

УДК656.61.052.484

## DISPLAY OF SHIP'S SAFETY ZONE ON ELECTRONIC CHART

### ОТОБРАЖЕНИЕ ЗОНЫ БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА НА ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЕ

*Volkov A.N., senior lecturer*

**Волков А.Н., старший преподаватель**

*Odessa National Maritime Academy, Ukraine*

*Одесская Национальная Морская Академия, Украина*

#### ABSTRACT

The variant of formalization of descriptions of the guided dynamic system of vessels from positions of estimating safety of their sailing is resulted. The approach offered allows the possibility of external management and making joint vector of managing influences that considerably promotes the dirigibility of the system and consequently its safety.

**Key words:** safety of navigation, danger of collision, guided dynamic systems, descriptions of safety.

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

При плавании судов в стесненных водах в ситуациях опасного сближения судов при выборе маневра расхождения зачастую необходимо избегать навигационных опасностей.

Поэтому выбор безопасного маневра расхождения требует одновременного учета опасно сближающихся целей, что производится в относительном движении и навигационных опасностей, которые учитываются в истинном движении.

По этой причине возникает необходимость оценки безопасности сближения судна с целью в пространстве истинного движения.

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

Вопросы, касающиеся формирования безопасной судовой области с учетом существенных факторов, к которым в первую очередь относится стохастическая природа погрешностей безопасной области исследованы в работе [1].

Работа [2] посвящена совместному учету ограничения по безопасности расхождения судов и навигационного ограничения с помощью представления судовой безопасной зоны в истинном движении.

Следовательно, вопросы совместного учета опасных судов и навигационных опасностей являются актуальными, чем и определяется выбор темы данной публикации.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи)**

Целью данной работы является разработка процедуры преобразования судовой безопасной области, заданной в пространстве относительного движения, в пространство истинного движения.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов**

Безопасная зона судна  $B_3$  задается в пространстве относительного движения определенной фигурой, например, кругом, эллипсом или прямоугольником, заданными относительно цели уравнением  $y = f(x)$ , заданным в системе координат ОХУ. Покажем, как в этом случае производится преобразование области  $B_3$  из пространства относительного движения в пространство истинного движения.

Положение цели относительно судна в пространстве относительного движения задается дистанцией  $D_0$  и пеленгом  $\alpha_0$ , а зона безопасности судна  $B_3$  построена относительно цели  $C$ , являющейся началом координат ОХУ.

Пространство истинного движения, которое отображается на обычной или электронной карте содержит навигационные опасности, однако зоны безопасности цели не могут быть связанными с целями и иметь форму, заданную в пространстве относительного движения.

Направления в пространстве относительного движения определяются углами  $\alpha$ , а расстояния отрезками  $D$ , как показано на рис.1.

В пространстве истинного движения направления и дистанции выражаются углом  $\beta$  и отрезком  $L$ . Например, точка  $M$ , принадлежащая к границе зоны безопасности судна, в пространстве относительного движения имеет полярные координаты  $D$  и  $\alpha$ .

Эта точка в пространстве истинного движения имеет положение  $M_1$  с полярными координатами  $L$  и  $\beta$ . Центр зоны безопасности в пространстве относительного движения совпадает, как отмечалось, с целью и имеет координаты  $D_0$  и  $\alpha_0$ , а в пространстве истинного движения положение центра зоны характеризуется координатами  $L_0$  и  $\beta_0$ .

Следует отметить, что принципиально важным является преобразование координат каждой точки границы зоны безопасности из пространства относительного движения в пространство истинного движения, т.е. преобразования полярных координат  $D$  и  $\alpha$  точки  $M$  в полярные координаты  $L$  и  $\beta$  точки  $M_1$ .

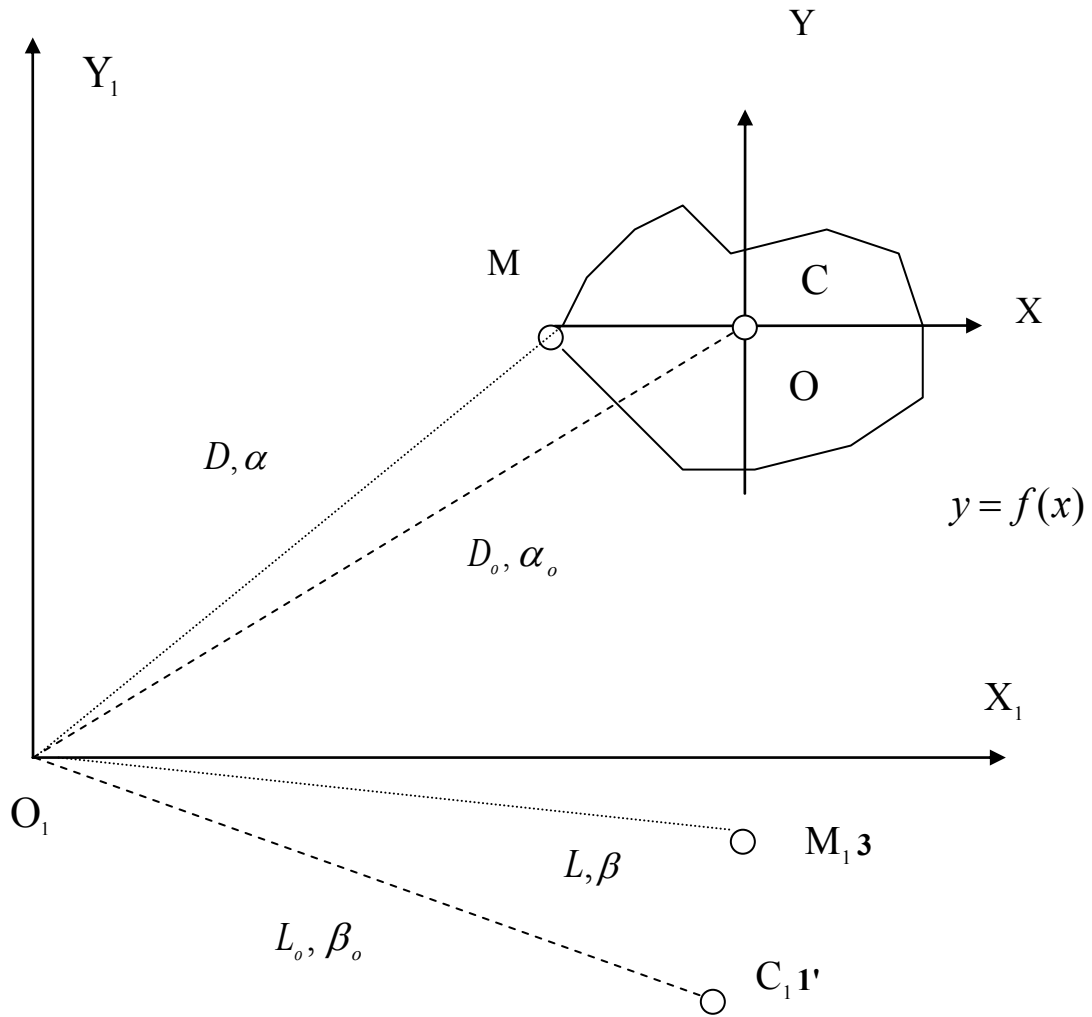


Рис. 1. Преобразование границ судовой безопасной зоны

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_o \sin \beta - V_c \sin K_c}{V_o \cos \beta - V_c \cos K_c},$$

где  $V_c$  и  $K_c$  - скорость и курс цели;

$V_o$  - скорость судна.

Из этого выражения можно записать:

$$V_o (\sin \beta - \operatorname{tg} \alpha \cos \beta) = V_c (\sin K_c - \operatorname{tg} \alpha \cos K_c).$$

Полученное равенство представим в следующем виде:

$$\sin \beta - \operatorname{tg} \alpha \cos \beta = p^{-1} (\sin K_c - \operatorname{tg} \alpha \cos K_c),$$

где  $p = V_o / V_c$ .

Правую и левую части полученного выражения умножим на  $\cos \alpha$ , и получим:

$$\sin \beta \cos \alpha \sin \alpha \cos \beta = p^{-1} (\sin K_c \cos \alpha - \sin \alpha \cos K_c),$$

что после преобразований даст:

$$\sin(\beta - \alpha) = p^{-1} \sin(K_c - \alpha).$$

Данное уравнение имеет два корня:

$$\beta_1 = \alpha + \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)],$$

$$\beta_2 = \alpha + \pi - \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)]. \quad (1)$$

Анализ полученного решения показал, что один из полученных корней имеет место при  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta} > 0$ , другой – при  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta} < 0$ . Это обстоятельство требует установить соответствие между значением знака производной  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta}$  и корнями  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , для чего найдем выражение для производной  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_1}$ .

С этой целью первое уравнение дифференцируем по  $\beta_1$ :

$$1 = \frac{\partial \alpha}{\partial \beta_1} + \frac{p^{-1} \cos(K_c - \alpha)}{[1 - p^{-2} \sin^2(K_c - \alpha)]^{1/2}} \frac{\partial \alpha}{\partial \beta_1}, \quad \text{откуда следует:}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_1} = \left[ 1 + \frac{p^{-1} \cos(K_c - \alpha)}{[1 - p^{-2} \sin^2(K_c - \alpha)]^{1/2}} \right]^{-1} = (1 + q)^{-1} \quad \text{или}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_1} = (1 + q)^{-1},$$

$$\text{где } q = \frac{p^{-1} \cos(K_c - \alpha)}{[1 - p^{-2} \sin^2(K_c - \alpha)]^{1/2}}.$$

Как следует из анализа выражения  $q$ , при  $p > 1$  модуль  $q$  не превосходит 1 независимо от значений остальных переменных, поэтому независимо от знака  $q$  справедливо равенство  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_1} > 0$ , которое имеет место и при  $p < 1$ , но лишь для направлений  $\beta$ , дающих положительное относительное уклонение.

Произведем дифференцирование второго уравнения выражения (1) по переменной  $\beta_2$ , и получим:

$$1 = \frac{\partial \alpha}{\partial \beta_2} - \frac{p^{-1} \cos(K_c - \alpha)}{[1 - p^{-2} \sin^2(K_c - \alpha)]^{1/2}} \frac{\partial \alpha}{\partial \beta_2},$$

откуда следует:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_2} = \left[ 1 - \frac{p^{-1} \cos(K_c - \alpha)}{[1 - p^{-2} \sin^2(K_c - \alpha)]^{1/2}} \right]^{-1} = (1 + q)^{-1}.$$

Поэтому можно окончательно записать:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_2} = (1 - q)^{-1}.$$

Анализ полученного выражения показывает, что при  $p < 1$  первая производная  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta_2} < 0$  в случае, если курсы судна принадлежат к курсам, дающих отрицательное относительное уклонение.

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

В случае, когда  $p > 1$ , происходит однозначное отображение множества относительных направлений  $\alpha$  в множество истинных направлений  $\beta$ , так как знак первой производной  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta}$  положительный для всех значений истинных направлений  $\beta$ , причем искомое отображение описывается зависимостью:

$$\beta = \alpha + \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)].$$

В случае  $p < 1$  отображение множества относительных направлений  $\alpha$  в множество истинных направлений  $\beta$  не является однозначным так как первая производная  $\frac{\partial \alpha}{\partial \beta}$  может иметь как положительный, так и отрицательный знаки, т.е. каждому относительному направлению, кроме экстремальных, соответствует два значения  $\beta_1$  и  $\beta_2$  истинных направлений, причем справедливы соотношения:

$$\beta = \alpha + \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)], \quad \text{при } \Delta > 0;$$

$$\beta = \alpha + \pi - \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)], \quad \text{при } \Delta < 0;$$

где  $\Delta$  - относительные уклонения.

В случае, когда  $p = 1$ , т. е. скорости судна и цели равны, получим:

$$\beta = 2\alpha + \pi - K_c.$$

Подводя итог вышеизложенному, приведем зависимость истинного направления  $\beta$  как функцию относительного направления  $\alpha$  для различных значений  $p$  и относительных уклонений  $\Delta$ :

$$\beta = \alpha + \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)], \quad \text{при } p > 0;$$

$$\beta = 2\alpha + \pi - K_c, \quad \text{при } p = 1;$$

$$\beta = \alpha + \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)], \text{ при } p < 1 \text{ и } \Delta > 0,$$

$$\beta = \alpha + \pi - \arcsin [p^{-1} \sin(K_c - \alpha)], \text{ при } p < 1 \text{ и } \Delta < 0.$$

Преобразование дистанции  $D$  в пространстве относительного движения в дистанцию  $L$  до границы безопасной зоны в пространстве истинного движения вычисляется с учетом инвариантности времени достижения границы:

$$\frac{D}{V_{ot}} = \frac{L}{V_o}, \quad \text{или} \quad L = \frac{V_o}{V_{ot}} D.$$

### **Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению**

В статье показано, что судовая безопасная зона из пространства относительного движения может отображаться в пространство истинного движения, т.е. на электронную карту для совместного учета опасных целей и навигационных опасностей. Получены выражения для преобразования границы зоны. В дальнейшем целесообразно разработать алгоритмы преобразования зоны безопасности заданной формы.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алексишин В.Г. Зависимость параметров судовой безопасной зоны от стохастических позиционных погрешностей / Алексишин В.Г., Алексишин А.В. // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 3–10.
2. Степаненко В.В. Усовершенствование методов оценки ситуации расхождения судов. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16/ ОНМА. – Одесса, 2004. – 24 с.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.