

TECHNICAL SCIENCES

Расчет границ области недопустимых значений курсов судов для домена прямоугольной формы

А. В. Бородулин

Национальный университет «Одесская морская академия», Одесса, Украина
Corresponding author. E-mail: burmaka1964@gmail.com

Paper received 24.01.20; Accepted for publication 14.02.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-224VIII27-13>

Аннотация. Приведен алгоритм расчета границ области недопустимых значений курсов судов и ее графическое отображение в случае применения домена прямоугольной формы. Предложен пример ситуации опасной сближения судов и для нее сформирована область недопустимых значений курсов для домена прямоугольной формы. Произведен выбор маневра расхождения и подтверждена его корректность.

Ключевые слова: безопасность судовождения, расхождение судов при опасном сближении, форма домена, область недопустимых значений курсов судов.

Введение. Плавание в стесненных водах из-за интенсивного судоходства и навигационных препятствий сопряжено с повышенной аварийностью судов, чем обусловлено оборудование стесненных вод станциями управления движением судов (СУДС), которые помимо контроля процесса судовождения осуществляют управление процессом расхождения опасно сближающихся судов. При этом для безопасного расхождения целесообразно использовать области опасных курсов.

Так как в последнее время помимо кругового рассматриваются другие формы безопасного домена, то актуальным является вопрос формирования области опасных курсов в зависимости от формы безопасного домена. В данной статье рассматривается данный вопрос при использовании безопасного домена прямоугольной формы.

Краткий обзор публикаций по теме. Проблеме предупреждения столкновений судов посвящены многочисленные исследования, характеристика основных направлений которых кратко изложена в работах [1-10]. В работе [1] рассмотрено 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 [2]. Методы теории оптимальных дискретных процессов используются для описания процесса расхождения в работе [3], а в работе [4] предлагается формализовать процесс расхождения методом нелинейной интегральной инвариантности. В работах [5, 6] освещены вопросы учета навигационных опасностей и инерционности судна при выборе стратегии расхождения судна, а в работе [7] рассмотрены принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, причем приведен анализ методов их реализации.

Экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезвычайного сближения судов предложена в работе [8], подробное исследование методов локально-независимого управления приведено в работе [9] и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения.

Теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения СА излагается в рабо-

те [10]. 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 компьютерной технологией, которая использует искусственный интеллект.

Цель. Цель настоящей статьи - разработка процедуры расчета границ области недопустимых значений курсов судов и ее графическое отображение в случае применения домена прямоугольной формы.

Материалы и методы. В общем случае граница области S_{Dij} недопустимых значений курсов судов, как показано в работе [7], определяется зависимостью курса первого судна K_1 от курса второго K_2 с учетом соотношения скоростей судов V_1 и V_2 , т. е. $\rho = \frac{V_2}{V_1}$.

В случае $V_1 < V_2$ граница области S_{Dij} определяется зависимостью:

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

причем $K_2 \in \{S_1 \cup S_2\}$, где

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

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

При равенстве скоростей судов элементарной группы $V_1 = V_2$ выражение для границы области S_{Dij} имеет следующий вид:

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

а в случае $V_1 > V_2$ граница области S_{Dij} имеет следующее аналитическое выражение:

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

причем $K_2 \in [0, 2\pi]$.

Приведенные выражения границы области S_{Dij} содержат угол γ , который определяется формулой:

$$\gamma = \alpha \pm \arcsin \frac{D_d}{D}$$

в которой для доменов, формой отличающихся круга, предельно - допустимая дистанция сближения не является постоянной, а зависит от пеленга и курса второго судна, т. е. $D_d(\alpha, K_2)$. Поэтому расчет границы области S_{Dij} для таких доменов производится по следующему алгоритму.

Учитывая, что независимой переменной является K_2 , для заданного значения K_2 с учетом параметров начальной ситуации сближения рассчитывается граничный относительный курс уклонения K_{ot}^s , по которому производится вычисление предельно - допустимой дистанции сближения $D_d(\alpha, K_2)$. Очередным шагом алгоритма является вычисление угла γ , после чего рассчитывается значение курса K_1 в зависимости от соотношения скоростей судов V_1 и V_2 .

Расчет граничного относительного курса уклонения K_{ot}^s для домена прямоугольной формы относительный курс уклонения определяется по выражениям работы [7]. Для расчета границ и формирования области S_{Dij} недопустимых значений курсов судов при использовании доменов эллиптической и прямоугольной формы была разработана компьютерная программа, причем программа содержит модуль анализа корректности маневра расхождения, полученного с помощью области S_{Dij} .

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим использование домена прямоугольной формы длиной 1,1 мили и шириной 0,61 мили для расчета границ области S_{Dij} с помощью выражений, реализованных в компьютерной программе. Исследуем случай разных скоростей судов элементарной группы, для чего рассмотрим ситуацию опасного сближения, показанную на рис. 1. Соответствующая область S_{Dij} отображена на рис. 2. Выбор безопасного маневра расхождения относительным укло-

нением вправо минимальным увеличением курсов судов показан на рис. 3. На рис. 4 подтверждена корректность маневра относительным уклонением вправо, так как линия относительного курса является касательной к прямоугольному домену.

Выводы

1. Приведен алгоритм расчета границ области недопустимых значений курсов судов и ее графическое отображение в случае применения домена прямоугольной формы.
2. Рассмотрен пример опасной ситуации сближения судов и для нее сформирована область недопустимых значений курсов для домена прямоугольной формы.
3. Произведен выбор маневра расхождения и подтверждена его корректность.

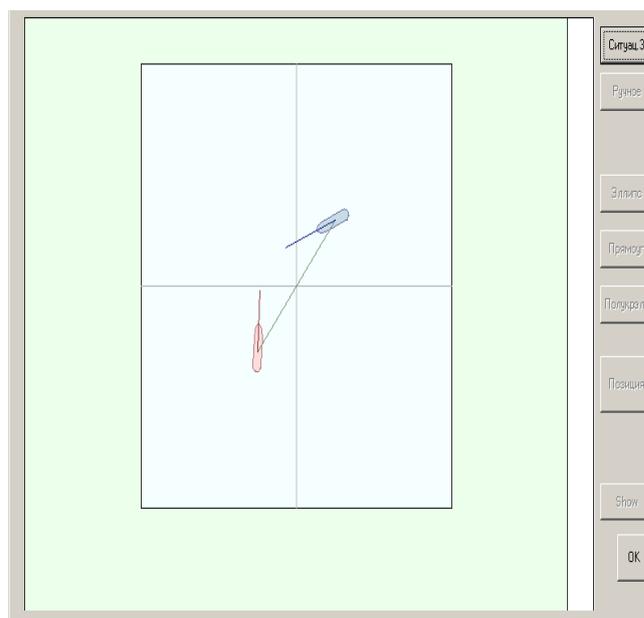


Рис. 1. Ситуация опасного сближения судов при $V_1 \neq V_2$

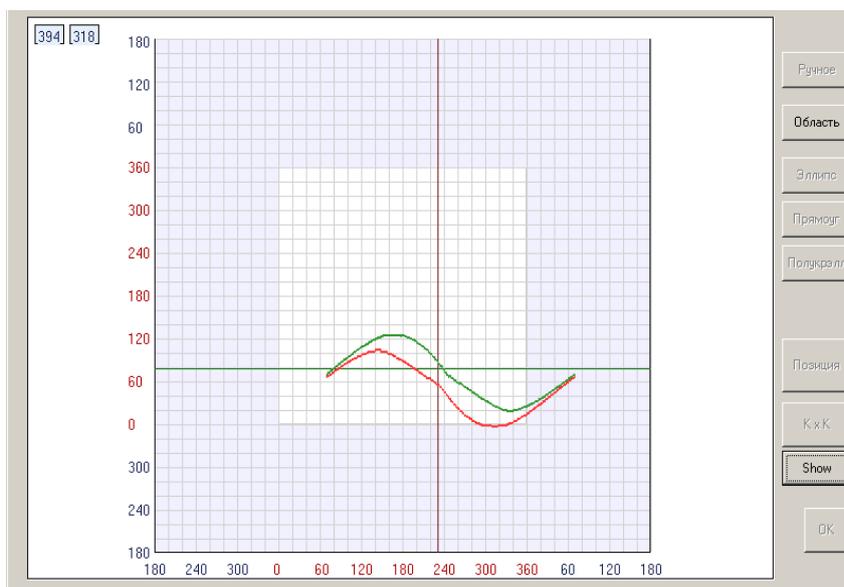


Рис. 2. Область S_{Dij} прямоугольного домена при $V_1 > V_2$

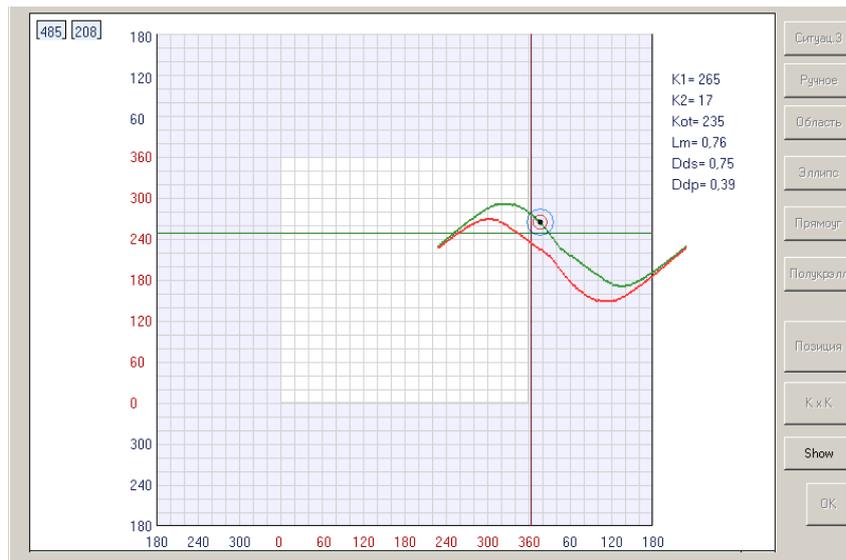


Рис. 3. Выбор маневра расхождения минимальным уклоением вправо

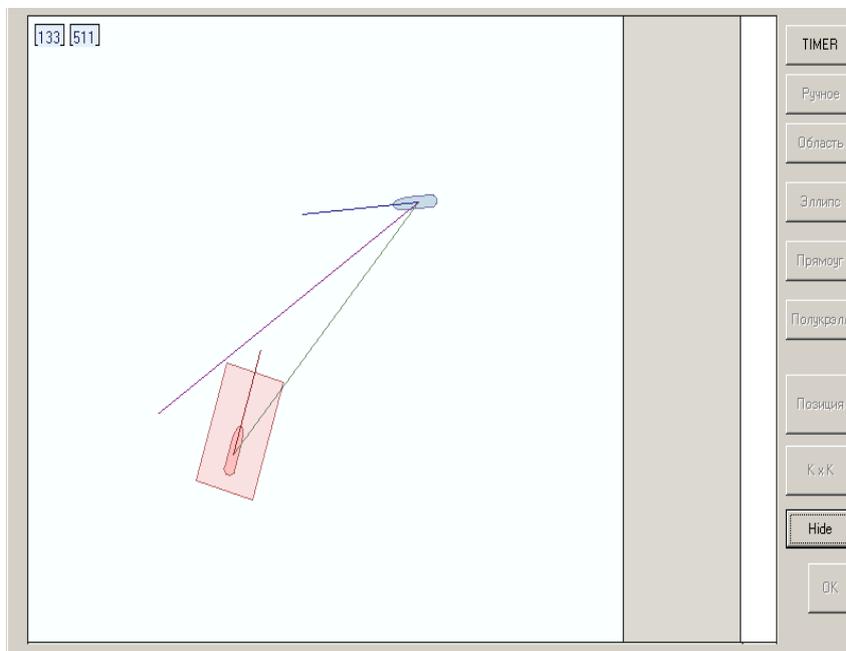


Рис. 4. Результаты проверки корректности маневра уклоением вправо

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.
3. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.
4. 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.
5. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.
- 6.Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.
7. 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.
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. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
10. 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.

REFERENCES

1. Pyatakov E. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbetskiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. - 312 p.
2. Safin I.V. Choice of optimum maneuver of divergence / I.V. Safin // Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. - 2002.- №7. - p. 115 -120.
3. Kulikov A.M. Optimum management by divergence of vessels / Kulikov A.M., and Poddubnyy V.V.// Sudostroenie. -1984.- №12.- p. 22 - 24.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.- LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbryukken (Germany), – 2016. - 585 p.
8. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.
9. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I.Burmaka, E. Tyupykov, Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.
10. 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.

Calculation of scopes of region of impermissible values of courses of vessels for the domain of rectangular form

A. V. Borodulin

The algorithm of calculation of scopes of region of impermissible values of courses of vessels and its graphic reflection in the case of application of domain of rectangular form is resulted. The example of situation of dangerous is offered rapprochements of vessels and for her the region of impermissible values of courses for the domain of rectangular form is formed. The choice of maneuver of divergence is produced and his correctness is confirmed.

Keywords: *safety of navigation, divergence of vessels at dangerous rapprochement, form of domain, region of impermissible values of courses of vessels.*