

УДК 656.61.052.484

MODELING OF AN OPTIMAL SHIP SAFE REGION FORM CHOICE PROCEDURE

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ СУДОВОЙ БЕЗОПАСНОЙ ОБЛАСТИ

A. O. Jakushev, graduate student

А. О. Якушев, аспирант

Odessa National Maritime Academy, Ukraine

Одесская Национальная Морская Академия, Украина

ABSTRACT

Modeling results of optimal ship safe region form choice procedure are analyzed, based on five types of safe regions.

It is shown that a region which has the form of half-round - half-ellipse is optimum and provides minimum deviation of ship for safe divergence with the obstacle.

Keywords: safety of navigation, ship safe regions, optimum form, minimal deviation.

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

Проблема безопасного расхождения судов является одной из наиболее актуальных проблем безопасности судовождения. Для предупреждения столкновений судов используется безопасная область, в которой находится судно, причем в эту область не должны попадать другие объекты во избежание столкновений. Форма безопасной судовой области определяющим образом влияет на выявления ситуации опасного сближения.

Поэтому разработка процедуры выбора оптимальной формы судовой безопасной области является актуальным и перспективным направлением.

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

В работе [1] рассмотрены основные вопросы теории и практики управления судов в различных ситуациях, а в работе [2] изложены вопросы расхождения судов с применением классификации начальных ситуаций. Проблеме учета маневренных характеристик судна для обеспечения безопасности плавания посвящена работа [3].

Для предупреждения столкновений судов используется безопасная область, в которой находится судно, причем на выявление ситуации опасного сближения определяющим образом влияет форма безопасной области судна.

Вопросу построения судовой безопасной области посвящено большое количество работ, причем общепринятым 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 [4] авторами Спейменом В. и Кримптоном К. описана эллипсом зона навигационной безопасности, 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. В работе [5] в качестве критерия безопасности предлагается «область столкновения», под которой имеется в виду некоторая область по направлению движения судна.

В работе [6] предложена 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, причем оба параметра зависят от длины и ширины судна, его скорости и протяженности тормозного пути.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является описание имитационного моделирования процедуры выбора оптимальной формы судовой безопасной области.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В настоящее время предложено более десяти форм безопасной области цели D_b [7]. Рассмотрим наиболее часто используемые пять форм безопасной области, которые показаны на рис. 1, и обозначим их следующим образом:

- 1 - $D_b^{(Rd)}$ - форма круга с целью в центре;
- 2 - $D_b^{(El)}$ - форма эллипса со смещенной целью;
- 3 - $D_b^{(Rt)}$ - форма прямоугольника со смещенной целью;
- 4 - $D_b^{(Cm)}$ - сложная форма со смещенной целью;
- 5 - $D_b^{(RE)}$ - форма полукруг – полуэллипс.

Причем первые три типа безопасной области цели D_b являются простыми, а два последних – сложными.

При маневрировании для безопасного прохождения препятствия судно должно отклоняться от программной траектории и пройти мимо препятствия, предупреждая его попадание в безопасную область. Очевидно, что для безопасных областей различной формы для расхождения необходимо отклоняться на разные углы $\Delta K_{отy}$ от программной траектории, причем оптимальной форме безопасной области соответствует минимальное среднее значение угла $\Delta K_{отy}$.

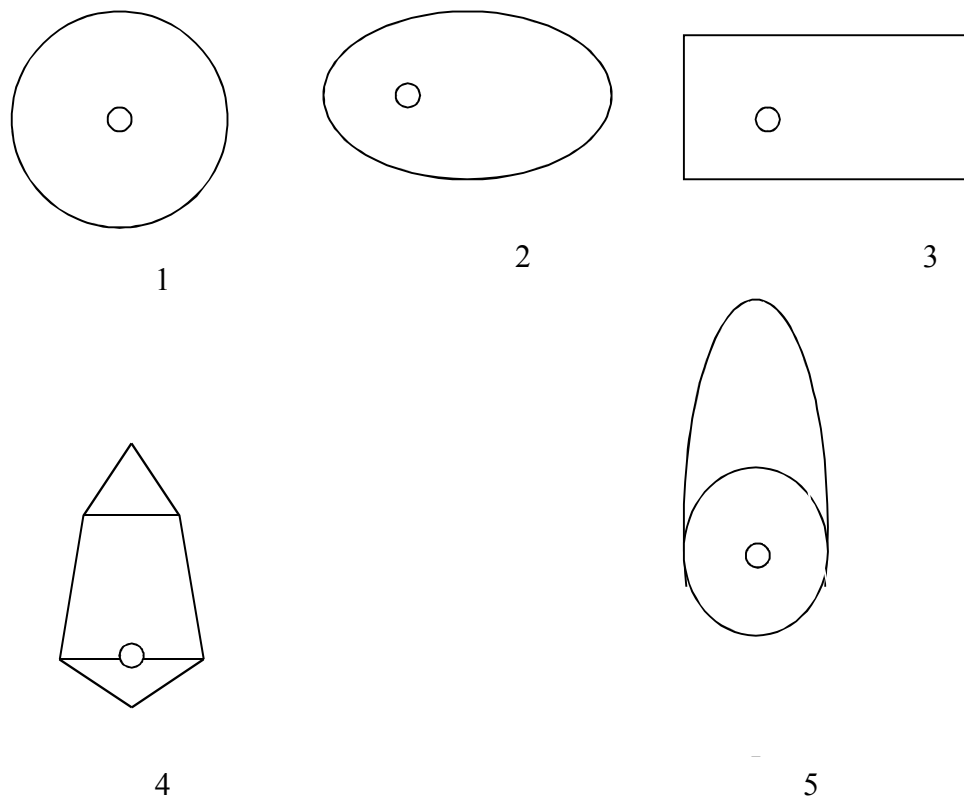


Рис. 1. Основные формы безопасной области цели D_b

Поэтому для поиска оптимальной формы безопасной области из пяти рассмотренных вариантов следует для каждой формы области рассчитать среднее значение угла $\Delta K_{отy}$. С этой целью была разработана компьютерная программа, позволяющая имитировать процедуру расчета среднего значения угла $\Delta K_{отy}$.

Для расчета среднего значения $\Delta K_{отy}$ с помощью компьютерной программы следует выбрать безопасную область определенной формы. На рис. 2 произведен выбор эллиптической безопасной области.

Имитационное моделирование предусматривает расчет минимального курса уклонения \bar{K}_{ymin} для позиций судна через 5° , при равенстве курса судна и пеленга. При этом рассчитывается значение $\Delta K_{отy_i}$ для каждой из 72-х позиций.

Расчет минимального курса уклонения \bar{K}_{ymin} для эллиптической области производится с помощью выражений:

$$\begin{aligned} \bar{X}_V &= D_V \sin \alpha_V; & \bar{Y}_V &= D_V \cos \alpha_V. \\ dL_e &= a - l_k. \\ D_o &= \sqrt{(\bar{X}_V + dL_e \sin K_c)^2 + (\bar{Y}_V + dL_e \cos K_c)^2}. \end{aligned}$$

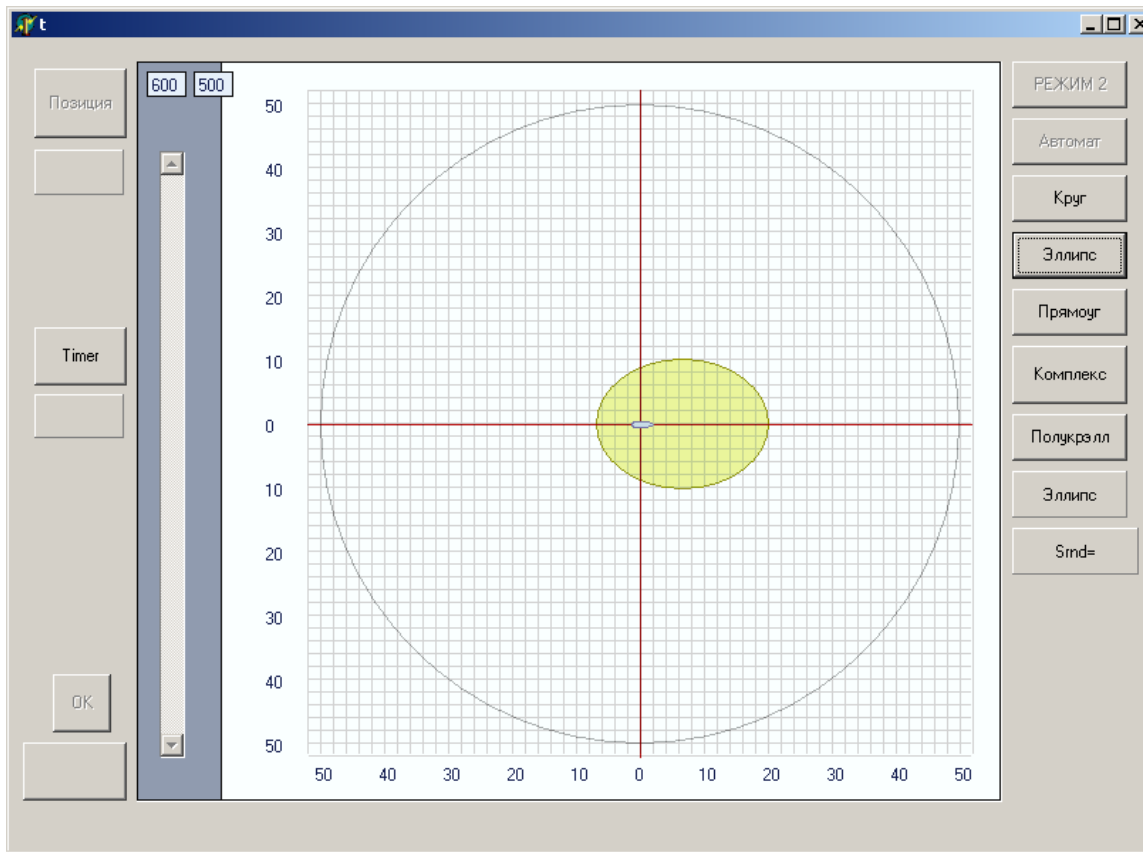


Рис. 2. Выбор безопасной области эллиптической формы

$$\bar{\alpha}_n = \arctg \frac{\bar{X}_v + dL_e \cos K_c}{\bar{Y}_v + dL_e \cos K_c}.$$

$$\alpha_o = 360 + \bar{\alpha}_n, \quad \text{при } \bar{Y}_v + dL_e \cos K_c > 0;$$

$$\alpha_o = 180 + \bar{\alpha}_n, \quad \text{при } \bar{Y}_v + dL_e \cos K_c < 0,$$

$$\bar{X}_o = D_o \sin \alpha_o, \quad \bar{Y}_o = D_o \cos \alpha_o;$$

$$c = \frac{a^2}{b(\bar{Y}_o \sin K_c - \bar{X}_o \cos K_c)}, \quad r = (\bar{Y}_o \cos K_c + \bar{X}_o \sin K_c).$$

$$x_1 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} + \sqrt{\left(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2}\right)^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

$$x_2 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} - \sqrt{\left(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2}\right)^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}}.$$

$$\bar{K}_{ymin1} = \arctg \frac{\bar{X}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin2} = \arctg \frac{\bar{X}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin3} = \arctg \frac{\bar{X}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o + b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin4} = \arctg \frac{\bar{X}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o - b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c},$$

где D_V и α_V - соответственно дистанция и пеленг с судна на цель;

a и b - полуоси эллиптические области;

K_c - курс судна.

После расчета значений \bar{K}_{ymin1} , \bar{K}_{ymin2} , \bar{K}_{ymin3} и \bar{K}_{ymin4} искомая величина относительного минимального курса уклонения судна K_{ymin} при уклонении вправо находится из выражения:

$$\bar{K}_{ymin} = \max \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \},$$

при условии, что $\bar{K}_{ymin} - K_c > 0$.

При использовании имитационной программы на экране монитора отображаются позиции судна и соответствующие им касательные минимальные курсы уклонения K_{ymin} , как показано на рис. 3. При этом вычисляется минимальный угол ΔK_{oty} , суммирующийся для всех 72 позиций и находится усредненное значение равное $13,87^\circ$.

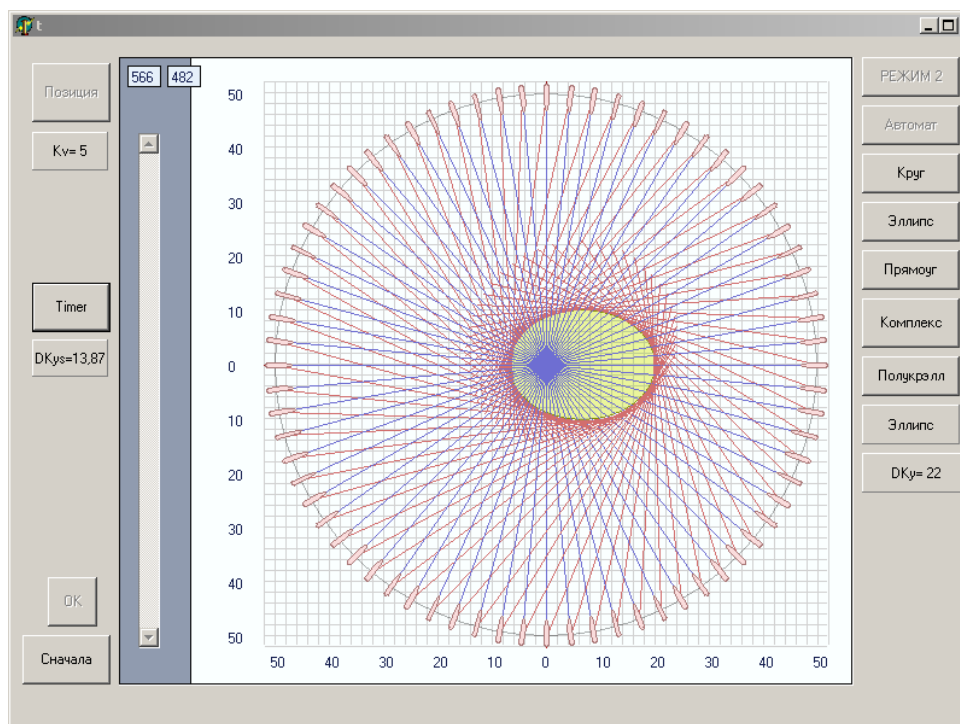


Рис. 3. Расчет ΔK_{oty} для эллиптической безопасной области

Если формой безопасной области является круг, то все значения минимального угла ΔK_{oty_i} для различных позиций судна являются неизменными, поэтому $\Delta K_{oty} = \Delta K_{oty_i}$.

Для других форм безопасной области судна расчет среднего значения ΔK_{oty} вычисляется аналогично безопасной области эллиптической формы.

С помощью имитационной компьютерной программы для одинаковых исходных данных, а именно длины судна 200 м, ширины 40 м и с.к.о. 100 м, формировались безопасные области заданной формы, а затем рассчитывались значения среднего значения ΔK_{oty} . Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные значения ΔK_{oty}

Форма безопасной области	Расчетное значение ΔK_{oty}
Круг	20,0
Эллипс	13,87
Прямоугольник	15,68
Сложная форма	15,12
Полукруг-эллипс	12,81

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Как показывает анализ табл. 1, оптимальной является безопасная область, имеющая форму полукруга-полуэллипса, так как ей соответствует минимальное значение критерия оптимальности ΔK_{oty} .

В дальнейшем целесообразно разработать способ расчета предельно-допустимой дистанции для безопасных областей различной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Управление движением судна / А. С. Мальцев. – Одесса: Весть, 1995.- 230 с.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А.С. Мальцев. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
3. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / А.С. Мальцев // Судостроение и ремонт. - 1989. – №5. – С. 29-31.
4. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship Domains / E. M. Goodwin // The Journal of Navigation. – 1975. - 28, № 3. - P. 328 – 341.
5. Lamb W. G. P. Colcuiation of the geometry of ship collision zones / G. P. Lamb W. // The Journal of Navigation. – 1989. – 42, № 2. – P. 298 - 305.
6. Погосов С.Г. Береговые системы управления движением судов/ С.Г. Погосов, Г.И. Москвин. – М.: Судовождение и связь, 1976. – 54 с.
7. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л. Л. Вагущенко. – Одесса: Феникс, 2013. - 180 с.