

## ОПЕРАТИВНЫЙ СПОСОБ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ СУДОВ С ПОМОЩЬЮ ОБЛАСТИ НЕДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ

При опасных сближениях судов высокий риск столкновения в значительной мере обусловлен несовершенными процедурами выявления опасного сближения и оперативного принятия решения по выбору безопасного маневра расхождения в зависимости от степени угрозы столкновения.

В последние годы направлению совершенствования вопросов оценки ситуации опасного сближения и предупреждения возможного столкновения посвящен ряд работ [1 - 4]. В работе [1] показано формирование гибких стратегий расхождения в зависимости от значения ситуационного возмущения, а в работе [2] 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 [3], а в работе [4] предложена экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближения судов. Вышеуказанные работы носят теоретический характер, хотя существует потребность в разработке оперативных и простых в применении способов оценки ситуации сближения судов и выбора безопасного маневра расхождения.

Также проведены исследования по проблеме обеспечения безопасного расхождения судов методами внешнего управления с использованием недопустимых областей курсов или скоростей судов [5], которые являются эффективными в практическом судовождении. Предлагаемый подход к решению проблемы предупреждения столкновения судов целесообразно использовать и при локально-независимом управлением процессом расхождения [5], что может обеспечить разработку оперативных и эффективных процедур предупреждения столкновений судов. Этому вопросу и посвящена настоящая статья.

Цель публикации - разработка способа формирования области недопустимых параметров движения оперирующего судна, которая позволяет оценить опасность ситуации сближения судов и в случае необходимости оперативно выбрать маневра расхождения.

При сближении со встречной целью граничной изостадией будем называть линию в системе координат параметров движения судна

(курса  $K_1$  и скорости  $V_1$ ), в каждой точке которой достигается равенство дистанции кратчайшего сближения  $\min D$  с предельно-допустимой дистанцией сближения  $d_d$ , при неизменной относительной позиции судна и цели (пеленга  $\alpha$  и дистанции  $D$ ) и постоянных параметрах движения цели  $K_2$  и  $V_2$ .

Учитывая, что равенство  $\min D = d_d$  достигается при относительном уклонении судов как вправо, так и влево относительно направления пеленга, то имеется две граничные изостадии, которые ограничивают область недопустимых параметров движения судна  $Q_n$ . В этом случае, если точка  $(K_{li}, V_{li})$  принадлежит области  $Q_n$ , то сближение судов опасное, так как  $\min D < d_d$ .

Найдем аналитическое выражение для граничных изостадий. Для этого в равенство  $\min D = d_d$  подставляем формулу для  $\min D$  [4]:

$$\Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = d_d.$$

Из последнего равенства:

$$K_{ot} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}.$$

Введем обозначение  $\gamma = \alpha - \arcsin(d_d / \Delta D)$ . В зависимости от знака  $\Delta$  получим:

$\gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin(d_d / \Delta D)$ , при  $\Delta > 0$  и  $\gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin(d_d / \Delta D)$ , при  $\Delta < 0$ . Очевидно:  $\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg} \gamma^{(1,2)}$ , или в развернутом виде [1]:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma^{(1,2)}}{\cos \gamma^{(1,2)}}.$$

После преобразований последнего выражения получаем зависимость:

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}, \quad (1)$$

из которой следуют уравнения граничных изостадий, связующих курс судна  $K_1$  с его скоростью  $V_1$ , при которых справедливо равенство  $\min D = d_d$ , причем для сближения судов на встречных курсах:

$$\begin{aligned} K_{11}^{(1)} &= \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}; \\ K_{11}^{(2)} &= \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \end{aligned} \quad (2)$$

причем необходимо учитывать ограничения на значения скорости судна  $V_1$ . Аргумент  $V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)}) / V_1$  под функцией  $\arcsin$  не может превосходить 1, следовательно, минимальное значение скорости судна в уравнениях граничных изостадий определяется величиной  $V_{1\min} = V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})$ .

Аналогично из (1) получаем уравнения граничных изостадий для сближения судов на попутных курсах:

$$K_{12}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1};$$

$$K_{12}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1},$$

причем в данном случае  $V_1 \geq V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})$ .

На рис. 1 приведена область недопустимых параметров движения судна  $Q_n$  и граничные изостадии, которые ограничивают ее. Предельные изостадии рассчитаны для ситуации сближения судов на встречных курсах с помощью выражений (2) для следующих значений параметров ситуации сближения:  $\alpha = 140^\circ$ ;  $D = 4$  мили;  $d_d = 1$  мили;  $K_1 = 100^\circ$ ;  $V_1 = 15$  узлов;  $K_2 = 350^\circ$ ;  $V_2 = 20$  узлов.

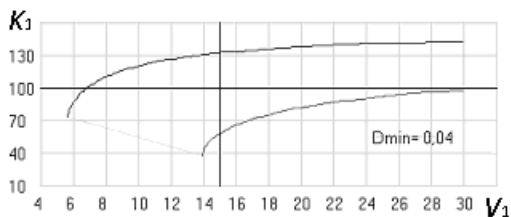


Рис. 1. Область недопустимых параметров движения судна  $Q_n$

С помощью области  $Q_n$  имеется возможность оценить является ли сближение опасным с точки зрения возникновения угрозы столкновения, т. е. имеет ли место неравенство  $\min D < d_d$ . Для этого необходимо оценить положение точки  $(K_1, V_1)$ , соответствующей параметрам движения судна, относительно области  $Q_n$ . Из рис. 1 видно, что данная точка принадлежит области недопустимых параметров движения судна  $Q_n$ , при этом  $\min D < d_d$  и  $\min D = 0,04$  мили. Следовательно, для предупреждения столкновения следует предпринять ма-

невр расхождения. С помощью области  $Q_n$  можно выбрать расхождение судов маневром изменением курса судна при неизменной скорости. Для выбора курса уклонения  $K_{1y}$ , обеспечивающего  $\min D = 1,00$  мили, необходимо найти точку пересечения вертикальной линии  $V_1=15$  узлов с граничными изостадиями и определить соответствующий курс уклонения отворотом вправо или влево. Так, на рис. 2 показан курс уклонения судна отворотом вправо, причем  $K_{1y}=132^\circ$ .

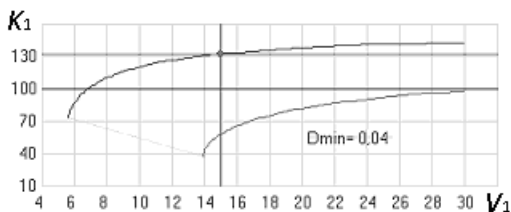


Рис. 2. Выбор безопасного курса уклонения  $K_{1y}$ ,

Как следует из вышеизложенного, использование области недопустимых параметров движения судна, заключенной между двумя граничными изостадиями, позволяет, во-первых, оценить ситуацию сближения судов и, во-вторых, при опасном сближении оперативно выбрать безопасный маневр расхождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. - 424 с.
2. 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.
3. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. - 2008. - № 15. - С. 166 -171.
4. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. - 202 с.
5. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия). - 2016. - 585 с.