

Якушев А.О.

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ СУДОВОЙ БЕЗОПАСНОЙ ОБЛАСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПОЗИЦИОННОЙ ПОГРЕШНОСТИ

В статье рассмотрена процедура, позволяющая определить размеры безопасной области судна определенной формы с заданной вероятностью попадания в нее истинного места судна и выбранным законом распределения вероятностей позиционной погрешности.

Получены аналитические выражения для расчета размеров области пяти типов, имеющих форму круга, эллипса и прямоугольника и приведены результаты компьютерных расчетов.

Ключевые слова: безопасная область судна, плотность распределения позиционной погрешности, численное интегрирование.

Постановка проблемы. Для обеспечения безаварийного плавания судна используется безопасная область, в которой находится судно, причем в эту область не должны попадать другие объекты во избежание аварийных происшествий. Форма безопасной судовой области определяющим образом влияет на своевременность выявления ситуации опасного сближения.

Поэтому получение способа выбора оптимальной формы судовой безопасной области является актуальным и перспективным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Вопросу построения судовой безопасной области посвящены многие работы, причем стандартным описанием такой области является круг, в центре которого находится судно, а радиусом является предельно-допустимая дистанция сближения.

Однако в ряде работ предлагается другая форма судовой безопасной области риска столкновения. Так, в работе [1] в качестве критерия безопасности предлагается «область столкновения», под которой имеется в виду некоторая область по направлению движения судна.

В работе [2] область навигационной безопасности описана эллипсом, которая используется в автоматизированной радиолокационной системе. При этом кривая, которая ограничивает зону, описывается из центра тяжести судна радиусом переменной длины, который зависит от длины судна, его скорости и курсового угла радиуса.

Процедура расчета большой оси эллипса зоны навигационной безопасности, как «динамической длины судна» и малой оси эллипса, как «динамической ширины судна» для плавания в портовых водах предложена в работе [3], причем оба параметра зависят от длины и ширины судна, его скорости и протяженности тормозного пути. В работе [4] рассмотрены более десяти применяемых в настоящее время форм судового домена опасности (безопасной области судна).

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. При маневрировании для безопасного прохождения препятствия судно должно отклоняться от программной траектории и пройти мимо опасной области препятствия.

В работе [5] для оценки опасной области различной формы предлагается определить граничные размеры области D , в которой препятствие находится в области с заданной вероятностью P_d , близкой к единице.

Поэтому размеры области D заданной формы вычисляется путем решения уравнения

$$\iint_D f(x, y) dy dx = P_d, \quad (1)$$

где $f(x, y)$ - двумерная плотность распределения векториальной позиционной погрешности.

Для описания случайных погрешностей навигационных измерений применяется распределение Гаусса, двумерная плотность которого имеет вид

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

где σ_x и σ_y - средние квадратические отклонения векториальной погрешности

соответственно по осям x и y , причем $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ и $\sigma_y = \sqrt{D_y}$.

Поэтому выражение (1) принимает вид

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

Очевидно, для решения выражения (2) следует использовать численные методы. Рассмотрим способ решения выражения (2) для случаев, когда безопасная область судна имеет форму круга, эллипса и прямоугольника, причем судно находится в центре области.

В случае, когда безопасная область судна имеет форму круга, выражение (2) записывается в виде

$$\frac{4}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \int_0^R \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] dy dx = P_d,$$

или для численного интегрирования

$$A \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{\sqrt{R^2-i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{\sigma_x^2} + \frac{j^2}{\sigma_y^2}\right)\right] = P_d, \quad (3)$$

где $A = \frac{4}{2\pi\sigma_x\sigma_y}$.

В уравнении (3) необходимо найти значение R , для чего следует применить метод последовательных приближений. Так как $P_d \approx 1$, то для нормального распределения начальное приближение для R следует выбрать немножко меньше 3σ , где σ принимает значение меньшего из с.к.о. σ_x и σ_y .

В случае, когда форма безопасной судовой области имеет форму эллипса с полуосями a и b , уравнение для численного интегрирования имеет вид

$$A \sum_{i=0}^a \gamma \sqrt{a^2 - i^2} \sum_{j=0}^{\gamma} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{\sigma_x^2} + \frac{j^2}{\sigma_y^2}\right)\right] = P_d, \quad (4)$$

где $\gamma = b/a$ – сжатие эллипса.

С уравнения находим большую полуось a , вторая же полуось $b = \gamma a$.

Если безопасная область имеет форму прямоугольника с заданным отношением сторон γ , то уравнение для численного интегрирования имеет следующий вид

$$A \sum_{i=0}^a \sum_{j=0}^{\gamma a} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{\sigma_x^2} + \frac{j^2}{\sigma_y^2}\right)\right] = P_d, \quad (5)$$

где a – половина большей стороны прямоугольника.

Для определения размеров безопасной области судна в зависимости от ее формы были произведены расчеты на компьютере, причем рассматривались пять вариантов формы безопасной области судна, которые показаны на рис. 1. На рисунке варианты 1..3 представляют безопасные области судна, когда судно находится в центре области, а варианты 4 и 5 относятся к областям, в которых судно смещено относительно центра области.

Для расчета размеров областей вариантов 1..3 использовались ранее полученные выражения (3), (4) и (5). Так как двумерная плотность задается относительно места судна, то расчет размеров области для вариантов 4 и 5 производился с учетом этого обстоятельства.

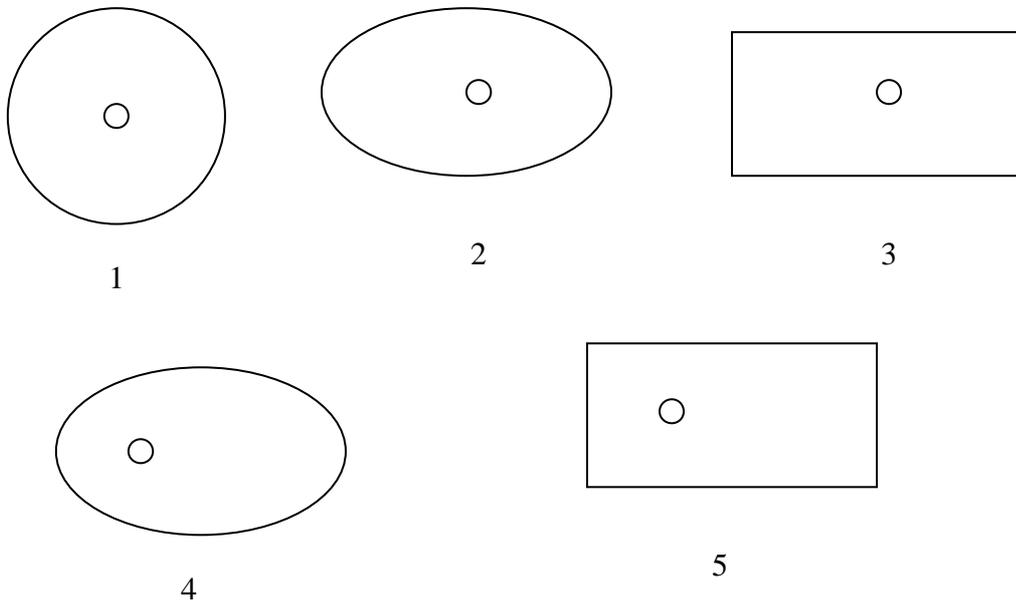


Рис. 1. Варианты безопасной области судна

Для эллиптической области варианта 4 расчет размеров производился с помощью выражения

$$\frac{A}{2} \sum_{i=0}^{2a} \gamma \sqrt{a^2 - (i-a)^2} \sum_{j=0}^{\gamma} \exp\left\{-\left[\frac{(i-a/2)^2}{\sigma_x^2} + \frac{j^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} = P_d,$$

а для расчета размеров прямоугольной области варианта 5 использовалось следующее выражение

$$\frac{A}{2} \sum_{i=0}^{2a} \sum_{j=0}^{\gamma a} \exp\left\{-\left[\frac{(i-a/2)^2}{\sigma_x^2} + \frac{j^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} = P_d.$$

Для расчета принимались следующие исходные данные: среднеквадратические отклонения $\sigma_x = 20$ и $\sigma_y = 25$, отношение сторон прямоугольника и сжатие эллипса $\gamma = 0,7$, заданная вероятность $P_d = 0,995$. Графическое изображение результатов расчета представлено на рис. 2.

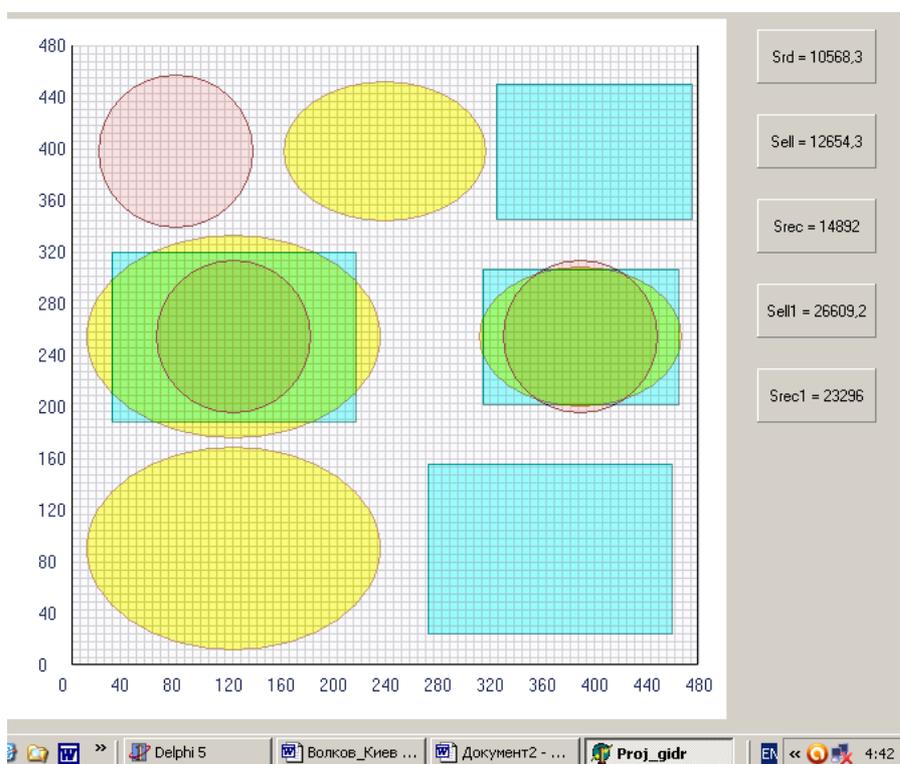


Рис. 2. Графическое отображение вариантов безопасной области судна

В первом ряду расположены безопасные области судна 1, 2 и 3 вариантов, а в третьем ряду – 4 и 5 вариантов. Второй ряд показывает соотношение размеров безопасных областей судов.

Результаты расчетов представлены в табл.1, в которой для каждого из вариантов области указаны размеры (минимальный L_{\min} и максимальный L_{\max}) безопасной области судна, а также площадь S безопасной области судна.

Таблица 1

Характеристики безопасных областей судна

Вариант	L_{\max}	L_{\min}	S	Вариант	L_{\max}	L_{\min}	S
1	$R=58$	$R=58$	10568	4	$a=110$	$b=77$	26609
2	$a=76$	$b=53$	12654	5	$a=91$	$b=64$	23296
3	$a=73$	$b=51$	14892				

Анализ приведенной таблицы показывает, что наименьшая минимальная характеристика размера безопасной области судна присуща варианту 3.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

В результате выполненной работы предложена процедура определения размеров безопасной области судна определенной формы с заданной вероятностью попадания в нее истинного места судна.

Получены аналитические выражения для расчета размеров области пяти типов, имеющих форму круга, эллипса и прямоугольника.

В дальнейшем целесообразно разработать способ предпочтения области определенного типа, исходя из экономичности маневра уклонения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lamb W. G. P. Collocation of the geometry of ship collision zones / Lamb W. G. P. // The Journal of Navigation. – 1989. – 42, № 2. – P. 298-305.
2. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship Domains / Goodwin E. M. // The Journal of Navigation. – 1975. – 28, № 3. – P. 328-341.
3. Погосов С. Г. Береговые системы управления движением судов/ Погосов С. Г., Москвин Г. И. – М.: Судовождение и связь, 1976. – 54 с.
4. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Вагущенко Л. Л. – Одесса: Феникс, 2013. – 180 с.
5. Якушев А. О. Выбор оптимальной формы судовой безопасной зоны/ Якушев А. О. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013 – С.157-162.

Якушев О.О.

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРІВ СУДНОВОЇ БЕЗПЕЧНОЇ ОБЛАСТІ ВІД ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ВІРОГІДНОСТІ ПОЗИЦІЙНОЇ ПОХИБКИ

У статті розглянута процедура, що дозволяє визначити розміри безпечної області судна певної форми із заданою вірогідністю попадання в неї істинного місця судна і вибраним законом розподілу вірогідності позиційної похибки.

Одержані аналітичні вирази для розрахунку розмірів області п'яти типів, що мають форму круга, еліпса та прямокутника і приведені результати комп'ютерних розрахунків.

Ключові слова: *безпечна область судна, густина розподілу позиційної похибки, чисельне інтегрування.*

Jakushev A.

DEPENDENCE OF SIZES OF SHIP SAFE REGION ON CLOSENESS OF PROBABILITY DISTRIBUTION OF POSITION ERROR

Procedure allowing defining the sizes of safe region of ship of certain form with the set probability of hit in her of veritable place of ship and chosen law of probability distribution of position error is considered in the article.

Analytical expressions are got for the calculation of sizes of region of five types, having the form of circle, ellipse and rectangle, and the results of computer calculations are resulted.

Keywords: *safe region of ship, closeness of distributing of position error, numeral integration.*