

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ОБЛАСТИ СУДНА СЛОЖНОЙ
ФОРМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗАВАРИЙНОГО ПЛАВАНИЯ

Выбор маневра расхождения при плавании судов в стесненных условиях зачастую наряду с опасной целью требует одновременного учета навигационных опасностей.

Учет опасной цели производится в относительном движении, а навигационные опасности учитываются в истинном движении. Поэтому возникает необходимость оценки безопасности сближения судна с целью в пространстве истинного движения.

Так как для оценки уровня опасности сближения судна с целью используется безопасная область судна, то необходимо, во-первых, определить ее размеры и, во-вторых, формально описать границы области заданной формы, как при относительном, так и при истинном движении.

В работе [1] исследованы вопросы, касающиеся формирования безопасной судовой области с учетом существенных факторов, к которым, в первую очередь, относятся стохастические погрешности измерения навигационных параметров.

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

В работе [3] рассмотрена процедура отображения области безопасности судна на электронной карте в пространстве истинного движения, а в работе [4] рассмотрена процедура определения размеров области, имеющей форму эллипса.

Целью статьи является разработка процедуры определения размеров и аналитического описания границы безопасной области судна сложной формы, обеспечивающей безаварийное плавание.

В работе [5] рассмотрены более десяти применяемых в настоящее время форм судового домена опасности (безопасной области судна). Одной из форм безопасной области судна, учитывающей его динамику, является симметричная область, показанная на рис. 1.

Анализируя рис. 1, отмечаем, что безопасная область судна характеризуется тремя параметрами: длиной области a (отрезок AD), меньшей шириной b_1 (отрезок $B_p B_s$) и большей шириной b_2 (отрезок $C_p C_s$). Выразим параметры безопасная область судна S_b через ее

длину a , учитывая, что $AB = BO = OC = CD = 0,25a$. При этом $b_1 = 0,5a$ и $b_2 = 0,7a$.

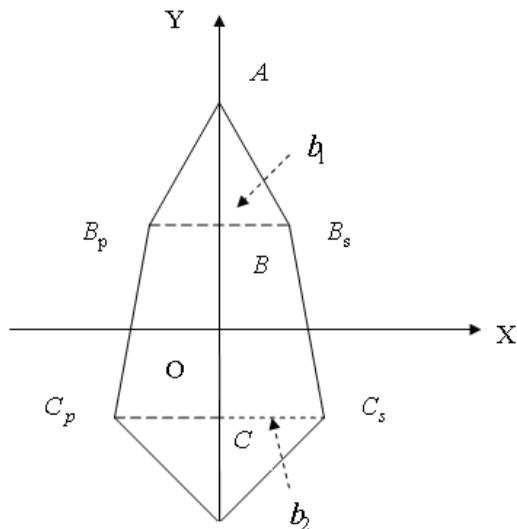


Рис. 1. Сложная форма безопасной области судна

Уравнение границы области S_b в координатной системе OXY $y = f(x)$ принимает следующий вид:

$$y = \begin{cases} -0,5a + \frac{0,25}{0,35}x, & \text{если } -0,5a < y < -0,25a; \quad x \in [0, 0,35a]; \\ 1,5a - 5x, & \text{если } -0,25a < y < 0,25a; \quad x \in [0,35a, 0,25a]; \\ 0,5a - x, & \text{если } 0,25a < y < 0,5a; \quad x \in [0, 0,25a]; \\ 0,5a + x, & \text{если } 0,25a < y < 0,5a; \quad x \in [-0,25a, 0]; \\ 1,5a + 5x, & \text{если } -0,25a < y < 0,25a; \quad x \in [-0,35a, -0,25a]; \\ -0,5a - \frac{0,25}{0,35}x, & \text{если } -0,5a < y < -0,25a; \quad x \in [0, -0,35a], \end{cases} \quad (1)$$

где каждое из уравнений соответствует прямолинейному участку границы, начиная из DC_s .

Отображение безопасной области судна из пространства относительного движения в пространство истинного производится с помощью преобразования полярных координат безопасной области [3]. Для этого граница безопасной области записывается в полярных ко-

ординатах D и α . Очевидно, в пространстве относительного движения полярные координаты точки границы безопасной области судна выражается следующим образом:

$$D = \sqrt{X_{1f}^2 + Y_{1f}^2}, \quad \alpha = \text{Arctg}\left(\frac{X_{1f}}{Y_{1f}}\right),$$

где $X_{1f} = D_o \sin \alpha_o + x$, $Y_{1f} = D_o \cos \alpha_o + y$; D_o , α_o – начальные дистанция и пеленг на цель.

Каждой точке границы безопасной области с координатами D и α в пространстве относительного движения, как показано в работе [6], соответствует точка с координатами L и β в пространстве истинного движения, причем:

$$L = \frac{V_o}{V_{ot}} D;$$

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

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

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

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

где $\rho = V_o / V_c$ – отношение скоростей судна V_o и цели V_c ; V_{ot} – относительная скорость; Δ – характеристика относительного уклонения судна, причем $\Delta=1$ при относительном уклонении судна вправо и $\Delta=-1$ в противном случае; K_c – курс цели.

Для проверки корректности предлагаемой процедуры преобразования судовой безопасной области, заданной в пространстве относительного движения, в пространство истинного движения разработана компьютерная программа, которая для расчета границы области использует выражение (1). В качестве примера рассмотрена ситуация сближения судна с целью. Параметры ситуации имеют значения:

$$D_o = 3,5 \text{ миль}, \quad \alpha_o = 135^\circ, \quad K_o = 90^\circ, \quad K_c = 0^\circ,$$

$$V_o = 23 \text{ уз}, \quad V_c = 20 \text{ уз}, \quad a = 2 \text{ мили}.$$

Безопасные области цели в пространстве относительного и истинного движения для указанной ситуации показаны на рис. 2.

Для определения размеров области S_b учитываем то обстоятельство, что положение навигационной опасности относительно судна характеризуется векториальной погрешностью с двумерной плотностью распределения $f(x, y)$. Найдем длину a области S_b , в которой навигационная опасность находится с вероятностью P_d , величина ко-

торой близка к единице. Для этого необходимо решить уравнение, определяющие вероятность нахождения судна в заданной области:

$$\iint_{D_E} f(x,y) dx dy = P_d . \quad (2)$$

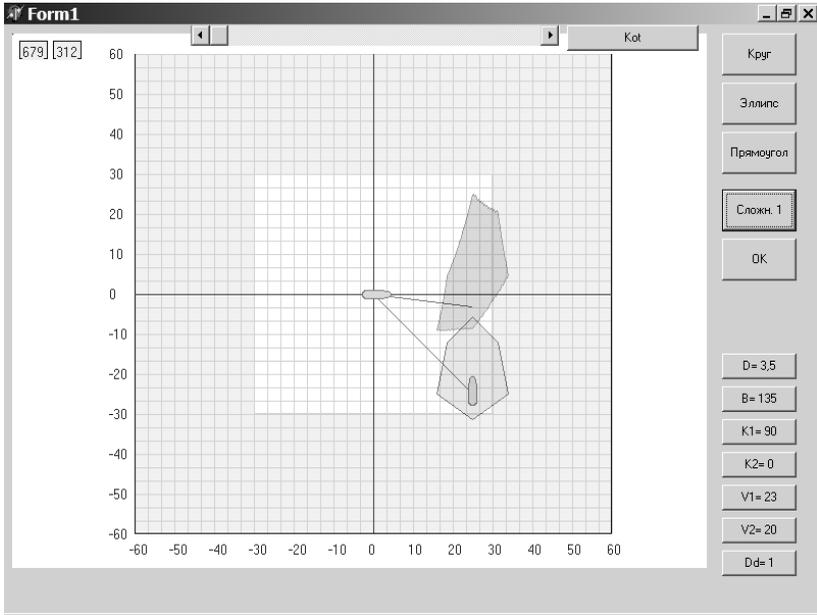


Рис. 2. Безопасная область судна в относительном и истинном движении

Интегрирование производится по безопасной области судна D_E .

Двумерная плотность распределения $f(x,y)$ векториальной погрешности при независимых погрешностях описывается законом Гаусса:

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right], \quad (3)$$

где σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения векториальной погрешности.

Подставляя плотность (3) в исходное выражение (2), получим:

$$\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \iint_{D_E} \exp[-(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2})] dx dy = P_d. \quad (4)$$

Интеграл в выражении (4)

$$\mathfrak{I} = \iint_{D_E} \exp[-(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2})] dx dy$$

зависит от параметра a и является суммой нескольких интегралов. Из рис. 1 видно, что

$$\mathfrak{I}(a) = 2[\mathfrak{I}_1(a) + \mathfrak{I}_2(a) + \mathfrak{I}_3(a)]. \quad (5)$$

Учитывая, что плотность распределения $f(x, y)$ задана не относительно начала координат O , а относительно судна C , то интегралы выражения (5) имеют следующий вид:

$$\mathfrak{I}_1(a) = \int_0^{0,35a} \int_{-0,5a+kx}^{-0,25a} \exp\{-[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-0,25a)^2}{\sigma_y^2}]\} dy dx; \quad (6)$$

$$\mathfrak{I}_2(a) = \int_{0,35a}^{0,25a} \int_{-0,25}^{1,5a-5x} \exp\{-[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-0,25a)^2}{\sigma_y^2}]\} dy dx; \quad (7)$$

$$\mathfrak{I}_3(a) = \int_{0,25a}^0 \int_{0,25}^{0,5a-x} \exp\{-[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-0,25a)^2}{\sigma_y^2}]\} dy dx, \quad (8)$$

где $k = 0,25/0,35$.

С учетом полученных выражений (6), (7) и (8) уравнение (4) принимает вид:

$$[\mathfrak{I}_1(a) + \mathfrak{I}_2(a) + \mathfrak{I}_3(a)] = \pi\sigma_x\sigma_y P_d.$$

Полученное уравнение решается относительно параметра a методом простых итераций, причем полученный параметр a однозначно определяет размеры безопасной области судна S_b .

Используя полученные выражения, были рассчитаны размеры безопасной области судна S_b . Для расчета принимались следующие исходные данные: среднеквадратические отклонения $\sigma_x = 20$ м и $\sigma_y = 25$ м, заданная вероятность $P_d = 0,995$.

В результате расчета получены следующие параметры безопасной области судна S_b без учета его габаритов $a = 127$ м, $b_1 = 89$ м, $b_2 = 64$ м.

Таким образом, получена процедура аналитического описания безопасной области судна сложной формы и расчета ее размеров без

учета габаритов судна. При этом сделано предположение о нормальном распределении векториальной позиционной погрешности. В дальнейшем целесообразно разработать процедуру расчета размеров безопасной области судна с учетом габаритов судна и его инерционных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Одесса: ОНМА, 2004. – 24 с.
3. Волков А.Н. Отображение зоны безопасности судна на электронной карте // Судовождение: сб. научн. трудов. 2013. – Вып. 23. – Одесса: "ИздатИнформ". ОНМА. – С. 27 – 34.
4. Якушев А.О. Процедура определения параметров судовой безопасной области в системах предупреждения столкновений судов // Проблемы техніки: науково-виробничий журнал. – 2013. – №4 . – С. 168 – 174.
5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути – Одесса: Феникс, 2013. – 180 с.