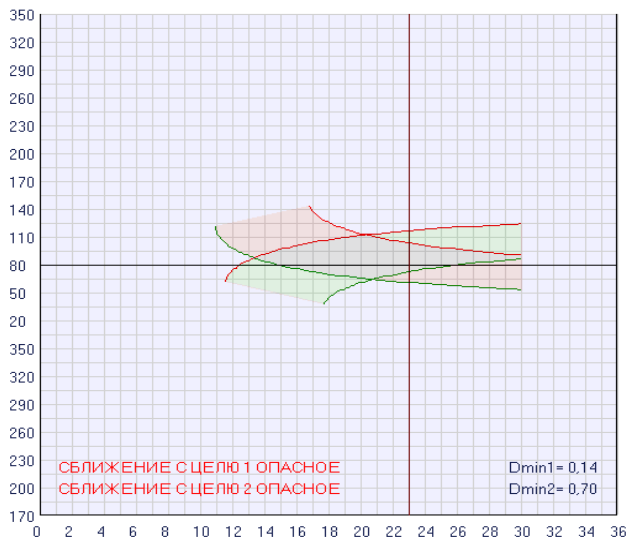


Рис. 3. Области  $\Omega_d^{(1,2)}$  и  $\Omega_d^{(1,3)}$  при первой ситуации сближения

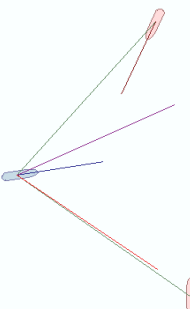


Рис. 4. Вторая ситуация сближения судов

На рис. 6 отображена третья ситуация сближения судов. Области  $\Omega_d^{(1,2)}$  и  $\Omega_d^{(1,3)}$  показаны на рис. 7, из которого следует, что судно чисто расходится с обеими целями на дистанциях превосходящих предельную дистанцию сближения  $d_d$ . Поэтому выбор маневра расходжения в этой ситуации не требуется. Помимо рассмотренного способа расходжения судна с обоими целями общим маневром уклонения может оказаться целесообразным применение двух последовательных уклонений от каж-

дой из целей с использованием областей недопустимых значений параметров движения судна.

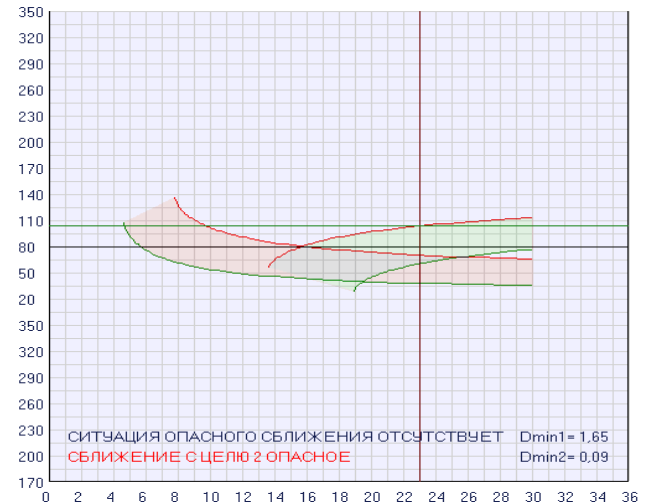


Рис. 5. Области  $\Omega_d^{(1,2)}$  и  $\Omega_d^{(1,3)}$  в случае второй ситуации сближения

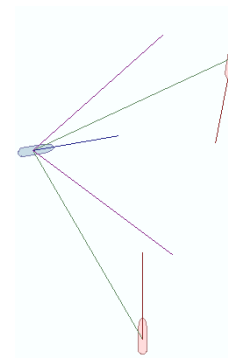


Рис. 6. Третья ситуация сближения судов

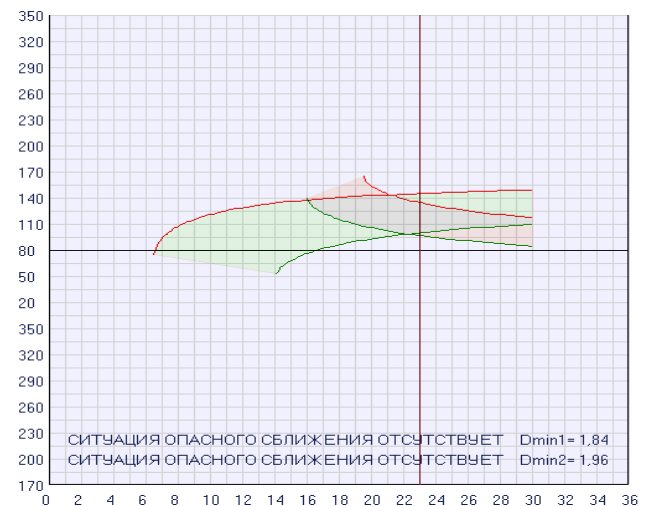


Рис. 7. Области  $\Omega_d^{(1,2)}$  и  $\Omega_d^{(1,3)}$  в случае третьей ситуации сближения

Данный вопрос находится в процессе исследования, результаты которого планируется опубликовать в будущем.

#### Выводы

1. Предложен способ формирования областей недопустимых значений параметров движения судна для ситуации его сближения с двумя целями.
2. Получена процедура оценки опасности ситуации сближения относительно каждой из целей с помощью сформированных областей.

3. Показано, что с помощью областей недопустимых значений параметров движения судна возможен выбор

маневра расхождения общим уклонением от двух целей и приведены примеры трех ситуаций сближения судов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 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.
- 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.
- Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
- 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.
- Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.
- 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.
- 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.
- Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.
- Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.
- 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.
- 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.
- 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.

#### REFERENCES

- Kulikov A.M. Optimum management by divergence of vessels/Kulikov A.M., and Poddubnyy V.V.//Sudostroenie.-1984.- №12.-p. 22 - 24.
- Pavlov V.V. Some questions of choice of maneuver in the situations of divergence of vessels/ Pavlov V.V., Senshin N.I. // Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika. - 1985.- №68. - p. 43 - 45.
- Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement/Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.- LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbrücken (Germany), – 2016. - 585 p.
- Tsybal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsybal, I.Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.
- Pyatakov E.Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbet'skiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. - 312 p.
- Safin I.V. Choice of optimum maneuver of divergence / I.V. Safin // Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. - 2002.- №7. - p. 115-120.
- Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbet'skiy R. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.
- Petrichenko E.A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ Petrichenko E.A. // Sudovozhdenie.- 2003.- №6. - p. 103 - 107.
- Burmaka Y.A. Results of imitation design of process of divergence of vessels taking into account their dynamics / Burmaka Y.A.// Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. - 2005.- №10. - P. 21 – 25.
- Volkov Ye.L. Choosing the manoeuvre of vessels rapprochement by course alternation with the help of unacceptable parameters of movement/Volkov Ye.L.//Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue:132, 2017.-C.97-101.

**Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями**

**Э. Н. Пятаков, В. Э. Пятаков, Т. Ю. Омельченко**

**Аннотация.** Для ситуации сближения судна с двумя целями предложен способ формирования областей недопустимых значений параметров движения судна относительно каждой из них. Получена процедура оценки опасности возникшей ситуации сближения по каждой цели применением сформированных областей. Показана возможность выбора маневра расхождения общим уклонением от двух целей с помощью областей недопустимых значений параметров движения судна. В качестве примера рассмотрены три ситуации сближения судна с двумя целями.

**Ключевые слова:** безопасность судовождения, процесс расхождения судов, области недопустимых параметров, маневр общим уклонением.

**Method of determination of safe maneuver of divergence of ship by the change of course in the situation of dangerous rapprochement with two targets**

**E. N. Pyatakov, V. E. Pyatakov, T. Yu. Omelchenko**

**Abstract.** For the situation of rapprochement of ship with two targets the method of forming of regions of impermissible values of parameters of motion of ship in relation to each of them is offered. Procedure of estimation of danger of arising up situation of rapprochement on every purpose is got by application of the formed regions. Possibility of choice of maneuver of divergence by common deviation from two targets by the regions of impermissible values of parameters of motion of ship is shown. As an example three situations of rapprochement of ship with two targets are considered.

**Keywords:** safety of navigations, process of divergence of vessels, region of impermissible parameters, maneuver by common deviation.