

ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ЗНАЧЕНИЯ
СИТУАЦИОННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

Одной из причин столкновения судов является существующая несовершенная процедура определения наличия ситуационного возмущения и поведения судов при различных его значениях.

В работе [1] рассмотрена реализация определенного типа взаимодействия судов в случае опасного сближения при возникновении ситуационного возмущения различного значения.

Вопросу определения угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [2], а в работе [3] показано формирование гибких стратегий возмущения в зависимости от значения ситуационного возмущения.

Целью публикации является описание разработанного графического способа оценки значения ситуационного возмущения.

С каждым из судов связывается двумерная область недопустимых позиций, называемая судовой безопасной областью, в которой нежелательно пребывание каких-либо посторонних объектов. При рассмотрении относительного перемещения судов таким объектом является другое судно. Область недопустимых позиций должна быть сформирована таким образом, чтобы ее граница соответствовала нулевой вероятности столкновения. А каждой точке внутри этой области соответствует некоторая отличная от нуля вероятность возникновения столкновения, причем рост вероятности столкновения судов происходит с сокращением кратчайшей дистанции между судами.

Ситуационное возмущение ω возникает при прогнозируемом попадании судов в область недопустимых позиций. Оно выявляет грядущую опасную позицию заблаговременно, исходя из прогноза изменения относительной позиции пары судов. Поэтому оно носит условный характер, так как на его истинность влияют возможные действия судов и способ прогноза. Следовательно, ситуационное возмущение ω возникает тогда, когда прогнозируемое значение дистанции кратчайшего сближения $D_{\min}$ меньше значения предельно-допустимой дистанции сближения D_d , величина которой зависит от формы области недопустимых позиций и ракурса сближения судов.

Второй характеристикой ситуационного возмущения является время запаса t_{zi} и t_{zj} для каждого из пары судов системы S_{12} . Смысл

времени запаса заключается в следующем. Если при наличии ситуационного возмущения дистанция между судами превосходит значение D_d и судно может своим маневром обеспечить максимальное значение дистанции кратчайшего сближения $\max D_{\min}$, для которого $\max D_{\min} > D_d$, то судно находится в допустимой позиции. С течением времени дистанция между судами сокращается и наступает момент времени t_{di} , когда достигается равенство $\max D_{\min} = D_d$. При дальнейшем сближении судов с программными параметрами движения $\max D_{\min} < D_d$, и судно попадает в подмножество недопустимых позиций, причем никаким маневром оно не сможет разойтись с другим судном в дистанции D_d . Поэтому время запаса t_{zi} равно интервалу времени от текущего момента до момента времени t_{di} попадания судна в подмножество недопустимых позиций. Значение общего времени запаса t_{zij} для пары судов целесообразно выбрать из соотношения $t_{zij} = \min(t_{zi}, t_{zj})$.

Ситуационное возмущение ω может принимать три значения:

$$\omega = \begin{cases} 0, & D_{\min} > D_d; \\ 1, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} > 0; \\ 2, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} \leq 0. \end{cases}$$

Для декомпозиции множества состояний опасного сближения системы S_{12} на подмножества ситуационных возмущений со значениями 1 и 2 учитываем соотношение значений $\max D_{\min}$ и D_d . Смена значений ситуационного возмущения происходит на границе, когда достигается равенство $\max D_{\min} = D_d$.

Учитываем, что

$$\max D_{\min} = \Delta_n D \sin(K_{\text{ext}} - \alpha),$$

где α - пеленг на цель.

Так как K_{ext} - экстремальный относительный курс равный $K_{ot\min}$ или $K_{ot\max}$, на котором дистанция кратчайшего сближения $D_{\min}$ максимальна, то, очевидно, справедливы следующие два равенства:

$$\max D_{\min}^{(\text{mx})} = \Delta_n D \sin(K_{ot\max} - \alpha) \text{ и } \max D_{\min}^{(\text{mn})} = \Delta_n D \sin(K_{ot\min} - \alpha).$$

При этом:

$$K_{ot\min} = \pi + K_2 - \arcsin \rho \text{ и } K_{ot\max} = \pi + K_2 + \arcsin \rho,$$

где $\rho = V_1/V_2$ и $V_2 > V_1$.

Поэтому имеются две границы:

$D \sin(\pi + K_2 + \arcsin \rho - \alpha) = \Delta_n D_d$; $D \sin(\pi + K_2 - \arcsin \rho - \alpha) = \Delta_n D_d$, -
которые удобно записать в виде зависимости D от курса K_2 :

$$D_{mx} = (\Delta_n D_d) / \sin(\pi + K_2 + \arcsin \rho - \alpha);$$

$$D_{mn} = (\Delta_n D_d) / \sin(\pi + K_2 - \arcsin \rho - \alpha).$$

При этом каждому курсу K_2 судна с большей скоростью соответствуют курсы

$$K_{1min} = K_2 + \arccos \rho \text{ и } K_{1max} = K_2 - \arccos \rho ,$$

при которых достигаются экстремальные относительные курсы K_{omin} или K_{omax} .

Исследуем поведение величины $\max D_{min}$ в зависимости от курса судна с большей скоростью K_2 . Очевидно, что $\max D_{min} = 0$, при $K_{ext} = \alpha$, или $\pi + K_2 \pm \arcsin \rho = \alpha$, откуда $K_2 = \alpha - \pi \mp \arcsin \rho$.

Найдем курсы судна K_2 , при которых $\max D_{min}$ принимает наибольшее значение. Очевидно, это происходит при $\sin(K_{ext} - \alpha) = 1$, или $K_{ext} = \alpha + \pi/2$. Подставляя значение K_{ext} , получим

$$\pi + K_2 \pm \arcsin \rho = \alpha + \frac{\pi}{2} \text{ или } K_2 = \alpha + \frac{\pi}{2} - \pi \mp \arcsin \rho = \alpha - \frac{\pi}{2} \mp \arcsin \rho .$$

Учитывая, что $\pi/2 - \arcsin \rho = \arccos \rho$, получим $K_2 = \alpha \mp \arccos \rho$.

На рис. показаны области позиций для $D = 3$, $D_d = 1$ и $\alpha = 0$, в которых ситуационное возмущение может принять значение 2.

Верхняя область на рис. соответствует значениям K_2 и D , при которых D_{min} нельзя увеличить, увеличивая относительный курс до K_{omax} , а нижняя область характеризует отсутствие возможности увеличения D_{min} уменьшением относительного курса до K_{omin} .

На рис. обозначены следующие курсы:

$$K_{21} = \alpha + \arccos \rho ; K_{22} = \alpha + \pi + \arcsin \rho ; K_{23} = \alpha + \pi ;$$

$$K_{24} = \alpha + \pi - \arcsin \rho ; K_{25} = \alpha - \arccos \rho .$$

С помощью областей, показанных на рис., можно определить значение ситуационного возмущения ω , располагая дистанцией между судами D и курсом судна с большей скоростью K_2 . Так для точки 1, которая соответствует $D = 3$ и $K_2 = 90^\circ$, ситуационное возмущение $\omega = 1$, так как точка 1 не принадлежит обеим областям. Точка 2 ($D = 3$, $K_2 = 160^\circ$) принадлежит нижней области и в случае отсут-

вия возможности увеличения $D_{\min}$ изменением относительного курса к величине $K_{o\max}$ ситуационное возмущение $\omega = 2$. В противном случае, если возможно увеличение $D_{\min}$ увеличением относительного курса к $K_{o\max}$, $\omega = 1$.

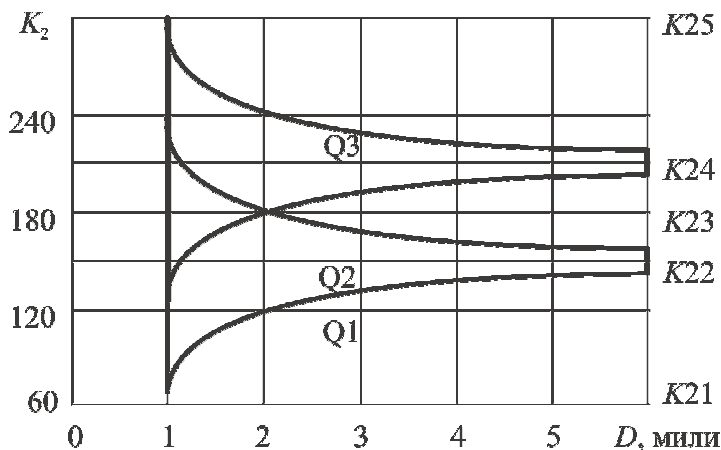


Рис. Области позиций, в которых возможно $\omega = 2$

Верхняя область содержит точку 3 ($D = 3$, $K_2 = 210^\circ$), при возможности увеличения $D_{\min}$ изменением относительного курса к величине $K_{o\min}$ ситуационное возмущение $\omega = 1$, а в противном случае $\omega = 2$. Если ситуация соответствует точке 4 ($D = 2$, $K_2 = 180^\circ$), которая принадлежит обеим областям, то ситуационное возмущение принимает только значение $\omega = 2$.

Таким образом, с помощью предложенной диаграммы, построенной для возникшей ситуации опасного сближения, в зависимости от курса цели и расстояния до нее можно определить значение ситуационного возмущения и характер маневра расхождения. Если точка на диаграмме не принадлежит обеим областям, то судно выполняет стандартный маневр расхождения. В случае принадлежности исходной точки одновременно обеим областям судно следует незамедлительно реализовать маневр экстренного расхождения. Если точка на диаграмме принадлежит только одной области, то в зависимости от возможной стороны поворота судно может выполнить стандартный маневр расхождения или маневр экстренного расхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
2. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 166 –171.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.