

УДК656.61.052.484

## DEFINING OF SAFE COURSE TO AVOID COLLISION IN CONFINED WATERS

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО КУРСА ДЛЯ ИЗБЕЖАНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*E.A. Petrichenko, PhD, associate professor*

**Е.А. Петриченко, к.т.н., доцент**

*Odessa National Maritime Academy, Ukraine*

*Одесская Национальная Морская Академия, Украина*

### ABSTRACT

The paper considers maneuvering of a ship engaged in a close-quarters situation with another target in waters confined due to proximity of a navigational hazard. It explains a decision algorithm on limiting courses to avoid collision and determine the sectors of safe courses. As a result, different scenarios of defining the limiting courses in the mentioned situation were defined.

**Key words:** confined waters, danger of collision, navigation dangers, course deviation limits.

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

При плавании судов в стесненных водах, для которых характерна повышенная интенсивность судоходства, часто возникают ситуации опасного сближения судов, что вызывает необходимость маневрирования с целью предупреждения их возможных столкновений. В стесненных водах предпринимаемый маневр должен обеспечить как безопасное расхождение судна с целью, так и предупреждение их посадки на мель.

Безопасное расхождение судна с опасной целью при наличии в районе маневрирования навигационных опасностей предусматривает выбор такого маневра, при котором кратчайшие дистанции сближения судна с целью и с границей навигационной опасности превосходят их предельно-допустимые значения.

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

Проблема предупреждения столкновения судов в случае их опасного сближения подробно рассмотрена в работе [1], в которой исследованы различные ситуации сближения судов и предложены стратегии их безопасного расхождения.

Вопросы учета навигационных опасностей в процессе расхождения судов рассмотрены в работах [2-5], причем в работах [2, 3] проблема сформулирована в самом общем виде и носит постановочный характер, работа [4] посвящена аналитическому описанию навигационных опасностей, а в работе [5] получено

условие существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей. Вопросы выбора маневра расхождения в стесненных условиях плавания при интенсивном судоходстве и оценки их безопасности не достаточно освещены в литературе и требуют дальнейшего исследования.

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

Целью данной статьи является разработка процедуры определения границ множества допустимых безопасных курсов уклонения в ситуации опасного сближения судов.

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

Если в районе опасного сближения судна  $O$  с целью  $C$  имеется линейная навигационная опасность с граничными точками  $A$  и  $B$ , то уклонение судна от столкновения должно осуществляться на безопасных курсах  $K_y$ , которые позволяют разойтись с целью на заданной предельно-допустимой дистанции  $L_d$  и избежать попадание на навигационную опасность (рис. 1).

Для определения множества безопасных курсов уклонения  $M_S$  вначале следует найти граничные опасные курсы  $K_{yd}$ , между которыми заключено множество  $M_D$  недопустимых опасных курсов. Множество безопасных курсов уклонения  $M_S$  является дополнением к множеству  $M_D$ , т.е.  $M_S = \overline{M_D}$ .

Поэтому найдем граничные опасные курсы  $K_{yd}$  множества недопустимых опасных курсов уклонения  $M_D$ , при этом имеется два независимых множества опасных курсов уклонения:  $M_{DC}$  - по опасности столкновения и  $M_{DB}$  - по опасности посадки на мель. Каждое из упомянутых множеств характеризуется граничными курсами уклонения.

Как видно из рис. 1, граничные курсы уклонения  $K_{ys}$  и  $K_{yp}$  характеризуют множество опасных курсов столкновения  $M_{DC}$ , а множество опасных курсов посадки на мель  $M_{DB}$  ограничено курсами  $K_{yA}$  и  $K_{yB}$ .

Рассмотрим процедуру определения граничных курсов уклонения  $K_{ys}$  и  $K_{yp}$ . Значения этих курсов обеспечивает относительное движение судна с целью относительно курсами  $K_{otys}$  и  $K_{otyp}$ , при которых дистанция кратчайшего сближения равна предельно-допустимой дистанции  $L_d$ . Указанное условие аналитически описывается следующим уравнением;

$$D \sin(\alpha \pm K_{otyg}) = L_d,$$

где  $K_{otyg}$  один из курсов  $K_{otys}$  или  $K_{otyp}$ . Из последней формулы следует:

$$\sin(\alpha \pm K_{otyg}) = \frac{L_d}{D}, \text{ откуда}$$

$$\alpha \pm K_{отyg} = \arcsin \frac{L_d}{D}$$

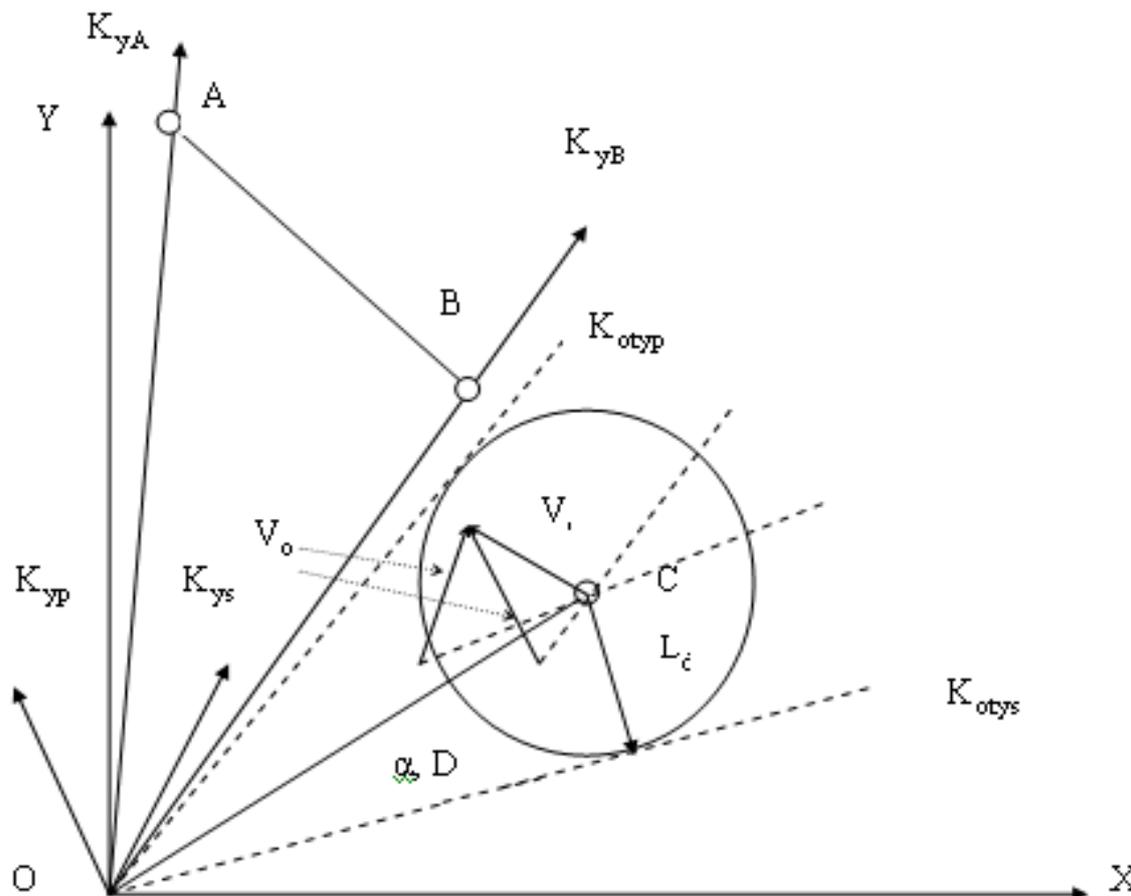


Рис. 1. Определение границ множеств  $M_{DC}$  и  $M_{DB}$

Очевидно, относительные курсы  $K_{отys}$  и  $K_{отyp}$  симметричны относительно пеленга на цель  $\alpha$ , и могут быть вычислены с помощью выражений:

$$K_{отys} = \alpha + \arcsin \frac{L_d}{D} \quad \text{и} \quad K_{отyp} = \alpha - \arcsin \frac{L_d}{D}$$

Как следует из работы [Ц], зависимость истинного курса судна  $K_o$  от относительного  $K_{от}$  при известных значениях курса цели  $K_c$  и соотношения  $\rho = \frac{V_o}{V_c}$  скоростей судна  $V_o$  и цели  $V_c$  аналитически выражается следующим образом:

$$K_o = K_{от} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{от})].$$

Подставляя в данную формулу относительные курсы  $K_{отыс}$  и  $K_{отыр}$ , находим граничные курсы  $K_{ys}$  и  $K_{yp}$ , в которые заключено множество опасных курсов уклонения  $M_{DC}$ :

$$K_{ys} = K_{отыс} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{отыс})],$$

$$K_{yp} = K_{отыр} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{отыр})].$$

Следовательно, множество  $M_{DC}$  имеет следующее выражение  $M_{DC} = (K_{yp}, K_{ys})$ .

Найдем выражения для граничных курсов  $K_{yA}$  и  $K_{yB}$  множества опасных курсов посадки на мель  $M_{DB}$ , исходя из координат конечностей А ( $X_A, Y_A$ ) и В ( $X_B, Y_B$ ) линейно распределенной навигационной опасности, причем координаты конечностей задаются относительно курса. Очевидно, что в этом случае дистанция  $D_A$  до конечности А опасности равна:

$$D_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2},$$

а граничный курс  $K_{yA}$  равный пеленгу на эту точку вычисляется с помощью формулы:

$$K_{yA} = \arcsin \frac{X_A}{D_A}.$$

Аналогично дистанция  $D_B$  и граничный курс  $K_{yB}$  конечности В выражаются следующим образом:

$$D_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2} \text{ и } K_{yB} = \arcsin \frac{X_B}{D_B}.$$

Таким образом, множество  $M_{DB}$  определяется выражением  $M_{DB} = (K_{yA}, K_{yB})$ . Множество  $M_D$  является объединением множеств  $M_{DB}$  и  $M_{DC}$ , т.е.  $M_D = M_{DB} \cup M_{DC}$ . В свою очередь, множество безопасных курсов  $M_S$  можно записать  $M_S = (M_K - M_{DB} \cup M_{DC})$ , где  $M_K$  - множество всех курсов уклонения ( $2\pi$ ). Определим границы множества безопасных курсов  $M_S$ , располагая граничными курсами  $K_{ys}$  и  $K_{yp}$  множества опасных курсов столкновения  $M_{DC}$ , а также граничными курсами  $K_{yA}$  и  $K_{yB}$  множества опасных курсов посадки на мель  $M_{DB}$ .

С этой целью обратимся к рис. 2, из которого видно, что возможны несколько вариантов соотношения указанных граничных курсов.

В ситуациях  $S_1$ - $S_4$  множества опасных курсов столкновения  $M_{DC}$  и множества опасных курсов посадки на мель  $M_{DB}$  пересекаются поэтому множество недопустимых опасных курсов уклонения  $M_D$  не имеет разрывов и его граничные курсы  $K_{y_{dmin}}$  и  $K_{y_{dmax}}$  определяются следующим образом.

В ситуации  $S_1$ , как следует из рис.2, между соответствующими граничными курсами уклонения  $K_{ys}$ ,  $K_{yA}$  и  $K_{yp}$ ,  $K_{yB}$  справедливы выражения  $K_{ys} < K_{yA}$  и  $K_{yp} > K_{yB}$ , следовательно, граничные значения курсов множества  $M_D$  определяются равенствами  $K_{y_{dmin}} = K_{ys}$  и  $K_{y_{dmax}} = K_{yp}$ . Поэтому в этой ситуации  $M_D = [K_{ys}, K_{yp}]$ , а множество  $M_S$  также является непрерывным, причем  $M_S = [K_{yp}, K_{ys}]$ .

Аналогично рассматриваем ситуации  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  и результаты анализа помещаем в табл.1.

Таблица 1. Граничные курсы уклонения при различных ситуациях

Ситуация	Условие	$K_{y_{dmin}}$	$K_{y_{dmax}}$	$M_D$	$M_S$
$S_2$	$K_{ys} > K_{yA}$ $K_{yp} < K_{yB}$	$K_{yA}$	$K_{yB}$	$[K_{yA}, K_{yB}]$	$[K_{yB}, K_{yA}]$
$S_3$	$K_{ys} < K_{yA}$ $K_{yp} < K_{yB}$	$K_{ys}$	$K_{yB}$	$[K_{ys}, K_{yB}]$	$[K_{yB}, K_{ys}]$
$S_4$	$K_{ys} > K_{yA}$ $K_{yp} > K_{yB}$	$K_{yA}$	$K_{yp}$	$[K_{yA}, K_{yp}]$	$[K_{yp}, K_{yA}]$

Для ситуаций  $S_5$  и  $S_6$  характерным является то, что множества  $M_{DB}$  и  $M_{DC}$  не пересекаются, поэтому множества  $M_D$  и  $M_S$  состоят из двух подмножеств. Очевидно, множество  $M_D$  состоит из подмножеств  $M_{DB}$  и  $M_{DC}$  с известными граничными курсами уклонениями. Подмножества множества безопасных курсов уклонения  $M_S$  обозначим  $M_{S1}$  и  $M_{S2}$ , причем подмножество  $M_{S1}$  ограничено граничными курсами  $K_{yB}$  и  $K_{ys}$ , т.е.  $M_{S1} [K_{ys}, K_{yB}]$ , а подмножество  $M_{S2}$  - курсами  $K_{yp}$  и  $K_{yA}$ . Поэтому  $M_{S2} [K_{yp}, K_{yA}]$ .

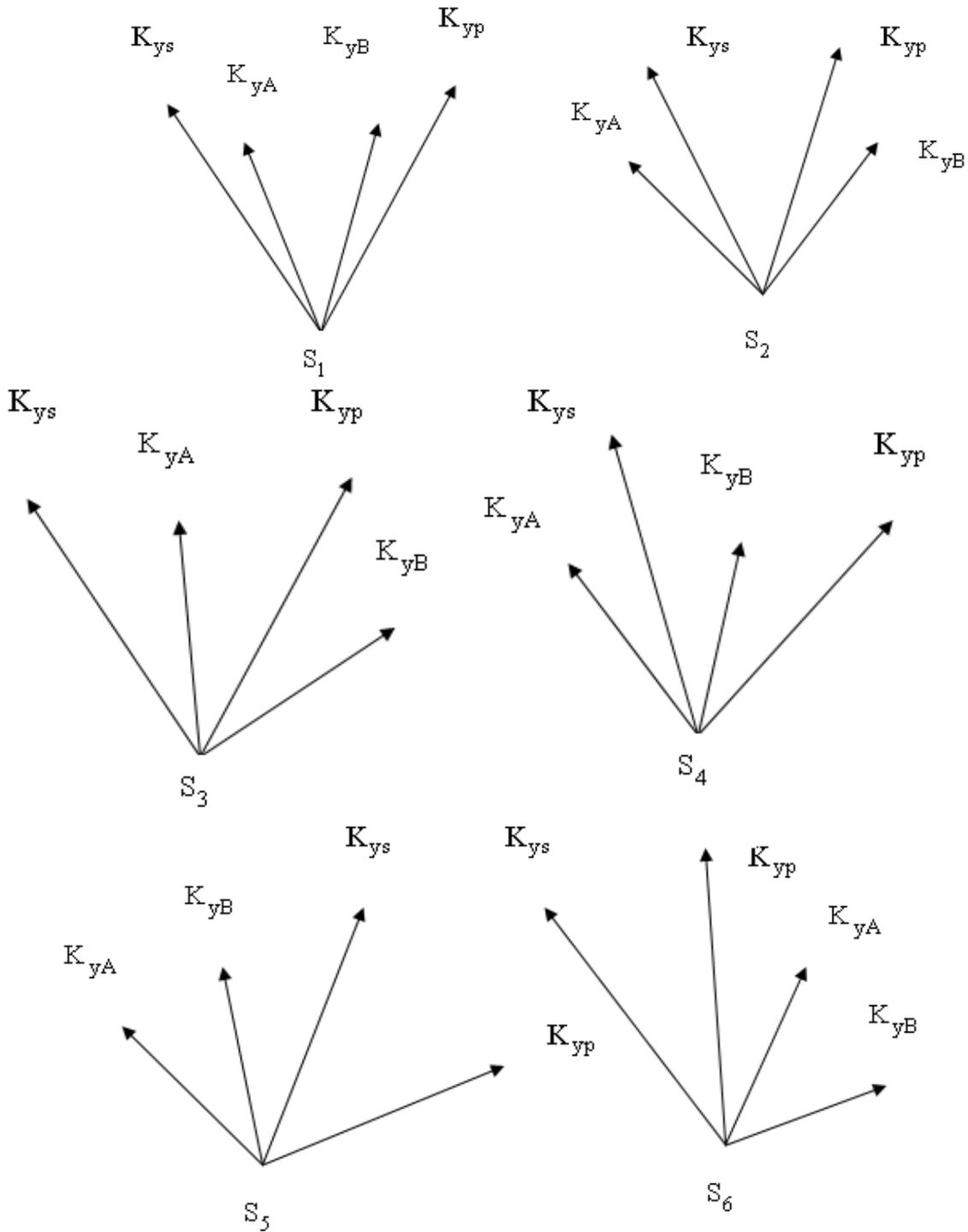


Рис. 2. Определение множеств  $M_D$  и  $M_S$

При расхождении судна с целью в районе, где имеется линейная навигационная опасность, следует выбирать курс уклонения  $K_y$ , принадлежащий множеству  $M_S$ , т. е.  $K_y \in M_{S1}$  или  $K_y \in M_{S2}$ .

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

Таким образом, в статье рассмотрена процедура учета линейной распределенной навигационной опасности при выборе курса уклонения в ситуации опасного сближения с целью. Приведена таблица выбора граничного курса уклонения в зависимости от сложившейся ситуации.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть случай расхождения судна с целью при наличии сложной распределенной навигационной опасности.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Фрейдзон И.Р. Моделирование корабельных систем управления / И.Р. Фрейдзон. –Л.: Судостроение, 1985. - 232 с.
3. Кудряшов В.Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В.Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978. - № 5. – С. 35-40.
4. Петриченко Е.А. Описание навигационных опасностей в задаче расхождения судов / Е.А. Петриченко // Судовождение. – 2002. – № 5. –С. 89 – 95.
5. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Е.А. Петриченко // Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 103-107.