

УДК 656.61.052

## ВЫЯВЛЕНИЕ СИТУАЦИЙ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ С ПОМОЩЬЮ ГРАНИЧНЫХ ПЕЛЕНГОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ СУДОВОЖДЕНИЯ

А. В. Алексишин<sup>1</sup>

*В статье рассматривается вопрос варианта оценки взаимного сближения судов в автоматизированных комплексах судовождения и определение возможности расхождения с целью по анализу граничных пеленгов на зону безопасности.*

*Ключевые слова:* зона безопасности судна, границы зоны безопасности, граничные пеленги.

Оценка взаимного сближения судов предусматривает выполнение двух следующих операций. Во-первых, выявить развитие ситуации опасного сближения, содержащего угрозу возможного столкновения, предполагая, что суда будут перемещаться с неизменными параметрами движения, и, во-вторых, в случае необходимости оценить степень опасности складывающейся ситуации, т. е. выявить на начальный момент времени возможность разойтись с целью безопасным маневром, не попадая в ее зону безопасности.

**Цель статьи:** в статье показана процедура расчета граничных пеленгов и их анализ для принятия решения о классификации цели (будет она опасной или нет) и процедуре маневра на расхождение.

На практике, используя в качестве зоны безопасности круг, для реализации первой операции определяют соотношение кратчайшего и допустимого расстояния кратчайшего сближения, а для второй – соотношение кратчайшего и допустимого времени кратчайшего сближения.

Согласно принятой модели опасность столкновения реально существует, если хотя бы одно из сближающихся судов попадает в зону безопасности другого. Поэтому, если рассматривать судно 1 и цель 2, задавая позицию цели относительно судна пеленгом  $\alpha$  и дистанцией  $D$ , то указанный признак опасного сближения можно формализовать следующим образом.

Допустим, относительный курс судна 1  $K_{отн}$  характеризует движение судна относительно цели (при этом судно движется с суммарной ско-

---

<sup>1</sup> © Алексишин А. В., к.т.н., доцент кафедры «Электронные комплексы судовождения» Одесской национальной морской академии (ОНМА).

ростью, а цель неподвижна) по линии относительного движения, как показано на рис.1, а зона безопасности имеет форму эллипса. Граничные пеленга с судна на зону безопасности цели  $\alpha_{1*}$  и  $\alpha_1^*$  определяют условие попадания судна в зону безопасности цели, т. е. если начальный относительный курс  $K_{otn}$  находится в секторе относительных курсов, ограниченных пеленгами  $\alpha_{1*}$  и  $\alpha_1^*$  (как на рис. 1), то судно 1 попадает в зону безопасности цели 2.

Найдем аналитические выражения для данного условия. Прежде всего, при известных параметрах истинного движения судна  $K_1, V_1$  и цели  $K_2, V_2$  значения относительного курса  $K_{otn}$  и скорости  $V_{otn}$  определяются с помощью следующих выражений [1]:

$$V_{otn} = [V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)]^{1/2},$$

$$K_{otn} = \psi, \quad \text{при } \dot{X}_{ot} > 0 \text{ и } \dot{Y}_{ot} > 0;$$

$$K_{otn} = \pi + \psi, \quad \text{при } \dot{Y}_{ot} < 0;$$

$$K_{otn} = 2\pi + \psi, \quad \text{при } \dot{X}_{ot} < 0 \text{ и } \dot{Y}_{ot} > 0,$$

где  $\psi = \arcsin[(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2)/V_{otn}]$ ,

$$\dot{X}_{ot} = V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2, \quad \dot{Y}_{ot} = V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2.$$

Значения граничных пеленгов  $\alpha_{1*}$  и  $\alpha_1^*$  рассчитываем с помощью ранее полученных выражений:

$$\alpha_{11} = \operatorname{arctg} \frac{\bar{X}_{o2} + b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{11}^2}{a_2^2}} \sin K_2 + x_{11} \cos K_2}{\bar{Y}_{o2} + b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{11}^2}{a_2^2}} \cos K_2 - x_{11} \sin K_2},$$

$$\alpha_{12} = \arctg \frac{\bar{X}_{o2} - b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{11}^2}{a_2^2} \sin K_2 + x_{11} \cos K_2}}{\bar{Y}_{o2} - b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{11}^2}{a_2^2} \cos K_2 - x_{11} \sin K_2}},$$

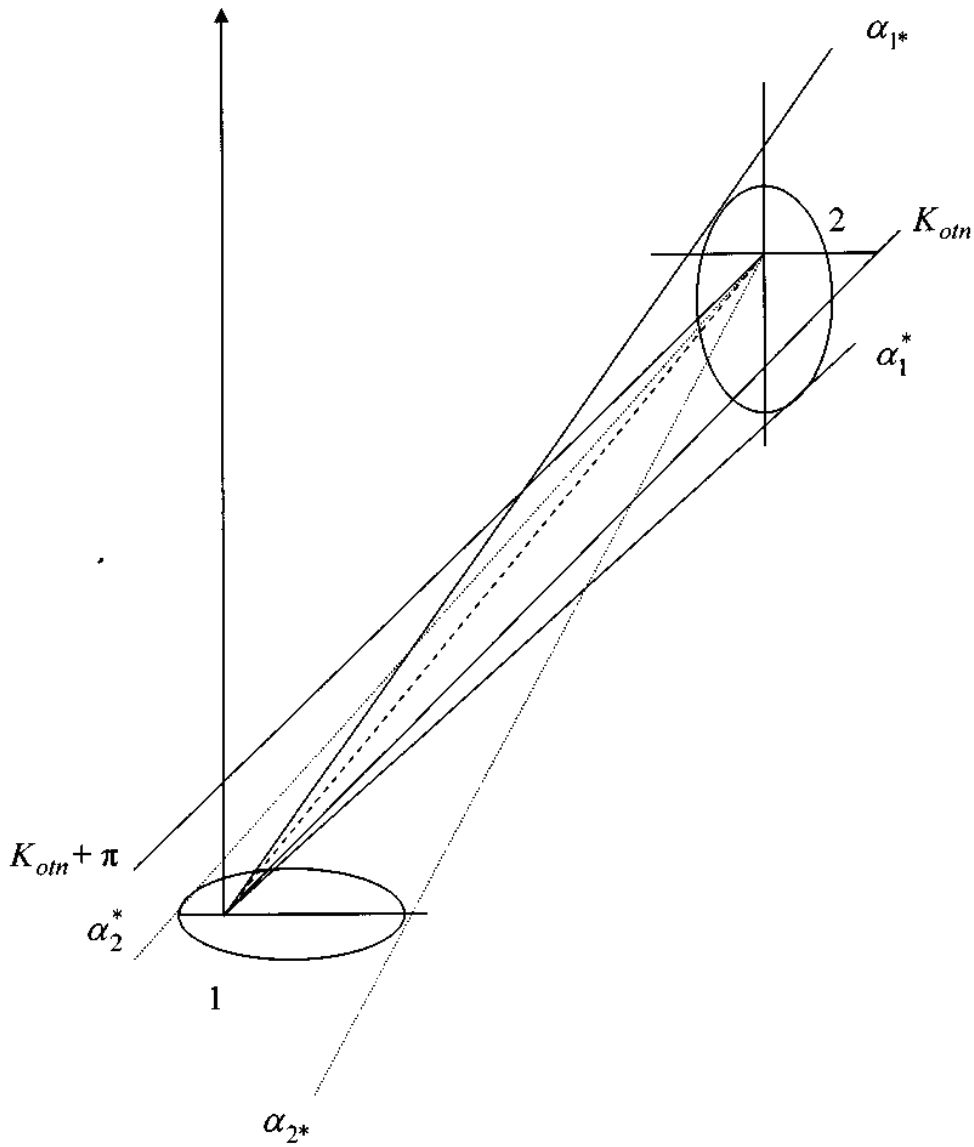


Рис. 1. К определению опасности столкновения судна с целью

$$\alpha_{12} = \arctg \frac{\bar{X}_{o2} - b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{11}^2}{a_2^2}} \sin K_2 + x_{11} \cos K_2}{\bar{Y}_{o2} - b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{11}^2}{a_2^2}} \cos K_2 - x_{11} \sin K_2},$$

$$\alpha_{13} = \arctg \frac{\bar{X}_{o2} + b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{12}^2}{a_2^2}} \sin K_2 + x_{12} \cos K_2}{\bar{Y}_{o2} + b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{12}^2}{a_2^2}} \cos K_2 - x_{12} \sin K_2},$$

$$\alpha_{14} = \arctg \frac{\bar{X}_{o2} - b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{12}^2}{a_2^2}} \sin K_2 + x_{12} \cos K_2}{\bar{Y}_{o2} - b_2 \sqrt{1 - \frac{x_{12}^2}{a_2^2}} \cos K_2 - x_{12} \sin K_2},$$

где

$$x_{11} = -\frac{a_2^2 c_2 b_2}{a_2^2 + c_2^2 r_2^2} + \sqrt{\left(\frac{a_2^2 c_2 b_2}{a_2^2 + c_2^2 r_2^2}\right)^2 - \frac{a_2^2 c_2^2 (b_2^2 - r_2^2)}{(a_2^2 + c_2^2 r_2^2)}},$$

$$x_{12} = -\frac{a_2^2 c_2 b_2}{a_2^2 + c_2^2 r_2^2} - \sqrt{\left(\frac{a_2^2 c_2 b_2}{a_2^2 + c_2^2 r_2^2}\right)^2 - \frac{a_2^2 c_2^2 (b_2^2 - r_2^2)}{(a_2^2 + c_2^2 r_2^2)}}.$$

Здесь

$$c_2 = \frac{a_2^2}{b_2(\bar{Y}_{o2} \sin K_2 - \bar{X}_{o2} \cos K_2)}$$

и

$$r_2 = (\bar{Y}_{o2} \cos K_2 + \bar{X}_{o2} \sin K_2),$$

а  $a_2$  и  $b_2$  - полуоси эллипса зоны безопасности цели, а координаты цели  $\bar{X}_{o2} = D \sin \alpha$  и  $\bar{Y}_{o2} = D \cos \alpha$ .

Затем значения пеленгов  $\alpha_{1*}$  и  $\alpha_1^*$  находятся из выражений:

$$\alpha_{1*} = \min\{\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{14}\}, \quad \alpha_1^* = \max\{\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{14}\}.$$

Принадлежность начального относительного курса  $K_{otn}$  к сектору недопустимых  $[\alpha_{1*}, \alpha_1^*]$  проверяется следующим образом. Если

$$\sin(K_{otn} - \alpha_{1*}) > 0 \text{ и } \sin(K_{otn} - \alpha_1^*) < 0, \quad (1)$$

то  $K_{otn}$  принадлежит к сектору недопустимых относительных курсов  $[\alpha_{1*}, \alpha_1^*]$ .

В этом случае, если суда будут продолжать движение с неизменными параметрами, то судно 1 попадет в зону безопасности цели 2. Если же условие (1) не выполняется, то судно не попадает в зону безопасности цели, однако не исключено, что цель может попасть в зону безопасности судна. Поэтому надлежит сделать и такую проверку. Для этого с позиций цели определим граничные пеленги  $\alpha_{2*}$  и  $\alpha_2^*$  на зону безопасности судна. При этом в относительном движении судно неподвижно, а цель перемещается с суммарной скоростью. Очевидно, что при этом относительный курс изменится на противоположный, т. е.  $K_{otn} + \pi$ , дистанция не изменится, а пеленг также увеличится на  $\pi$ , т. е. примет значение  $\alpha + \pi$ .

Для проверки условия попадания цели в зону безопасности судна необходимо рассчитать граничные значения пеленгов  $\alpha_{2*}$  и  $\alpha_2^*$  аналогично предыдущему случаю. Приведем аналитические выражения необходимые для этого. Вначале следует рассчитать четыре пеленга, из которых выбираются граничные:

$$\alpha_{21} = \arctg \frac{\bar{X}_{o1} + b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{21}^2}{a_1^2}} \sin K_1 + x_{21} \cos K_1}{\bar{Y}_{o1} + b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{21}^2}{a_1^2}} \cos K_1 - x_{21} \sin K_1},$$

$$\alpha_{22} = \arctg \frac{\bar{X}_{o1} - b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{21}^2}{a_1^2}} \sin K_1 + x_{21} \cos K_1}{\bar{Y}_{o1} - b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{21}^2}{a_1^2}} \cos K_1 - x_{21} \sin K_1},$$

$$\alpha_{23} = \arctg \frac{\bar{X}_{o1} + b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{22}^2}{a_1^2}} \sin K_1 + x_{22} \cos K_1}{\bar{Y}_{o1} + b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{22}^2}{a_1^2}} \cos K_1 - x_{22} \sin K_1},$$

$$\alpha_{24} = \arctg \frac{\bar{X}_{o1} - b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{22}^2}{a_1^2}} \sin K_1 + x_{22} \cos K_1}{\bar{Y}_{o1} - b_1 \sqrt{1 - \frac{x_{22}^2}{a_1^2}} \cos K_1 - x_{22} \sin K_1},$$

где

$$x_{21} = -\frac{a_1^2 c b_1}{a_1^2 + c_1^2 r_1^2} + \sqrt{\left(\frac{a_1^2 c b_1}{a_1^2 + c_1^2 r_1^2}\right)^2 - \frac{a_1^2 c_1^2 (b_1^2 - r_1^2)}{(a_1^2 + c_1^2 r_1^2)}},$$

$$x_{22} = -\frac{a_1^2 c b_1}{a_1^2 + c_1^2 r_1^2} - \sqrt{\left(\frac{a_1^2 c b_1}{a_1^2 + c_1^2 r_1^2}\right)^2 - \frac{a_1^2 c_1^2 (b_1^2 - r_1^2)}{(a_1^2 + c_1^2 r_1^2)}}.$$

Причем

$$c_1 = \frac{a_1^2}{b_1(\bar{Y}_{o1} \sin K_1 - \bar{X}_{o1} \cos K_1)}$$

и

$$r_1 = (\bar{Y}_{o1} \cos K_1 + \bar{X}_{o1} \sin K_1),$$

а  $a_1$  и  $b_1$  - полуоси эллипса зоны безопасности судна, а его координаты по отношению к цели  $\bar{X}_{o1} = D \sin(\alpha + \pi)$  и  $\bar{Y}_{o2} = D \cos(\alpha + \pi)$  или  $\bar{X}_{o1} = -D \sin \alpha$  и  $\bar{Y}_{o2} = -D \cos \alpha$ .

Затем значения пеленгов  $\alpha_{2*}$  и  $\alpha_2^*$  находятся из выражений:

$$\alpha_{2*} = \min\{\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{23}, \alpha_{24}\}, \quad \alpha_2^* = \max\{\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{23}, \alpha_{24}\}.$$

Условие принадлежности относительного курса  $K_{otn} + \pi$  сектору недопустимых относительных курсов  $[\alpha_{2*}, \alpha_2^*]$  формально записывается:

$$\sin(K_{otn} + \pi - \alpha_{2*}) > 0 \text{ и } \sin(K_{otn} + \pi - \alpha_2^*) < 0,$$

или  $-\sin(K_{otn} - \alpha_{2*}) > 0$  и  $-\sin(K_{otn} - \alpha_2^*) < 0$ . Окончательно условие того, что цель будет принадлежать зоне безопасности судна принимает следующий вид:

$$\sin(\alpha_{2*} - K_{otn}) > 0 \text{ и } \sin(\alpha_2^* - K_{otn}) < 0. \quad (2)$$

### Выводы

1. Опасность столкновения судов существует, если выполняется хотя бы одно из двух условий (1) или (2)
2. Судоводителю необходимо в кратчайший срок предпринимать меры по выполнению маневра расхождения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафин И.В. Оптимизация маневров для безопасного расхождения судов. Автореф. дис. канд. техн. наук: ОНМА. – Одесса, 2004. – 23 с.

*Рукопись поступила в редакцию 29.12.2012 г.*