

УДК 656.61.052.484

DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.66-75

PROPERTIES OF VIRTUAL SAFE REGIONS**СВОЙСТВА ВИРТУАЛЬНЫХ БЕЗОПАСНЫХ ОБЛАСТЕЙ***A. N. Volkov, PhD, associate professor, Yu. M. Khussein, PhD student**А. Н. Волков, к.т.н., доцент, Ю. М. Хуссейн, аспирант**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

In the straitened waters in case origin of situation of dangerous rapprochement of courts at the choice of maneuver of divergence surrounding ships and navigation dangers must be taken into account also, that presently possible by an analytical way and is arrived at by bulky and ineffective methods. Therefore, the necessity of development of operative and evident methods of warning of collisions of vessels at sailing in the straitened waters based on application of modern computer technologies is an actual and perspective subject.

In the article is specified, that the sign of dangerous rapprochement of ship with a target behaves to basic properties of virtual region, in obedience to which distance of the shortest rapprochement of ship with the target of less set maximum - possible distance of rapprochement, there is the hit of current area of programmatic trajectory of motion of ship in the virtual region of target. It is also marked that distance of the shortest rapprochement of ship with a dangerous target will be equal to the set maximum-possible distance of rapprochement, if direction of current area of programmatic trajectory of motion of ship is tangent to the border of virtual region.

It is shown in the article, that to the factors influencing on sizes and orientation of virtual regions, belong, bearing and distance between a ship and target, relation of speeds of ship and target, and also time domain from the initial situation of rapprochement at the following of vessels unchanging by the parameters of motion.

In instance where attitude of speed of ship toward speed of target diminishes other things being equal a virtual region changes the form and position, here safe rapprochement can be transformed in dangerous.

There is the increase of sector of dangerous relative directions at diminishment of initial distance, that in general case conduces to diminishment of great number of safe courses of ship. It is shown that the change of orientation, form and sizes of virtual region takes place at the change of bearing on a target in the case of unchanging distance and the other parameters of situation of rapprochement. The sizes of virtual region depend on the course angle of ship from a target, thus with growth of course corner is multiplied a virtual region. Thus the sizes of virtual region do not depend on that, whether there is the course angle of side right or port.

Keywords: safety of navigation, preventing of collision of vessels, virtual region, features of reflection of virtual region.

РЕФЕРАТ

У стислих водах в разі виникнення ситуації небезпечного зближення суден при виборі маневру розходження також повинні враховуватися навколишні судна і навігаційні небезпеки, що в даний час можливо аналітичним шляхом і досягається громіздкими і малоефективними способами. Тому необхідність розробки оперативних і наочних методів попередження зіткнень суден при плаванні в стислих водах, заснованих на застосуванні сучасних комп'ютерних технологій, є актуальною і перспективною тематикою.

У статті вказується, що до основних властивостей віртуальної області відноситься ознака небезпечного зближення судна з ціллю, згідно якому дистанція найкоротшого зближення судна з ціллю менше заданої гранично - допустимої дистанції зближення, є попадання поточної ділянки програмної траєкторії руху судна у віртуальну область цілі. Також відмічено, що дистанція найкоротшого зближення судна з небезпечною ціллю буде рівна заданій гранично - допустимій дистанції зближення, якщо напрям поточної ділянки програмної траєкторії руху судна є дотичним до межі віртуальної області.

У статті показано, що до чинників, що впливають на розміри і орієнтацію віртуальних областей, відносяться пеленг і дистанція між судном і ціллю, відношення швидкостей судна і цілі, а також інтервал часу від початкової ситуації зближення при проходженні суден незмінними параметрами руху.

За ситуації, коли відношення швидкості судна до швидкості цілі зменшується за інших рівних умов віртуальна область змінює свою форму і положення, при цьому безпечне зближення може трансформуватися в небезпечне.

При зменшенні початкової дистанції відбувається збільшення сектора небезпечних відносних напрямів, що в загальному випадку веде до зменшення множини безпечних курсів судна. Показано, що зміна орієнтації, форми і розмірів віртуальної області відбувається при зміні пеленга на ціль у разі незмінної дистанції і параметрів ситуації зближення. Розміри віртуальної області залежать від курсового кута судна з цілі, причому із зростанням курсового кута віртуальна область збільшується. При цьому розміри віртуальної області не залежать від того, чи є курсовий кут правого або лівого борту.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, віртуальна область, особливості відображення віртуальної області.

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

В процессе плавания морские суда зачастую находятся в стесненных водах, где их движение ограничено как навигационными опасностями, так и интенсивным судоходством. Поэтому в стесненных районах необходимы

высокая точность проводки, безошибочность и быстрдействие системы управления движением судна.

В стесненных водах в случае возникновения ситуации опасного сближения судов при выборе маневра расхождения также должны учитываться окружающие суда и навигационные опасности, что в настоящее время возможно аналитическим путем и достигается громоздкими и малоэффективными способами. Поэтому необходимость разработки оперативных и наглядных методов предупреждения столкновений судов при плавании в стесненных водах, основанных на применении современных компьютерных технологий, является актуальной и перспективной тематикой.

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

Формализация процесса расхождения с помощью теории нелинейной интегральной инвариантности предложена в работе [1], а в работе [2] описание процесса расхождения производится методами теории оптимальных дискретных процессов.

Взаимодействие судов при опасном сближении, ведущее к выбору стратегии расхождения для предупреждения их столкновения формализовано в работе [3], а анализ методов локально-независимого управления представлен в работе [4], в результате чего предложена концепция формирования гибких стратегий расхождения.

Принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов освещены в работе [5], а также показаны пути их реализации.

Теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения предложено в работе [6], в которой также изложены требования к автономной навигации, которые учитывают факторы, влияющие на процесс уклонения от столкновения. Показано, что современные исследования по автоматизации управления судном зачастую представлены компьютерной технологией, которая использует искусственный интеллект.

В работе [7] рассмотрена процедура выбора оптимального стандартного маневра расхождения пары судов, а в работе [8] предложена экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов. Вопросы учета навигационных опасностей и инерционности судна при выборе стратегии расхождения судна освещены в работах [9, 10].

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Цель данной статьи заключается в выявлении особенностей виртуальных областей и факторов их вызывающих.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Виртуальной областью $S_{\text{VT}}^{(F)}$ цели называется безопасная область (домен) судна $D_b^{(F)}$, построенная относительно позиции цели и отображенная из пространства относительного движения в пространство истинного движения [11].

К основным свойствам виртуальной области $S_{\text{VT}}^{(F)}$, как указывается в работе [12], относятся следующие:

1. Признаком опасного сближения судна с целью, когда дистанция кратчайшего сближения судна с целью меньше заданной предельно-допустимой дистанции 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 сближения, если направление текущего участка 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.

Рассмотрим свойства виртуальной области, которые не зависят от формы безопасной области судна и необходимы для выбора безопасной стратегии расхождения при опасном сближении судна с целью. Вначале проанализируем изменение виртуальной области $S_{\text{VT}}^{(F)}$ в зависимости от величины ρ отношения скорости судна V_o к скорости цели V_c , т. е. $\rho = \frac{V_o}{V_c}$.

Как указывается в работе [11], при $\rho \geq 1$ множество M_α относительных направлений α однозначно отображается в множество M_β истинных направлений β , т. е. безопасная область цели любой формы $D_b^{(F)}$ в пространстве относительного движения полностью и однозначно отображается в виртуальную область $S_{\text{VT}}^{(F)}$ пространства истинного движения.

На рис. 1 показана виртуальная область $S_{\text{VT}}^{(\text{Rd})}$ для значения $\rho = 2$, причем остальные параметры ситуации сближения являются неизменными и равны: $D_o = 3,5$ мили, $\alpha_o = 135^\circ$, $K_o = 90^\circ$, $K_c = 0^\circ$, $d = 1$ миля.

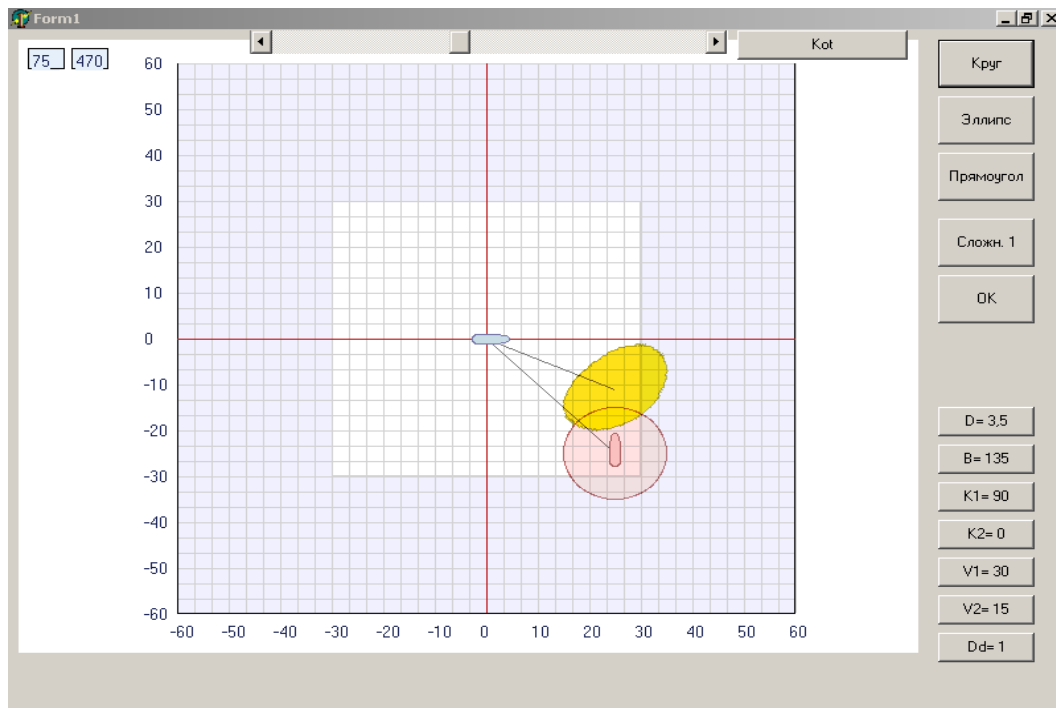


Рис. 1. Виртуальная область $S_{vr}^{(Rd)}$ при $\rho = 2$

На рис. 2 показана виртуальная область $S_{vr}^{(Rd)}$ для $\rho = 1$ (с такими же параметрами ситуации сближения).

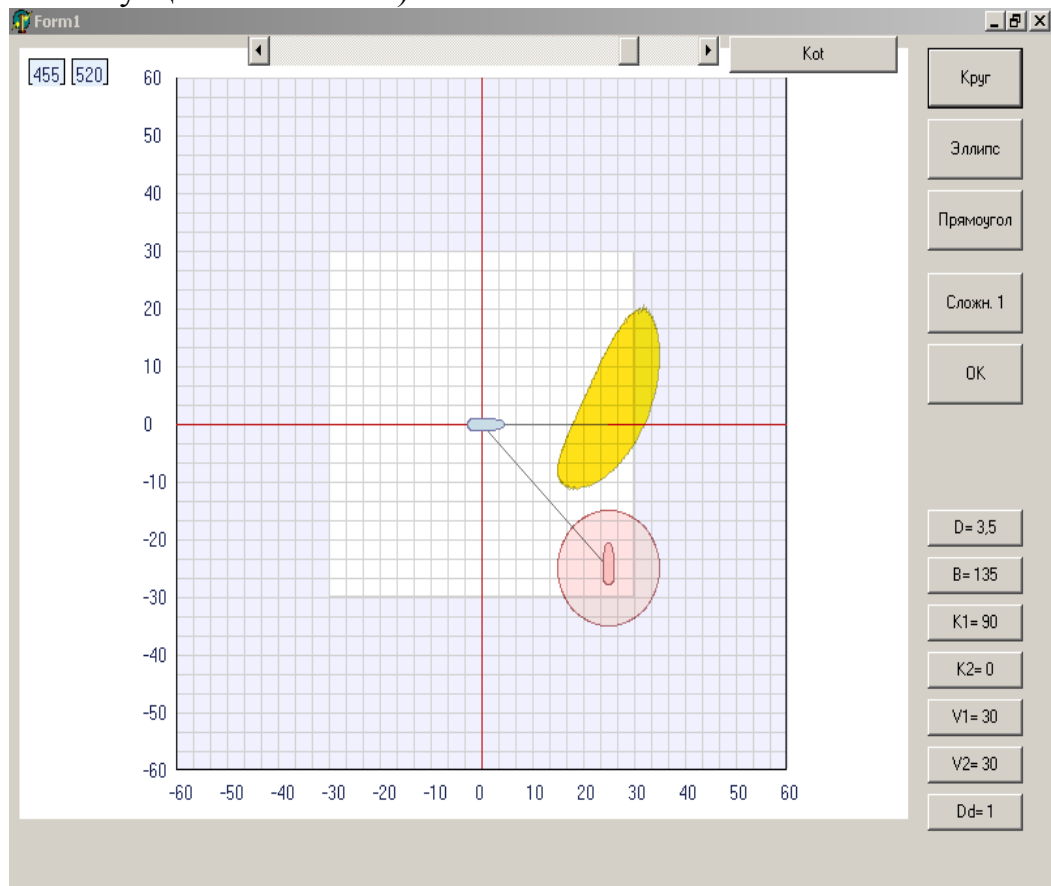


Рис. 2. Виртуальная область $S_{vr}^{(Rd)}$ при $\rho = 1$

Как следует из анализа приведенного рис. 1, в ситуации, когда $\rho \geq 1$, с уменьшением значения ρ при прочих равных условиях виртуальная область

$S_{vt}^{(Rd)}$ изменяет свою форму и положение, при этом уменьшение ρ может безопасное сближение (рис. 1) трансформировать в опасное (рис. 2).

При уменьшении начальной дистанции происходит увеличение сектора опасных относительных направлений, что в общем случае ведет к уменьшению множества безопасных курсов судна. На рис. 3 показана ситуация сближения судна с целью, когда скорость судна больше скорости цели.

Показаны безопасные и виртуальные области для дистанций между судном и целью равным 7,5, 5,5, 3,5 и 1,5 мили при неизменных параметрах движения судна и цели. Как видно из рисунка, ориентация и форма виртуальной области при неизменной безопасной области в пространстве относительного движения изменяется при уменьшении дистанции.

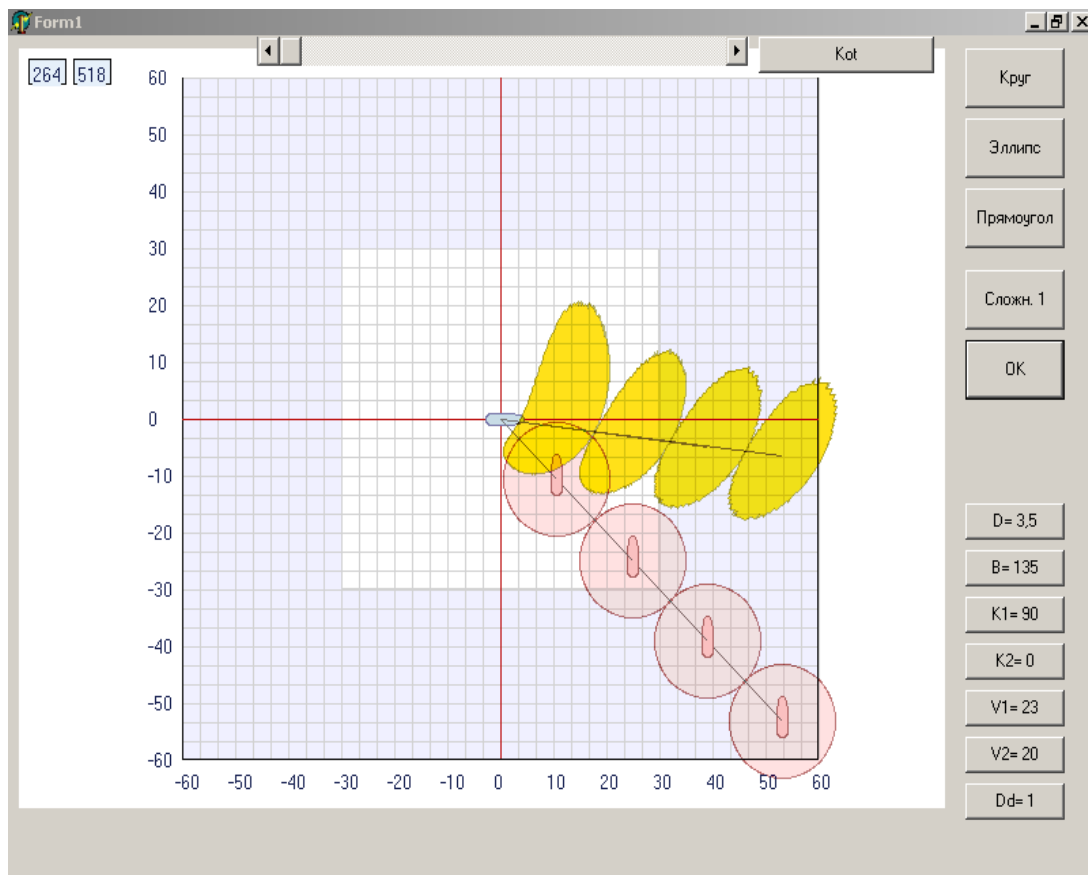


Рис. 3. Влияние изменения дистанции на форму виртуальной области

На рис. 4 показано изменение ориентации, формы и размеров виртуальной области при изменении пеленга на цель в случае неизменной дистанции и остальных параметров ситуации сближения. На рисунке показаны виртуальные области для пеленгов 120° , 160° , 200° и 240° .

Из рисунка видно, что размеры виртуальной области зависят от курсового угла судна с цели, причем с ростом курсового угла виртуальная область увеличивается. При этом размеры виртуальной области не зависят от того, является ли курсовой угол правого или левого борта.

При движении судна курсом 90° , а цели 0° , как показано на рис. 5 4.28 и 6 4.29, их сближение является опасным, так как траектория судна пересекает

виртуальную область в средней ее части. В начальный момент времени дистанция между судном и целью равна 3,5 мили.

При дальнейшем движении судна и цели с неизменными параметрами движения дистанция сокращается и к 150 секунде составляет 2,25 мили (рис. 6 4.29). В этот момент времени размеры и форма виртуальной области практически остаются неизменными.

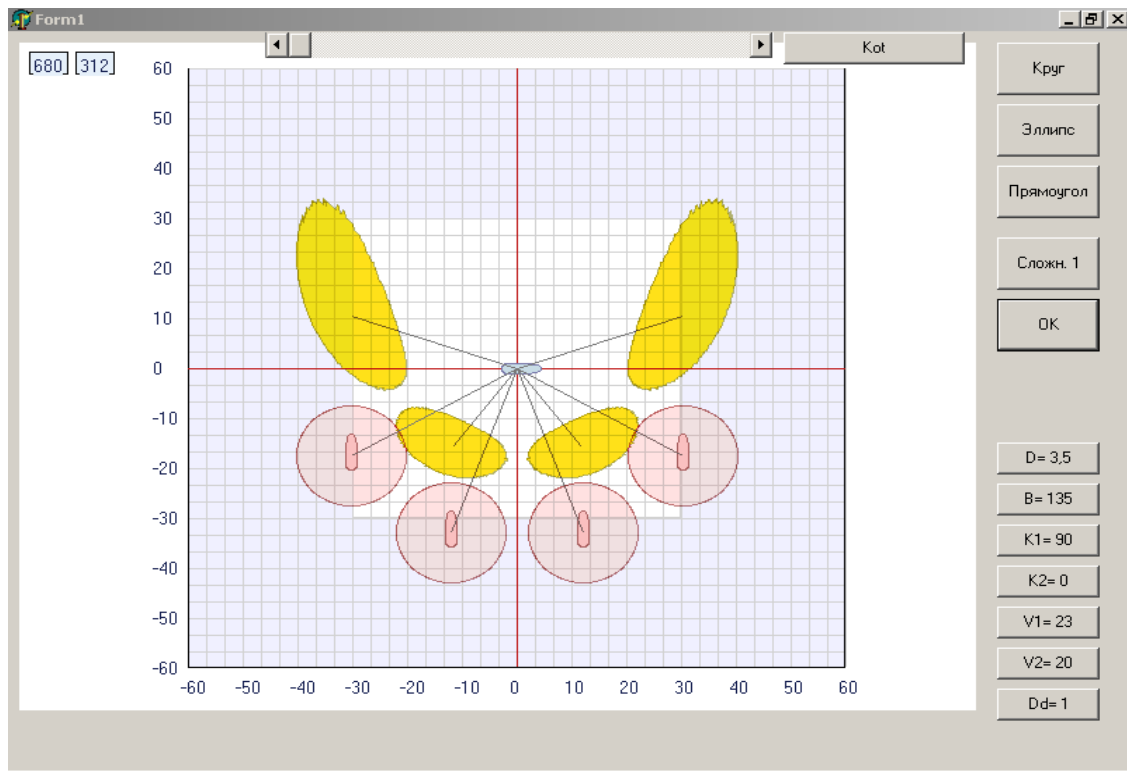


Рис. 4. Влияние изменения пеленга на размеры виртуальной области

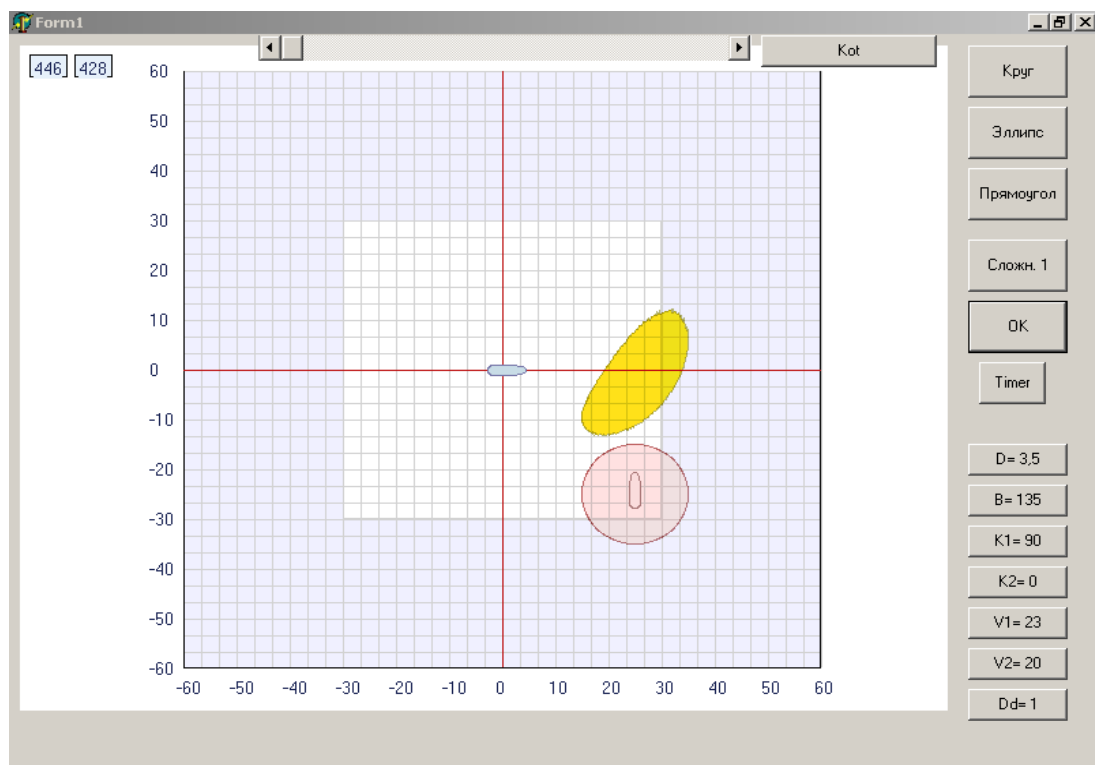


Рис. 5. Начальная позиция опасного сближения судна и цели

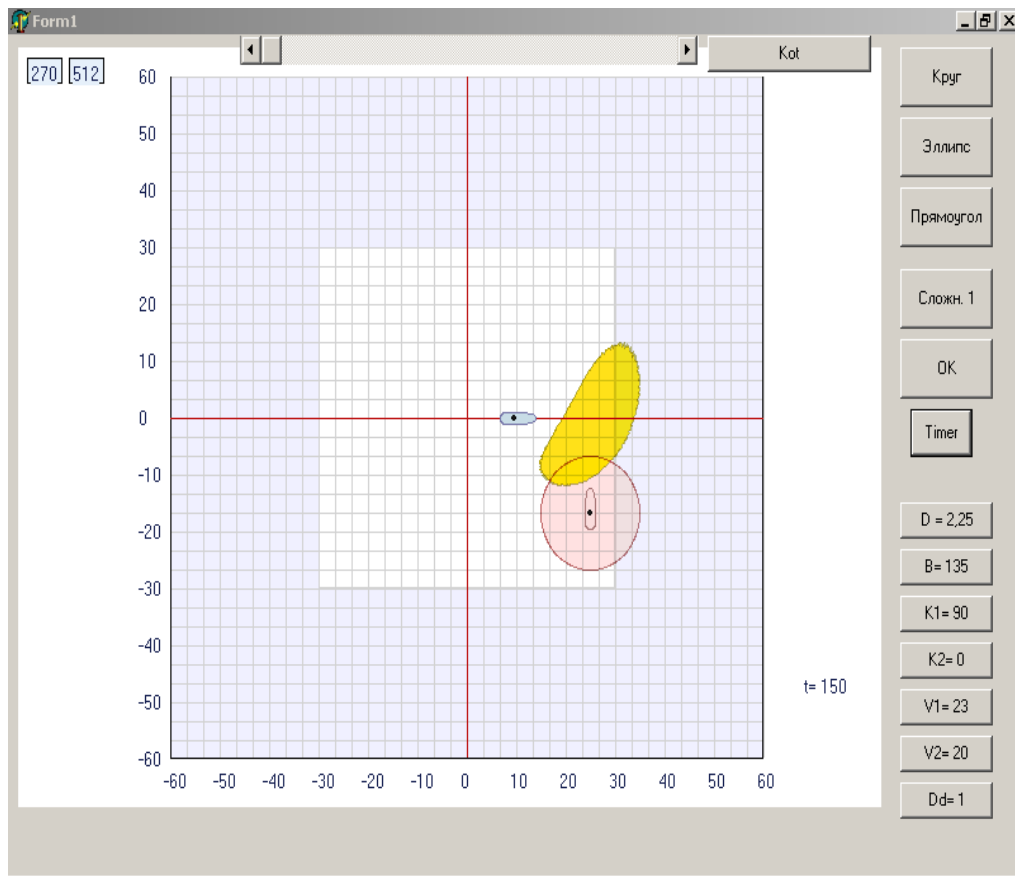


Рис. 6. Позиция опасного сближения судна и цели на 150 секунде

Продолжая сближаться на 299 секунде расстояние между судном и целью становится равным предельно-допустимой дистанции, и судно оказывается на границе виртуальной области, как следует из рис. 7. При этом виртуальная область начинает изменять свою форму и размеры.

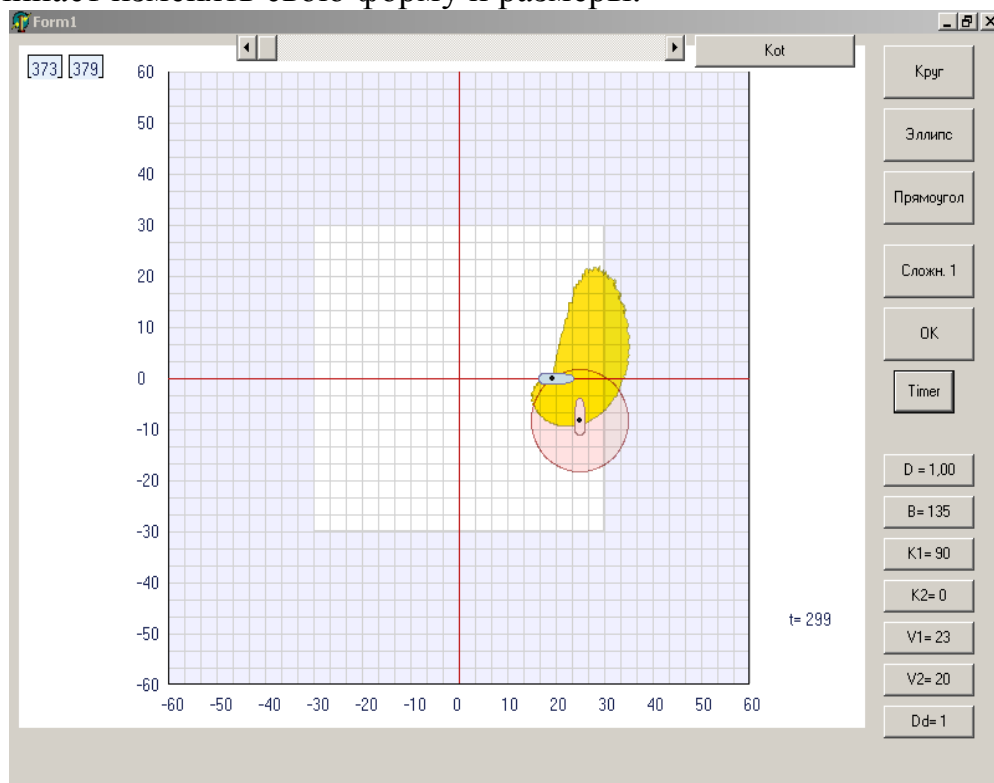


Рис. 7. Позиция сближения, когда судно на границе виртуальной области

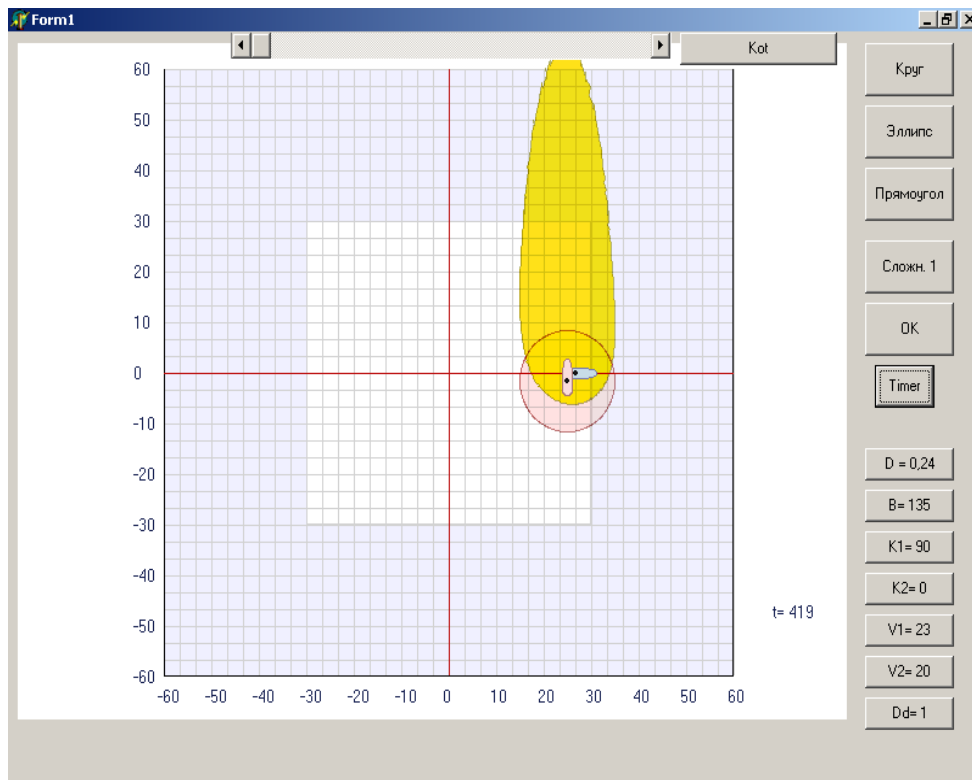


Рис. 8. Позиция кратчайшего сближения судна с целью

Во время пребывания судна в пределах виртуальной области дистанция уменьшается, а виртуальная область резко изменяет свою форму и размеры. На 419 секунде судно достигает дистанции кратчайшего сближения, которая, как следует из рис. 8, равна 0,24 мили.

Таким образом, если в начальный момент времени траектория судна пересекает виртуальную область, то сближение судна с целью происходит на минимальную дистанцию, которая меньше предельно-допустимой дистанции.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В статье определены особенности виртуальных областей и показано, что к факторам, влияющим на размеры и ориентацию виртуальных областей, относятся, пеленг и дистанция между судном и целью, отношение скоростей судна и цели, а также интервал времени от начальной ситуации сближения при следовании судов неизменны параметрами движения. В дальнейшем целесообразно разработать процедуру выбора маневра расхождения с учетом навигационного препятствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А.М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.

3. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков– Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
4. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
5. 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.
6. 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.
7. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.
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. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.
10. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.
11. Волков А.Н. Отображение зоны безопасности судна на электронной карте/ Волков А.Н. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013. – С. 40 – 45.
12. 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.