

Использование виртуальных областей при плавании судна в стесненных водах

А. Н. Волков, А. А. Голиков, А. Ю. Булгаков

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

Paper received 21.06.17; Revised 26.06.17; Accepted for publication 28.06.17.

Аннотация. Получены аналитические выражения преобразования границы безопасной области с пространства относительного движения в пространство истинного движения. Приведены результаты исследования свойств виртуальных областей, позволяющие использовать их в процессе расхождения. Предложена процедура отображения виртуальных областей на электронной карте и разработан способ расхождения судна с несколькими опасными целями при наличии мешающих судов и навигационных опасностей, отличающийся наглядностью, оперативностью и простотой.

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

Введение. Морские суда значительную часть своего эксплуатационного времени работают в стесненных водах, под которыми понимаются районы, где ширина свободного прохода для судов ограничена в навигационном отношении опасностями, или интенсивным судоходством. К плаванию в стесненных водах относится плавание в проливах, каналах, шхерах, реках, вблизи побережья и навигационных опасностей, в районах с установленными путями, системами разделения движения и т. д.

Основными особенностями плавания в стесненных водах являются: малый запас воды под килем, в результате чего многие суда становятся "стесненными своей осадкой"; ограниченность безопасного судоходного пространства, близость навигационных опасностей, резкое ограничение возможных отклонений судна от линии заданного пути, что требует максимально точной навигации и требует расхождения судов на минимальных траверзных расстояниях; сочетание "транзитного" движения судов вдоль узкости с пересекающимися его местными судами (особенно в районах паромных переправ) и частое следование малых судов курсами, отличными от рекомендованных.

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 [1-3]. Поэтому существует необходимость разработки оперативных и наглядных методов предупреждения столкновений судов при плавании в стесненных водах.

Краткий обзор публикаций по теме. В работах [1-3], в частности, рассмотрен вопрос учета имеющихся в районе предстоящего расхождения навигационных опасностей. Причем в работе [1] получена процедура оценки возможности расхождения судна с опасной целью при наличии навигационной опасности, для чего получено условие существования множества допусти-

мых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей. Разные типы навигационных опасностей (точечная, линейно распределенная и т.п.) формализованы в работе [2] и предложены процедуры выбора безопасного маневра расхождения для каждого типа навигационных опасностей. В работе [3] предложена аналитическая процедура учета навигационных опасностей при достижении возможного поворота судна на курс выхода в сторону программной траектории движения. 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 работе [4] обращается внимание на необходимость формализации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения и 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. Вопросы бинарной координации и мера их эффективности рассмотрены в работа [5, 6].

В ситуациях чрезмерного сближения судов правилами МППСС-72 их взаимодействие не координируется, однако, для предупреждения их столкновений в работе [7] подробно рассмотрены экстренные стратегии расхождения, структура которых зависит не только от особенностей ситуации сближения, но и от поведения цели в процессе расхождения.

Следует отметить, что в работе [3] 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.

Цель. Целью настоящей статьи является анализ использования виртуальных областей, с помощью которых выбор безопасного маневра расхождения осуществляется с учетом навигационных опасностей.

Материалы и методы. В работе [8], указывается, что безопасная область судна задается в пространстве относительного движения определенной фигурой, граница которой задается относительно цели и показано, как производится преобразование границы области из пространства относительного движения в пространство истинного движения. Положение точек границы безопасной области в пространстве относительного движения задаются углами α , а расстояния отрезками D относи-

тельно судна, находящегося в начале координат.

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.

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 $t = D/V_{ot}$, где V_{ot} - относительная скорость. Указанное условие достижения каждой точки границы безопасной области.

является определяющим для ее преобразования в пространство истинного движения. В пространстве истинного движения направлению α соответствует истинное направление движения судна β , а время достижения точки остается неизменным, поэтому:

$$L = \frac{V_o}{V_{ot}} D, \quad (1)$$

где V_o - скорость судна.

В работе [3] показано, что отображение множества относительных направлений α в множество истинных направлений β описывается зависимостью:

$$\beta = \alpha + \arcsin [P^{-1} \sin (K_c - \alpha)], \quad (2)$$

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, которая называется виртуальной областью.

Рассмотрим случай, когда безопасная область имеет форму круга в пространстве относительного движения, в этом случае 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.

С учетом пеленга α_o с судна на цель и дистанции D_o между судном и целью, точки (x, y) границы безопасной области преобразуются в полярные координаты (D, α) , а затем с помощью выражений (1) и (2) формируется граница виртуальной области в пространстве истинного движения. На рис. 1 показаны безопасная область, связанная с целью и имеющая форму круга, а также соответствующая ей виртуальная область. Параметры начальной ситуации сближения имеют значения: $D_o = 3,5$ мили, $\alpha_o = 350^\circ$, $K_o = 75^\circ$, $K_c = 105^\circ$, $V_o = 20$ уз, $V_c = 17$ уз, $D_d = 1$ мили.

Результаты и их обсуждение. При исследовании виртуальных областей установлены следующие их основные свойства, которые следует учитывать при выборе безопасного маневра расхождения судна:

1. При сближении судна с целью, когда дистанция кратчайшего сближения меньше заданной предельно-допустимой дистанции, признаком опасного сближения

является попадание текущего участка программной траектории движения судна в виртуальную область цели.

2. Дистанция кратчайшего сближения судна с опасной целью будет равна заданной предельно-допустимой дистанции, если текущий участок программной траектории движения судна является касательным к границе виртуальной области.

3. Равенство дистанции кратчайшего сближения судна с целью и заданной предельно-допустимой дистанции сближения сохраняется при следовании судна по касательной к границе виртуальной области до момента кратчайшего сближения.

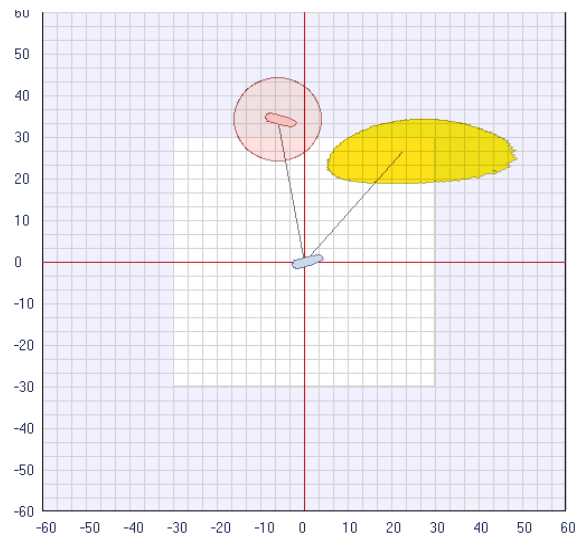


Рис. 1. Отображение безопасной области круговой формы

Поэтому для выбора маневра расхождения необходима разработка процедуры отображения виртуальных областей целей на электронной карте и их изменение во времени при заданных параметрах движения судна и цели.

В качестве примера рассмотрим начальную ситуацию сближения судна с тремя целями при наличии навигационных опасностей, границы которых имеют формы окружности, эллипса и прямоугольника (рис. 2). Причем на рисунке показана нумерация целей и их виртуальных областей, а также отображена программная траектория движения судна, которая состоит из двух участков. Программная траектория проложена между двумя навигационными опасностями.

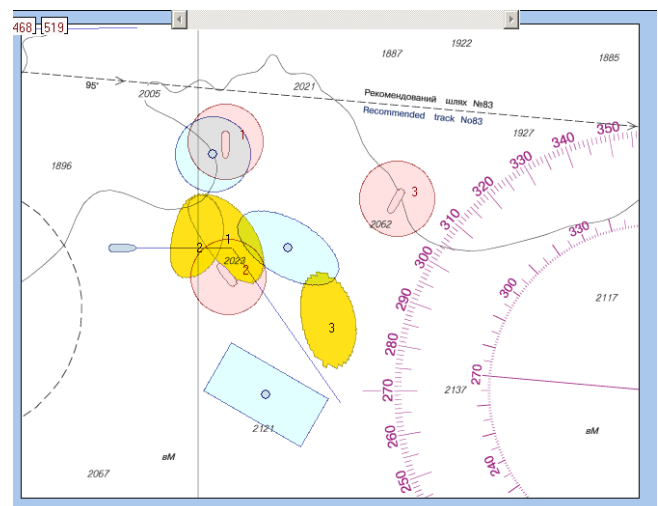


Рис. 2. Исходная ситуация опасного сближения

Так как текущий участок программной траектории движения судна пересекает виртуальные области целей 2 и 1, то сближения с этими целями является опасным. Учитывая, что опасность столкновения возникает раньше с целью 2, необходимо вначале выполнить уклонение от этой цели. Анализ исходной ситуации показывает, что при уклонении по касательной к виртуальной области цели 2 влево возникает опасность попадания на первую навигационную опасность, которая имеет форму круга, а при уклонении вправо по касательной судно чисто проходит относительно навигационных опасностей.

Поэтому выбирается первый участок уклонения вправо на курс 115° , как показано на рис. 3. При этом первый участок уклонения является касательным к виртуальной области цели 2. Судно следует этим курсом, пока не сблизится минимально с целью 2, в этот момент судно выбирает второй участок

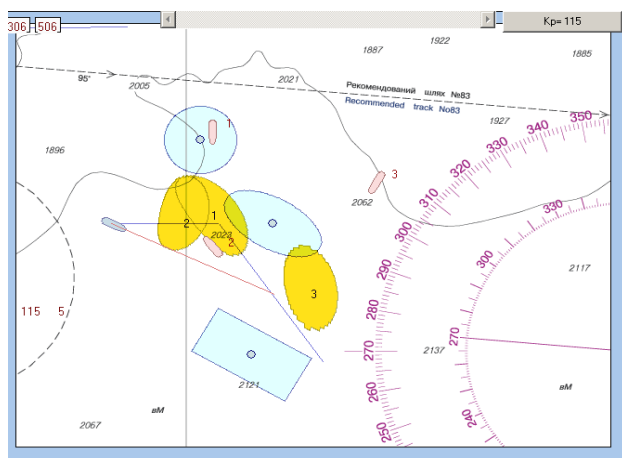


Рис. 3. Выбор первого участка уклонения

уклонения касательный к виртуальной области цели 3 и следует курсом 126° , как показано на рис. 4, и продолжает следовать в направлении программной траектории движения. При достижении программной траектории движения судно поворачивает на курс второго участка и дальше следует им.

Таким образом, отображая виртуальные области целей на электронной карте, можно оценивать опасность сближения с ними и при необходимости выбирать безопасные курсы уклонения с учетом имеющихся навига-

ционных опасностей.

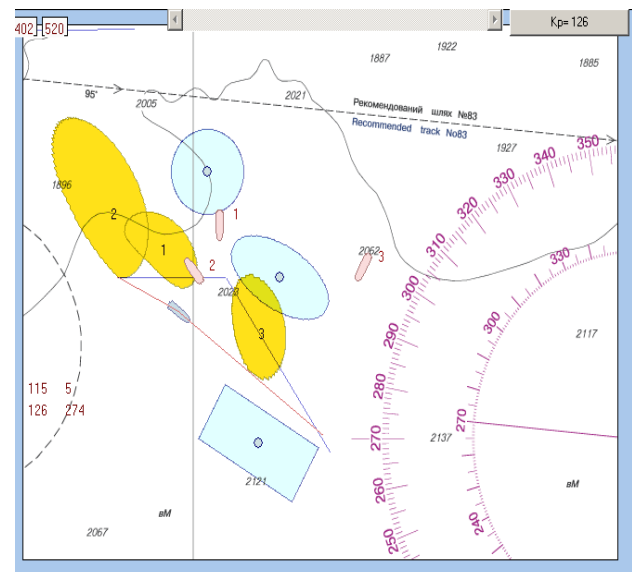


Рис. 4. Выбор второго участка уклонения

Выводы

1. Получены аналитические выражения преобразования границы безопасной области с пространства относительного движения в пространство истинного движения, обеспечивая формирование виртуальной области цели. Приведен пример формирования виртуальной области для безопасной области, имеющей форму круга.

2. Приведены результаты исследования свойств виртуальных областей, позволяющие использовать их для оценки опасности сближения встречных судов и выбора безопасных курсов расхождения с учетом навигационных опасностей.

3. Предложена процедура отображения виртуальных областей на электронной карте и изменение их в зависимости от времени и параметров движения судна и целей. Разработан способ расхождения судна с несколькими опасными целями при наличии мешающих судов и навигационных опасностей, отличающийся наглядностью, оперативностью и простотой. Приведен пример выбора безопасной стратегии расхождения при сближении судна с тремя целями и наличии в районе плавания нескольких навигационных опасностей.

ЛИТЕРАТУРА

- Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №6. – С. 103 – 107.
- Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. науч. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
- 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.
- 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.

REFERENCES

- 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.
2. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I.Burmaka, E. Tyupykov, Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.
 3. 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.
 4. 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.
 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 Weinrit/ - 2015, P. 195 – 200.
 6. 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.
 7. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.
 8. 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.

Use of virtual regions at sailing of ship in the straitened waters

A. N. Volkov, A. A. Golykov, A. Y. Bulgakov

Abstract. Analytical expressions of transformation of border of safe region from space of relative motion in space of veritable motion are got. The results of research of properties of virtual regions are resulted, allowing to use them in the process of divergence. Procedure of reflection of virtual regions is offered on an electronic card and the method of divergence of ship with a few dangerous targets at presence of preventing vessels and navigation dangers is developed, different evident, operative and simplicity.

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