

Выбор оптимального маневра расхождения с помощью областей недопустимых значений параметров

М. А. Кулаков, М. В. Корх

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

Paper received 24.01.20; Accepted for publication 11.02.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-224VIII27-16>

Аннотация. Рассмотрены аналитические выражения для расчета границ областей недопустимых значений параметров разных типов. Приведены графические отображения областей рассмотренных типов, полученные с помощью разработанных компьютерных программ. Получены общие особенности всех типов областей, позволяющие одинаковой процедурой производить выбор оптимального маневра расхождения.

Ключевые слова: безопасность судоходства, расхождение судов, внешнее управление процессом расхождения, области опасных параметров, безопасное расхождение судов.

Введение. Интенсивное судоходство и навигационные опасности затрудняют плавание судов в стесненных водах и ведут к росту рисков возникновения их аварий. Из-за этого стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов (СУДС), которые осуществляют контроль процесса судоходства и обеспечивают его безопасность, предупреждая столкновения опасно сближающихся судов. Это требует разработки современных методов безопасного расхождения опасно сближающихся судов их внешним управлением, что обуславливает актуальность исследования внешнего управления судами в ситуации опасного сближения.

Краткий обзор публикаций по теме. В работе [1] отмечена необходимость формализации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения и показано, что основным способом описания взаимодействия пары опасно сближающихся судов является бинарная координата, которая реализована в МППСС-72, причем в данной работе предложена их формализация. В работах [2, 3] рассмотрены вопросы бинарной координаты и мера их эффективности.

Работы [4-6] посвящены вопросу учета имеющихся в районе предстоящего расхождения навигационных опасностей. Причем в работе [4] получена процедура оценки возможности расхождения судна с опасной целью при наличии навигационной опасности. В работе [5] формализованы разные типы навигационных опасностей (точечная, линейно распределенная и т.п.) и предложены процедуры выбора безопасного маневра расхождения для каждого типа навигационных опасностей. Аналитическая процедура учета навигационных опасностей при достижении возможного поворота судна на курс выхода в сторону программной траектории движения предложена в работе [6]. Анализ предложенных процедур в указанных работах показал, что их реализация в судовых навигационных системах потребует значительных усилий и затрат для аппроксимации границ навигационных опасностей.

Следует отметить, что в работе [7] предлагается навигационные опасности учитывать путем использования электронных карт, на которых отображать процесс расхождения. Такой подход является перспективным и в настоящей статье предлагается обсуждение его использования при плавании судов в стесненных водах.

В ситуациях чрезмерного сближения судов их взаимодействие не координируется правилами МППСС-72, однако, для предупреждения их столкновений в работе [8] подробно рассмотрены экстренные стратегии рас-

хождения, структура которых зависит не только от особенностей ситуации сближения, но и от поведения цели в процессе расхождения.

В работе [9] излагается теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения СА (Collision avoidance). Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения рассмотрены дополнительно Правила уклонения от столкновения COLREG. С учетом факторов, влияющих на процесс уклонения от столкновения, рассматриваются требования к автономной навигации. В работе указывается, что исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены в классической или компьютерной категориях. Классическая техника основана на математических моделях и алгоритмах. Программы основаны на использовании искусственного интеллекта AI (Artificial Intelligence). Областью AI для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, являются 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, как отмечается в работах [10-12], является очень сложной, так как процесс управления движением судна является многомерным с нелинейными и нестационарными характеристиками, причем задача носит игровой характер. Работы носят теоретический характер, рассматривая возможность описания процесса расхождения судов в терминах дифференциальных игр.

Цель. Целью настоящей статьи является анализ областей недопустимых значений параметров и выявление общей процедуры их графического отображения для выбора оптимального маневра расхождения.

Материалы и методы. В работах [6,13,14] приведены процедуры формирования областей недопустимых значений параметров. В них показано, что при свободной акватории маневрирования наиболее предпочтительным является маневр расхождения изменением курса. Поэтому для области Ω_K недопустимых значений курсов судов K_1 и K_2 уравнение границы имеет следующий вид:

$$K_2 = \gamma + \arcsin \{ \rho \sin(K_1 - \gamma) \}, \quad (1)$$

где $\rho = V_1/V_2$. Так как параметр γ принимает два значения $\gamma^* = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}$ и $\gamma^* = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}$, то область Ω_K имеет две границы.

Возможности безопасного расхождения 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 снижает свою скорость. В указанном случае необходимо рассмотреть область опасных курсов одного судна и скоростей другого судна Ω_{KV} , при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. сближение судов является опасным.

Уравнение границы области Ω_{KV} , как зависимость скорости второго судна от курса первого судна, определяется двумя выражениями (для верхней и нижней границ):

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

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

где $\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin(\frac{d_d}{D})$, $\mu^{(1,2)} = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}$.

В случае локально-независимого управления процессом расхождения выбор маневра расхождения производится оперирующим судном изменением параметров движения K_1 и V_1 при допущении постоянства параметров движения K_2 и V_2 цели. Выражение для границы области Ω_d недопустимых значений параметров движения судна принимает вид:

$$K_1 = \gamma + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma)}{V_1}.$$

С учетом двух значений параметра γ область Ω_d ограничивается двумя кривыми:

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

$$K_{1*} = \gamma_* + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_*)}{V_1}. \quad (3)$$

Результаты и их обсуждение. Принцип определения маневра расхождения судов с помощью областей недопустимых значений параметров требует выполнения специальной процедуры оператором, который выбирает маневр, соответствующий точке на границе области. Поэтому упомянутый принцип может быть реализован только компьютерным продуктом, который отображает на экране монитора графическое изображение соответствующей области и содержит процедуру выбора произвольной точки области.

В связи с этим для каждого типа области недопустимых значений параметров были разработаны компьютерные программы, формирующие графическое отображение области. Для этого в системе координат, осями которой являются параметры области, программой наносится граница области.

Приведем графические отображения ранее рассмотренных областей недопустимых значений параметров.

На рис.1 показана область недопустимых значений курсов судов Ω_K , границы которой рассчитаны с помощью выражения (1).

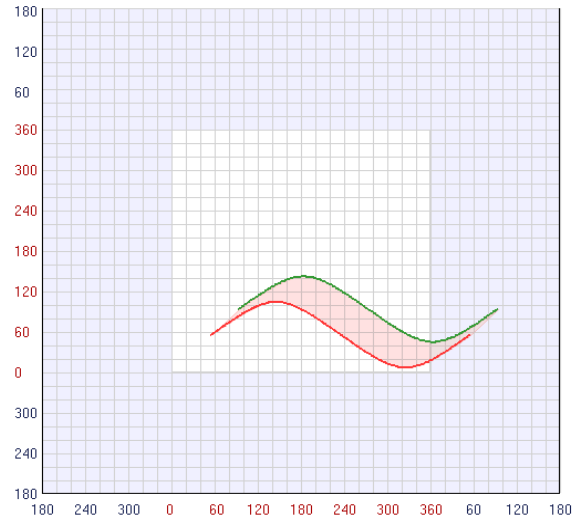


Рис.1. Область опасных значений курсов Ω_K судов при $V_1 < V_2$

Область Ω_{KV} опасных параметров движения судов, рассчитанная по формулам (2), представлена на рис. 2.

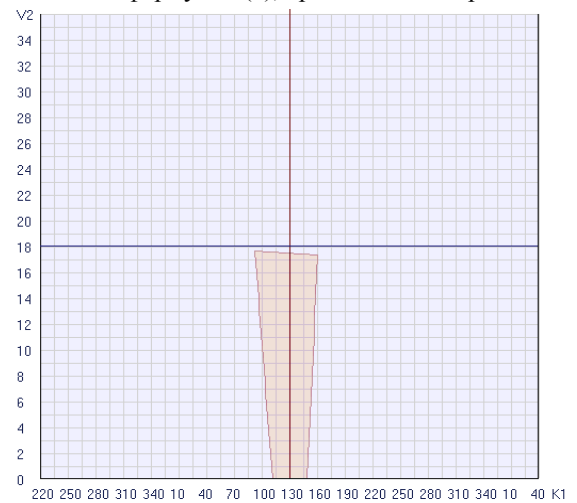


Рис. 2. Область Ω_{KV} опасных параметров движения судов

С помощью выражений (3) рассчитана граница области недопустимых параметров движения судна Ω_d , которая показана на рис. 3.

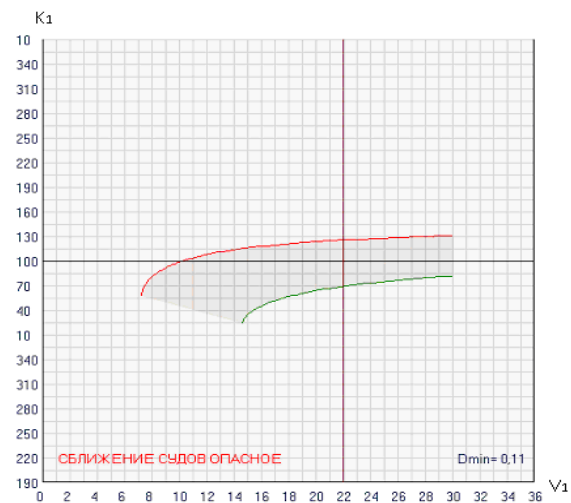


Рис. 3. Область недопустимых параметров движения судна Ω_d

Для получения графического отображения областей недопустимых значений параметров, как следует из трех приведенных областей, выводится сетка с координатны-

ми осями соответствующих параметров, на которую программой наносится граница соответствующей области.

Общими особенностями всех типов областей являются следующие. Во-первых, если точка с координатами параметров расхождения находится внутри области, то дистанция кратчайшего сближения меньше допустимой дистанции сближения и существует опасность столкновения. Для безопасного расхождения следует выбрать маневр, параметры которого соответствуют точке, находящейся вне области недопустимых значений параметров.

Во-вторых, оптимальным является маневр, который безопасный и требует минимальных отклонений судов от программных параметров. Для этого должны выполняться два условия:

- точка с параметрами маневра расхождения должна находиться на границе области;

- расстояние от точки с параметрами маневра расхождения до точки с начальными параметрами должно быть минимальным.

Выводы

1. Рассмотрены аналитические выражения для расчета границ областей недопустимых значений параметров разных типов.

2. Приведены графические отображения областей рассмотренных типов, полученные с помощью разработанных компьютерных программ.

3. Получены общие особенности всех типов областей, позволяющие одинаковой процедурой производить выбор оптимального маневра расхождения.

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. 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.
3. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "Изда-Тинформ", 2008. – С. 166 – 171.
4. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.
5. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
6. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака, Э.Н. Пятаков, А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbrücken (Германия), – 2016. - 585 с.
7. 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.
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. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ А.Ю. Булгаков// Водный транспорт. – 2014. №2 (20). – С. 12 – 17.
14. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. - С. 25 - 30.

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.
3. Pyatakov E. N. Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels / Pyatakov E. N., Zaichko S.I.// Sudovozhdenie.- 2008.- №15. - P. 166 – 171.
4. 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.
5. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels/N. Tsymbal, I.Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007.– 424 p.
6. 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.
7. Volkov A.N. Application of ship safe region for the account of dangerous target and navigation obstacle / Volkov A.N.// Vodnyj transport. – 2014. №2 (20). – P. 29 – 35.
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.
13. Bulgakov A.Y. Use of dangerous region of courses of two vessels for the choice of possible maneuver of divergence/ Bulgakov A.Y.// Vodnyy transport. - 2014.- №2 (20). - p. 12 – 17.
14. Pasechnjuk S.S. Using of maneuver change of speed one vessel in case external process control of divergence of ships/ Pasechnjuk S.S.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. - С. 25 - 30.

Choice of optimum maneuver of divergence by the regions of impermissible values of parameters

M. A. Kulakov, M. V. Korh

Analytical expressions for the calculation of scopes of regions of impermissible values of parameters of different types are considered. The graphic reflections of regions of the considered types are resulted, got by the developed computer programs. The general features of all types of regions are got, allowing by identical procedure to produce the choice of optimum maneuver of divergence.

Keywords: safety of navigation, divergence of vessels, external control of process of divergence, region of dangerous parameters, safe divergence of vessels.