

УДК 656.61.052.484

## IDENTIFICATION OF EXCESSIVE APPROACH SITUATION

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИТУАЦИИ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ

*A.I. Burmaka, PhD student*

*А.И. Бурмака, аспирант*

*Odessa National Maritime Academy, Ukraine*

*Одесская Национальная Морская Академия, Украина*

### ABSTRACT

Dangerous approach of vessels is investigated and determination method for the time to the closest approach is proposed. It is shown that the moment of time of excessive approach depends on the value of maximum distance of the shortest rapprochement and minimum possible distance of rapprochement. A case of the ellipse contributed to the ship safety is studied.

**Key words:** safety of navigation, risk of collision, excessive approach, ship safe zone.

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

Проблема безопасного расхождения судов является одной из наиболее актуальных, и ее решение осуществляется путем исследования разных аспектов внедрения полученных результатов. Одним из аспектов предупреждения столкновения судов является выявление на ранних стадиях развития ситуации чрезмерного сближения. Поэтому получение метода идентификации ситуации чрезмерного сближения является актуальным и перспективным направлением.

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

Проблема учета маневренных характеристик судна для обеспечения безопасности плавания в стесненных условиях освещается в работе [1].

Вопросы расхождения судов с применением классификации начальных ситуаций изложены в работе [2], а в работе [3] рассмотрены основные вопросы теории и практики управления судами в различных ситуациях.

При обсуждении проблемы предупреждения судов важной характеристикой является область риска столкновения, в которой находится судно, причем в эту область не должны попадать другие объекты во избежание столкновений. Форма области риска столкновения определяющим образом влияет на выявления ситуации чрезмерного сближения.

Следует отметить, что вопросу построения области риска столкновения посвящено большое количество работ, причем стандартным описанием такой области является круг, в центре которого находится судно, а радиусом является

предельно-допустимая дистанция сближения  $D_{\text{доп}}$ . Очевидно, что в этом случае область риска столкновения характеризуется значением  $D_{\text{доп}}$ .

Однако в ряде работ предлагается другая форма области риска столкновения. Так, 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 [4], причем оба параметра зависят от длины и ширины судна, его скорости, протяженности тормозного пути.

В работах [5] предлагается в качестве критерия безопасности «область столкновения», под которой имеется в виду некоторая область по направлению движения судна. Показано, что радиус области столкновения является функцией длин и скоростей судна и цели, тормозного пути судна, дистанции кратчайшего сближения, радиуса циркуляции судна, а также задержки времени при обработке информации.

Методам расчета геометрической формы зон столкновения судов посвящены работы [6, 7], причем в публикации [6] автор, ссылаясь на зарубежные исследования, описывает домены Гудвина и Дэвиса, а в работе [7] предлагается метод расчета зоны в ситуациях обгона для случаев как хорошей, так и ограниченной видимости, а также построение зоны безопасности по прогнозируемым значениям времени и дистанции кратчайшего сближения.

В работе [8] авторы Спеймен В. и Кримптон К. описали эллипсом зону 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. Размеры зоны навигационной безопасности также зависят от коэффициента плотности движения, коэффициента, учитывающего гидрометеорологические условия и коэффициента, который характеризует потенциальную опасность груза судна.

Статистическая оценка продольных и поперечных размеров зоны безопасности судов по натурным наблюдениям приведена в работе [9], причем в ней получены ориентировочные параметры зоны безопасности: по носу судна - около 10 его длин, по корме - порядка 3 – 4, по траверзам – около пяти длин.

Вопросам формирования безопасной судовой зоны посвящена также работа [10].

### **Формулировка целей статьи (постановка задачи)**

Целью данной статьи является разработка процедуры определения границ множества допустимых безопасных курсов уклонения в ситуации опасного сближения судов для случая эллиптической области риска столкновения.

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

В работе [11] предложен подход к описанию области риска столкновения в виде эллипса, которая показана на рис. 1.

Рассмотренные формы области риска столкновения характеризуются тремя параметрами  $l_n$ ,  $l_k$  и  $b$ . Если характеризовать ситуацию чрезмерного сближения, то размеры области риска столкновения должны учитывать габариты судов, явление присасывания и инерционность судна.

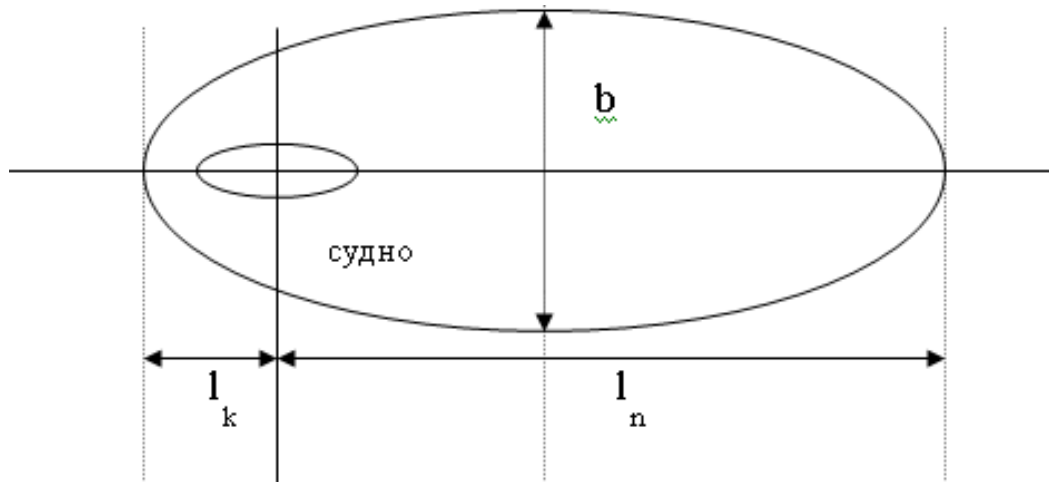


Рис. 1. Параметры области риска столкновения в форме эллипса

Рассмотрим случай, когда область риска столкновения имеет форму эллипса. Рассмотрим процедуру определения момента времени  $t_{пр}$ , когда судно достигает позиции возникновения ситуации чрезмерного сближения (на рис. 2 такой позицией является точка  $M_{mx}$ ). Для этого найдем моменты времени  $t_{mn}$  и  $t_{mx}$ , в которые судно достигает точек  $M_{mn}$  и  $M_{mx}$ . Меньшее из значений  $t_{mn}$  и  $t_{mx}$  равно моменту времени  $t_{пр}$ .

Вначале определим координаты точки  $M_{mn}$ . Из рис. 2 следует, что точка  $M_{mn}$  является точкой пересечения линии относительного движения  $K_{oto}$  и касательной к эллипсу, которая ориентирована под углом минимального относительного курса  $K_{otmn}$ . Отметим, что экстремальные курсы  $K_{otmn}$  и  $K_{otmx}$  ограничивают значения относительных курсов, которые могут быть достигнуты судном, имеющим скорость меньшую скорости цели. Для получения координат точки  $M_{mn}$  необходимо аналитически выразить обе прямые и найти их точку пересечения.

Найдем аналитическое выражение для касательной  $K_{otmn}$ . Обращаем внимание, что касательная проходит через точку  $A_{mn}$ , координаты которой можно определить.

Уравнение прямой линии, проходящей через точку  $A_{mn}$  под углом  $K_{otmn}$ , которая является рассматриваемой касательной, имеет следующий вид:

$$y = Y_{A_{mn}} + (x - X_{A_{mn}}) \operatorname{ctg} K_{otmn} \quad (1)$$

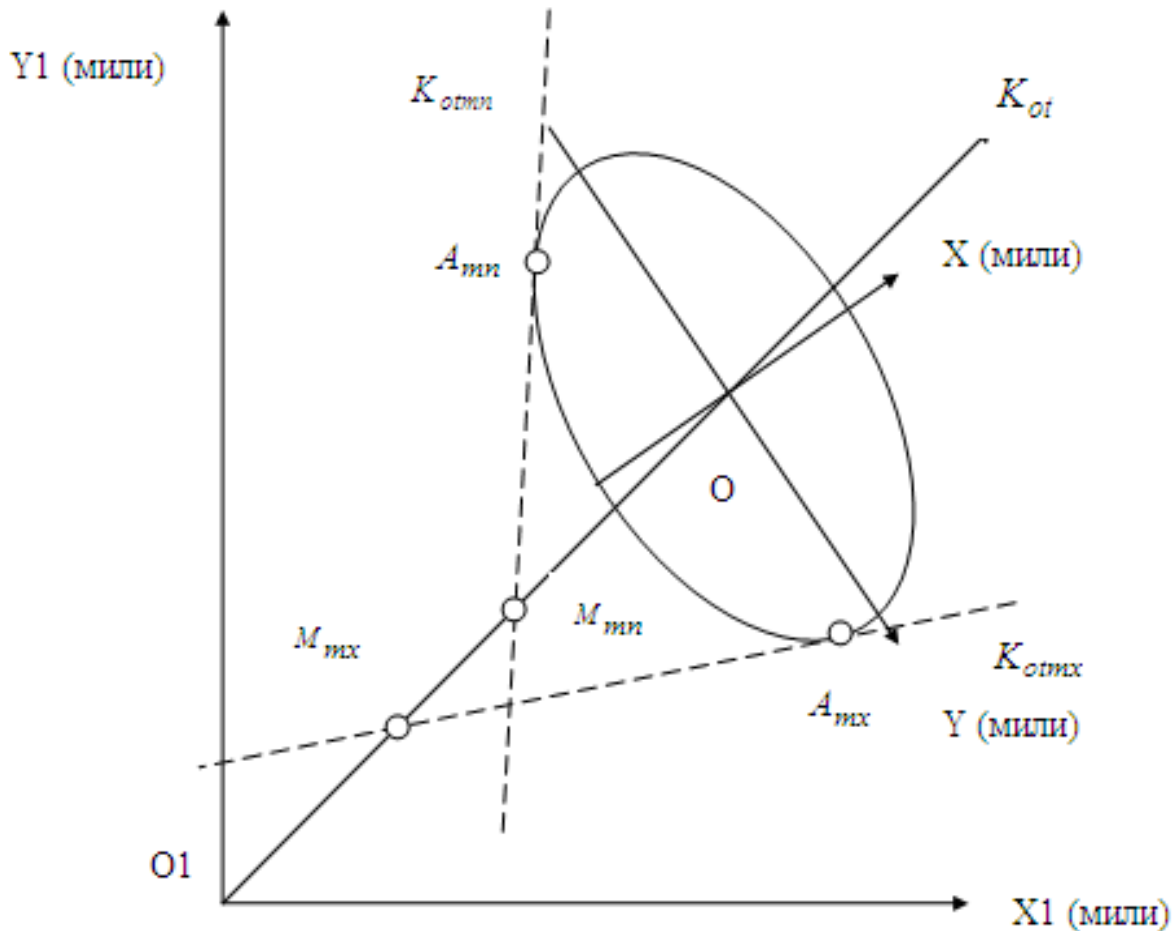


Рис. 2. Точки пересечения для зоны безопасности в виде эллипса

Уравнение линии относительного движения, проходящей через начало координат под углом  $K_{oto}$ , записывается следующим образом:

$$y = x \operatorname{ctg} K_{ot} \quad (2)$$

Искомая точка  $M_{mn}$  принадлежит обеим линиям, поэтому, подставляя ее неизвестные координаты  $X_{Mmn}$  и  $Y_{Mmn}$  в оба уравнения (1) и (2), получим систему уравнений относительно неизвестных координат:

$$\begin{cases} Y_{Mmn} = Y_{A_{mn}} + (X_{Mmn} - X_{A_{mn}}) \operatorname{ctg} K_{otmn}; \\ Y_{Mmn} = X_{Mmn} \operatorname{ctg} K_{ot}. \end{cases} \quad (3)$$

Решая данную систему уравнений, получим координаты  $X_{Mmn}$  и  $Y_{Mmn}$  точки пересечения  $M_{mn}$ . Приравнивая правые части уравнений (3), находим выражение для координаты  $X_{Mmn}$ :

$$X_{Mmn} = \frac{Y_{Amn} - X_{Amn} \operatorname{ctg}K_{otmn}}{\operatorname{ctg}K_{oto} - \operatorname{ctg}K_{otmn}}.$$

Вторую координату  $Y_{Mmn}$  находим из второго уравнения системы (3):

$$Y_{Mmn} = X_{Mmn} \operatorname{ctg}K_{oto}, \text{ или } Y_{Mmn} = \frac{Y_{Amn} - X_{Amn} \operatorname{ctg}K_{otmn}}{\operatorname{ctg}K_{oto} - \operatorname{ctg}K_{otmn}} \operatorname{ctg}K_{oto}.$$

Таким образом, точка  $M_{mn}$  имеет координаты:

$$X_{Mmn} = \frac{Y_{Amn} - X_{Amn} \operatorname{ctg}K_{otmn}}{\operatorname{ctg}K_{oto} - \operatorname{ctg}K_{otmn}}, \quad Y_{Mmn} = \frac{Y_{Amn} - X_{Amn} \operatorname{ctg}K_{otmn}}{\operatorname{ctg}K_{oto} - \operatorname{ctg}K_{otmn}} \operatorname{ctg}K_{oto}. \quad (4)$$

Рассмотрим определение координат касательной точки  $A_{mn}$  в системе координат  $XOY$ , после чего преобразуем их для системы координат  $X1O1Y1$ . Стандартное уравнение эллипса в системе координат  $XOY$  имеет следующий аналитический вид:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

из которого выражаем функцию учерез аргумент  $x$ :

$$y = \pm b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}.$$

Из полученного выражения найдем первую производную  $\frac{dy}{dx}$ , которая имеет вид:

$$\frac{dy}{dx} = \mp \frac{b}{a^2} \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}}.$$

Если в качестве углового коэффициента для первой производной выбрать  $\text{ctg}(K_{\text{отмн}} - K)$ , то можно найти координаты  $X_{\text{Амн}}$  и  $Y_{\text{Амн}}$  точки касания  $A_{\text{мн}}$  (рис. 3).

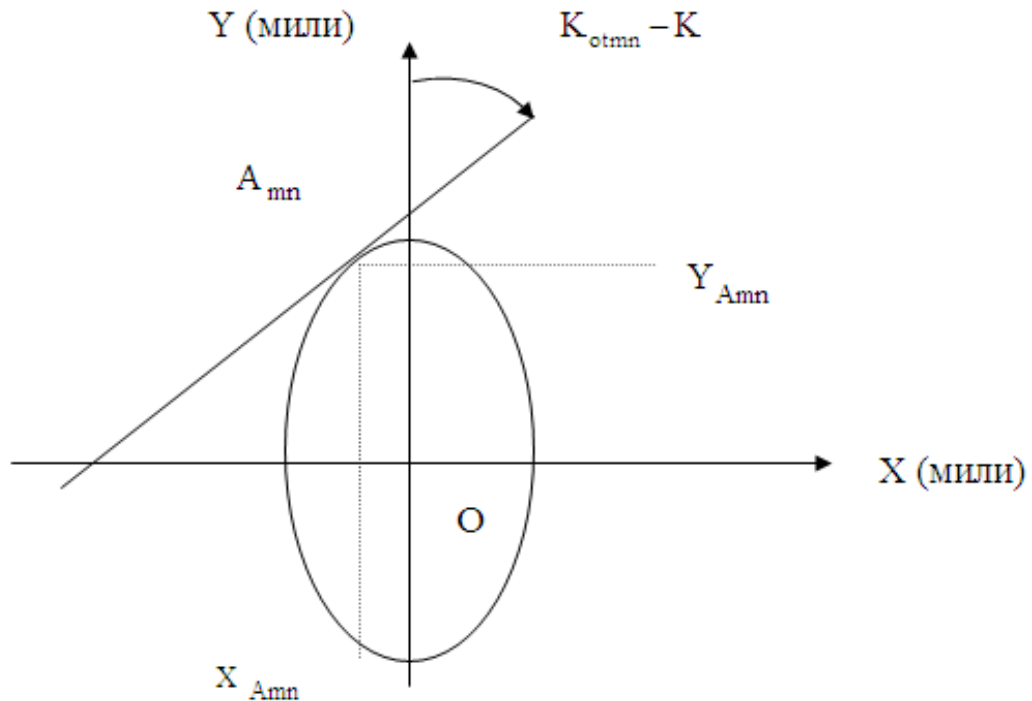


Рис. 3. К определению касательной точки к эллипсу

Геометрический смысл производной заключается в ее равенстве угловому коэффициенту, что позволяет записать следующее уравнение для касательной с известным угловым коэффициентом, но неизвестной координатой  $X_{\text{Амн}}$ :

$$\mp \frac{b}{a^2} \frac{X_{\text{Амн}}}{\sqrt{1 - \frac{X_{\text{Амн}}^2}{a^2}}} = \text{ctg}(K_{\text{отмн}} - K),$$

откуда, обозначая  $k = \text{ctg}(K_{\text{отмн}} - K)$ , получим:

$$\frac{X_{\text{Амн}}}{\sqrt{1 - \frac{X_{\text{Амн}}^2}{a^2}}} = \mp \frac{a^2 k}{b},$$

или возводя обе части равенства в квадрат и производя преобразования:

$$X_{Amn}^2 = \frac{M^2}{1 + \frac{M^2}{a^2}},$$

где  $M = \frac{a^2 k}{b}$ .

Откуда окончательное выражение для координаты  $X_{Amn}$  принимает следующий вид:

$$X_{Amn} = \pm Ma \sqrt{\frac{1}{a^2 + M^2}}.$$

Используя уравнение эллипса, находим вторую координату  $Y_{Amn}$ :

$$Y_{Amn} = \pm b \sqrt{1 - \frac{X_{Amn}^2}{a^2}}.$$

Дистанция  $D_{mn}$  между судном и точкой  $M_{mn}$  определяется выражением:

$$D_{mn} = \sqrt{X_{Mmn}^2 + Y_{Mmn}^2},$$

где координаты определяются выражением (4).

Граничный момент времени, когда судно достигает точки  $M_{mn}$ , рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$t_{mn} = \frac{D_{mn}}{V_{ot}}.$$

Аналогично рассчитывается второй граничный момент времени  $t_{mx}$  и момент времени  $t_{np}$ , который определяет ситуацию чрезмерного сближения, причем  $t_{np} = \min(t_{mn}, t_{mx})$ .

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

В результате выполненной работы получен способ идентификации ситуации чрезмерного сближения, при возникновении которой судну следует незамедлительно приступить к экстренному маневрированию. Получены аналитические выражения для определения максимальной дистанции кратчайшего сближения и минимально-допустимой дистанции сближения для ситуации, когда область риска столкновения имеет форму эллипса.

В дальнейшем целесообразно разработать способ учета инерционности судна при выявлении ситуации чрезмерного сближения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
3. Мальцев А. С. Управление движением судна / Мальцев А. С. – Одесса: Весть, 1995.- 230 с.
4. Погосов С.Г. Береговые системы управления движением судов/Погосов С.Г., Москвин Г.И. – М.: Судовождение и связь, 1976. – 54 с.
5. Таха М.У. Vessel Traffic Services in Egypt. / Таха М.У., Hafez М.А. – Egypt, 2002.- 78 p.
6. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания/ Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. – 1989. - №9. – с. 29 – 31.
7. Lamb W. G. P. Colcuiation of the geometry of ship collision zones/ Lamb W. G. P. // The Journal of Navigation. – 1989. – 42, № 2. – P. 298 - 305.
8. Das risiko in begegnungssituationen // Hansa. – 1988. – 125, № 19. - P. I2I9 - I222.
9. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship Domains/ Goodwin E. M.// The Journal of Navi-gation. – 1975. - 28, № 3. - P. 328 – 341.
- 10.Алексишин А.В. Плавание в стесненных водах с учетом судовой безопасной зоны / Алексишин А.В. // Судовождение. – 2007. - № 13.– С. 3 – 8.
- 11.Май Ба Линь. Повышение точности процесса безопасного расхождения судов в стесненных условиях. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16/ ОНМА. – Одесса, 2004. – 21 с.