

УДК 656.61.052

PREDICTION OF THE ZONE, REFLECTING RESTRICTIONS OF THE TARGET ON B-MANEUVER**ПРОГНОЗ ЗОНЫ, ОТРАЖАЮЩЕЙ ОГРАНИЧЕНИЕ «ЦЕЛИ» НА В-МАНЕВР**

A.L. Vagushchenko¹, *PhD, associate professor*, **A.A. Vagushchenko²**, *2nd Officer*
А.Л. Вагущенко¹, *к.т.н., доцент*, **А.А. Вагущенко²**, *2-й помощник капитана*

¹*National University Odessa Maritime Academy, Ukraine*

²*SC «V.Ships (Ukraine)»*

¹*Національний університет Одеська Морська Академія, Україна*

²*ДП «В.Шипс (Україна)»*

ABSTRACT

The technique for the prediction of the boundaries of dangerous zones, reflecting the limitations of targets on B-maneuver of the own ship, is offered in the article. Borders of these zones are obtained by projection of targets domains of danger from area of the relative motion to the field of the true movement. This task is considered with the examples of the circular domain and domain semicircle semi-ellipse. Depiction of the predicted dangerous areas facilitates the B-maneuvers planning for safe passing by several targets.

Key words: collision avoidance, B-maneuver, predicted dangerous area, domain of danger.

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

Обеспечение безопасного расхождения судов в море остается на протяжении многих лет актуальной проблемой судовождения. Вопросам ее решения посвящено много научных работ, в том числе и отечественных ученых [2, 3]. Для предупреждения столкновений с судами могут использоваться действия различных видов. Одним из них является В-маневр – смещение на параллельную линию пути.

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

Для облегчения расхождения с несколькими судами смещением на параллельную линию пути в работе [1] было предложено использовать упрощенные зоны опасности (PAD_В- predicted area of danger) или их метки, отражающие ограничения «целей» на этот маневр. Следует отметить, что возможности вычислительной техники позволяют определять и использовать при расхождении не только упрощенные, но и точные границы PAD_В.

Нахождение и отображение таких границ даст адекватное представление об опасных при В-маневре областях и позволит повысить уровень понимания ситуации и качество решения задачи расхождения.

Формулировка целей статьи (постановка задачи).

Целью работы является разработка процедуры для предсказания по домену опасности «цели» точных границ опасной зоны PAD_B , отражающей ограничения этой «цели» на В-маневр судна оператора (OS – ownship) в области истинного движения.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов.

Судовым доменом опасности – СДО, называется водное пространство вокруг судна, ограниченное замкнутой линией, находясь внутри которой другое судно представляет для первого судна опасность. Такая зона жестко связана с судном и движется вместе с ним. При рассмотрении поставленной задачи СДО образуется у «цели». Это позволяет учесть особенности каждой «цели», используя при необходимости СДО разной формы и размеров. При исследовании проблемы безопасного расхождения судов рассматривались различные виды СДО: круговые, эллиптические, в виде полигонов и других фигур. Преобладающее применение в судовых системах для предупреждения столкновений нашел круговой домен. Поэтому он, прежде всего, рассматривается при решении поставленной задачи. Из других СДО, используемых в настоящее время, уделяется внимание только домену «полукруг-полуэллипс»[1].

PAD_B можно определить проектированием дискретного множества точек границы СДО «цели» из области относительного движения OS в область его истинного движения. Рассмотрим эту задачу на следующем примере (рис. 1).

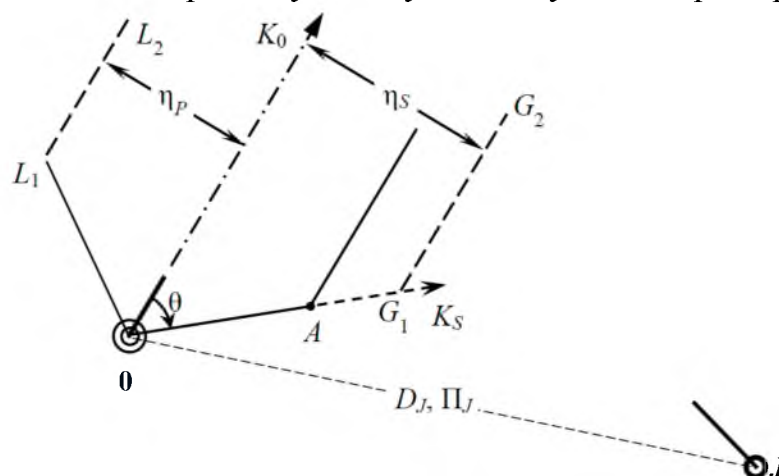


Рис. 1. Схема сближения двух судов

Допустим, судно оператора, которому присвоим номер 0, следует курсом K_0 со скоростью V . «Цель» J идет со скоростью V_J по курсу K_J . Расстояние от OS до «цели» равно D_J , а пеленг на нее - Π_J . Предполагается для расхождения с

опасной «целью» (на рисунке не показана) применить В-маневр с углом отклонения от первоначального курса θ . Курс уклонения обозначим K_s , а точку возвращения к исходному курсу - A .

Требуется определить границы зоны PAD_B , отражающей ограничения «цели» J на начало этого маневра.

Область возможных В-маневров OS с углом уклонения θ лежит около намеченной линии пути этого судна. Такую область движения и маневров (ОДМ) определим в виде двух полос (η_p, η_s) с границами L_1L_2 и G_1G_2 , как показано на рис. 1. Боковые границы ОДМ должны отсекают опасные для OS глубины и запретные для движения районы. Правая полоса ОДМ рассматривается при выборе В-маневра вправо, а левая – влево. В нашем случае он планируется вправо.

Для определения границ PAD_B рассмотрим движение OS относительно «цели» J при В-маневре (рис. 2, *a*). Заданное расстояние кратчайшего сближения, определяющее СДО «цели», обозначим r . Соответствующие исходному курсу относительные курс и скорость перемещения OS обозначены k_0, v_0 , а курсу уклонения - k_s, v_s . Значения этих параметров определяются решением треугольников скоростей, показанных на рис. 2, *б, в*.

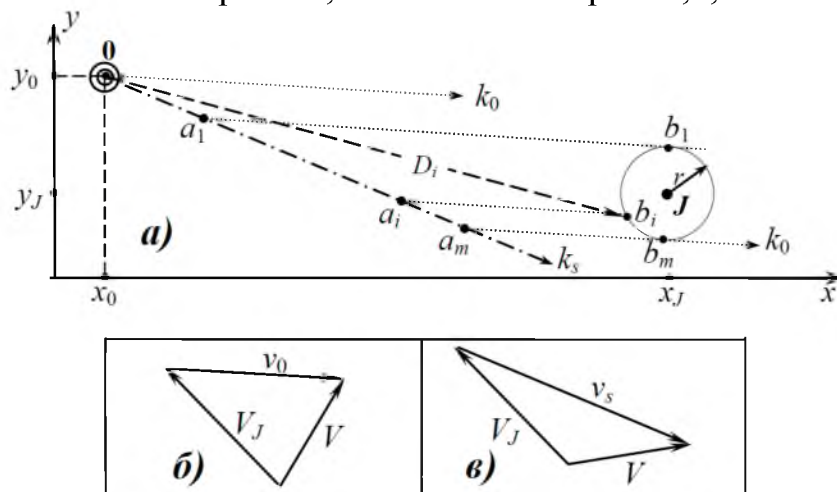


Рис. 2. Перемещение OS относительно «цели» при В-маневре

Прежде чем находить границу PAD_B , необходимо определить, попадает ли она в правую полосу ОДМ. Для этого получают проекции B_1, B_M (рис. 3) только двух точек b_1, b_m границы СДО (см. рис. 2). Если ни одна из этих проекций не попадает в правую полосу ОДМ, то «цель» не ограничивает В-маневр вправо с заданным углом θ и PAD_B не строится. В противном случае определяются границы PAD_B и показываются на экране. Для этого граница СДО представляется n равномерно распределенными на ней точками. Осветим операции проектирования этих точек на примере только одной b_i из них (см. рис. 2).

По известным координатам «цели», радиусу r ее домена опасности с учетом принятой для выбора на его границе точек процедуры, находятся координаты b_{ix}, b_{iy} точки b_i . По этим компонентам и координатам OS рассчитываются пеленг Π_i и дистанция D_i точки b_i . Затем рассматривается треугольник $0 a_i b_i$. Углы при его вершинах $0, a_i, b_i$ равны соответственно $k_s - \Pi_i,$

k_s-k_0 , Π_i-k_0 , а сторона $0b_i=D_i$. Другие стороны ($0a_i$, $a_i b_i$) названного треугольника находятся с помощью известных формул решения косоугольных треугольников. Время прохождения OS отрезков $0 a_i$ и $a_i b_i$ равно

$$\tau_s = 0a_i / v_s, \quad \tau_0 = a_i b_i / v_0. \quad (1)$$

По этим значениям в области истинного движения находятся координаты проекции B_i точки b_i (рис. 3)

$$\left. \begin{aligned} B_{iX} &= X_0 + V \cdot \tau_s \cdot \cos K_s + V \cdot \tau_0 \cdot \cos K_0 \\ B_{iY} &= Y_0 + V \cdot \tau_s \cdot \sin K_s + V \cdot \tau_0 \cdot \sin K_0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

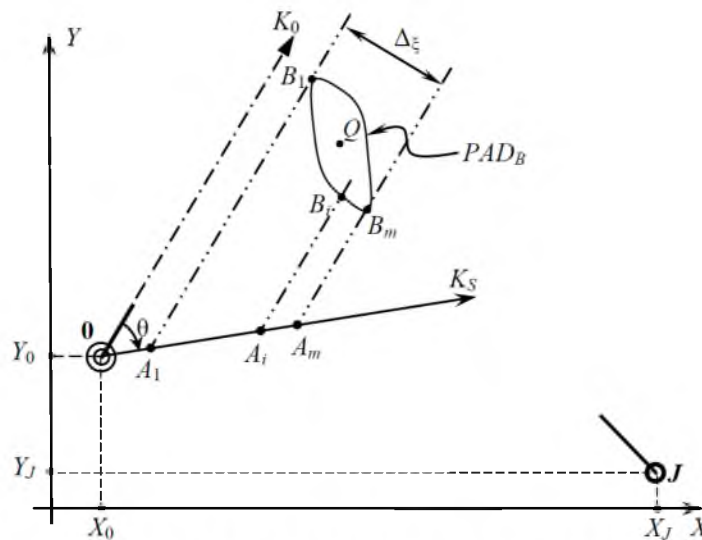


Рис. 3. PAD_B в области истинного движения

Подобным образом находятся и другие точки границы PAD_B . В представленной на рисунке точке Q суда столкнутся, если траектория В-маневра OS пройдет через эту точку.

Рассмотрим теперь получение границы PAD_B , когда в ситуации, показанной на рис. 1, домен опасности «цели» является «полукруг-полуэллипс». Этот домен определяется малой r и большой ρ полуосями полуэллипса. Представим схему движения OS относительно «цели» J с таким доменом при В-маневре на рис. 4.

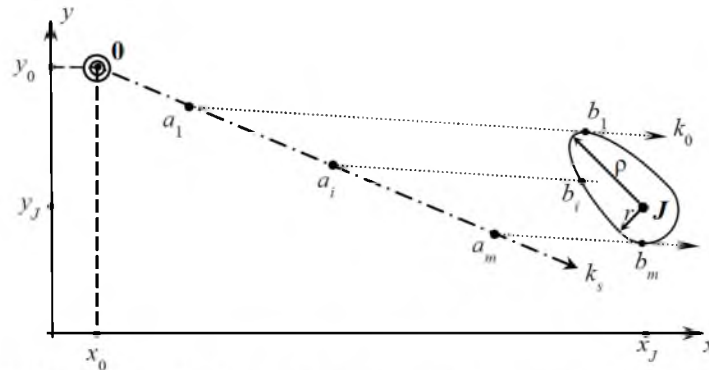


Рис. 4. Движение OS относительно «цели» при В-маневре

Вначале определяется, попадает ли PAD_B в правую полосу ОДМ. Для этого находятся координаты точек b_1, b_m . Координаты b_m получаются по формулам

$$\left. \begin{aligned} b_{mx} &= x_j - r \cdot \cos k_0 \\ b_{my} &= y_j - r \cdot \sin k_0 \end{aligned} \right\} (3)$$

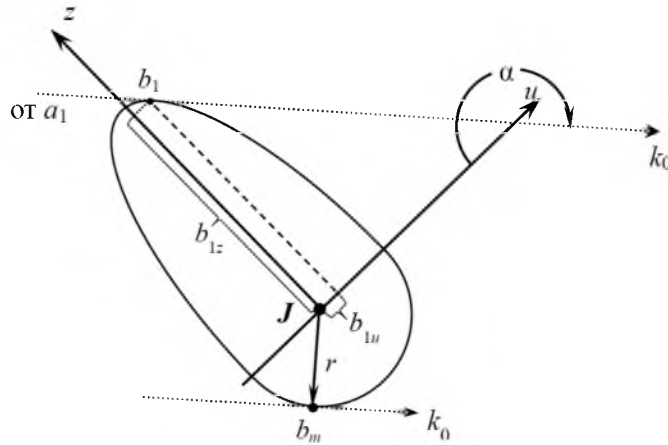


Рис. 5. К расчету b_{1u}, b_{1z}

Задачу определения координат b_{1x}, b_{1y} точки b_1 разделим на две части. Вначале получим координаты b_{1u}, b_{1z} этой точки во вспомогательной системе Juz , начало которой связано с местом «цели», ось Jz лежит в диаметральной плоскости «цели» и направлена в сторону ее носа, а ось Ju находится в плоскости мидель шпангоута и направлена в сторону правого борта (рис. 5). А затем координаты b_{1u}, b_{1z} пересчитаем в систему xoy .

Выведем формулы для расчета b_{1u}, b_{1z} . Для этого уравнение проходящей через точку b_1 линии относительного движения ОСв системе Juz представим так

$$z = h \cdot u + C. \quad (4)$$

В этом уравнении $h = \tan \alpha$, где α (см. рис. 5) находится по формуле

$$\alpha = k_0 - K_J - 90^\circ. \quad (5)$$

Передняя половина домена опасности является полуэллипсом. Его каноническое уравнение имеет вид

$$\frac{z^2}{\rho^2} + \frac{u^2}{r^2} = 1, \quad (6)$$

где $z \geq 0$.

Из этого выражения можно получить уравнение касательной к эллипсу и представить его в виде

$$z = h_E \cdot u + C_E, \quad (7)$$

где $C_E = \rho^2 / b_{1z}$; $h_E = -b_{1u} \cdot \rho^2 / (b_{1z} \cdot r^2) = -\lambda \cdot \rho^2 / r^2$; $\lambda = b_{1u} / b_{1z}$;
 b_{1u}, b_{1z} - координаты точки касания.

Так как рассматривается касательная (4), то h_E должно быть равным h .
 Отсюда следует, что

$$\lambda = \left| -h \cdot r^2 / \rho^2 \right|. \tag{8}$$

Подставляя $b_{1u} = \lambda b_{1z}$ в (6) и преобразуя, получим

$$b_{1z} = \rho \cdot r \sqrt{1 / (r^2 + \lambda^2 \rho^2)}. \tag{9}$$

Вторая координата точки b_1 будет $b_{1u} = \lambda b_{1z}$.

Координаты b_{1x}, b_{1y} точки b_1 находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} b_{1x} &= x_j + b_{1u} \cdot \cos K_J + b_{1z} \sin K_J \\ b_{1y} &= y_j - b_{1u} \cdot \sin K_J + b_{1z} \cos K_J \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

Используя координаты b_{1x}, b_{1y} и b_{mx}, b_{my} , по методике, примененной при проектировании границ кругового домена, найдем в области истинного движения проекции B_1, B_M (рис. 6) точек b_1, b_m (рис. 4). Если хоть одна из этих проекций попадает в правую полосу ОДМ, строится PAD_B , соответствующая домену полукруг-полуэллипс. Для этого граница домена представляется определенным множеством точек b_i , находятся соответствующие им проекции B_i в области истинного движения по выше охарактеризованной методике и, путем соединения этих точек прямыми отрезками, либо использованием сплайнов, получается граница PAD_B (см. рис. 6).

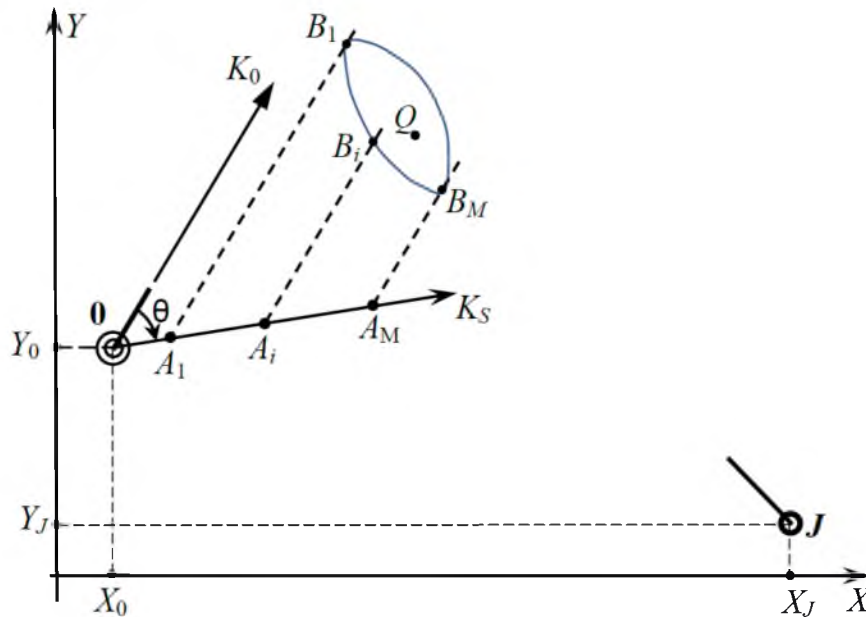


Рис. 6. PAD_B в области истинного движения

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.

Представленные методы позволяют определять и использовать при расхождении точные границы зон РAД_B, соответствующих доменам опасности «целей» в виде круга и полукруга-полуэллипса, и отражающих ограничения «целей» на В-маневр. Нахождение и отображение таких границ даст адекватное представление об опасных при В-маневре областях, позволит повысить уровень понимания ситуаций и качество решения задач расхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути /Л.Л.Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
2. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е.Е. Тюпиков, И.И. Ворохобин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.