

ВЫБОР БЕЗОПАСНОГО КУРСА СУДНА
С УЧЕТОМ ЕГО ИНЕРЦИОННОСТИ

Одной из наиболее актуальных является проблема обеспечения безопасного расхождения судов в случае возникновения угрозы их столкновения. В этой ситуации судам надлежит компенсировать ситуационное возмущение путем выполнения маневра расхождения.

В районах действия систем управления движения судов выбор стратегии расхождения осуществляется именно этими системами, а не опасно сближающимися судами. Поэтому в такой ситуации отсутствует система координации взаимодействия опасно сближающихся судов (МПССС-72). При выборе момента времени начала уклонения судов следует учитывать поправку времени упреждения из-за их инерционности, в противном случае дистанция кратчайшего сближения между судами будет меньше планируемой предельно-допустимой дистанции, что повышает угрозу возможного столкновения особенно для крупных судов.

В работе [1] исследуются вопросы предупреждения столкновений судов с помощью гибких стратегий расхождения, а в работе [2] приведены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения. Принцип внешнего управления тремя судами для компенсации ситуационного возмущения рассмотрен в работе [3].

Целью публикации является учет инерционности судна при выборе маневра расхождения судов с помощью опасной области курсов.

Множество состояний системы двух опасно сближающихся судов S_{12} , как показано в работе [4], целесообразно представлять областью опасных курсов, которая отображается на плоскости курсов судов (рис. 1).

Границами области являются точки (K_1, K_2) , которые удовлетворяют уравнению:

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

где $\gamma = \alpha \pm \arcsin D_d / D$, здесь α и D - соответственно пеленг и дистанция между судами; D_d - предельно-допустимая дистанция сближения.

Если точка (K_1, K_2) находится внутри области опасных курсов,

то дистанция кратчайшего сближения D_{\min} меньше предельно-допустимой дистанции D_d , и сближение судов является опасным. В случае же положения точки (K_1, K_2) на границе или вне области опасных курсов угроза столкновения отсутствует (рис. 1).

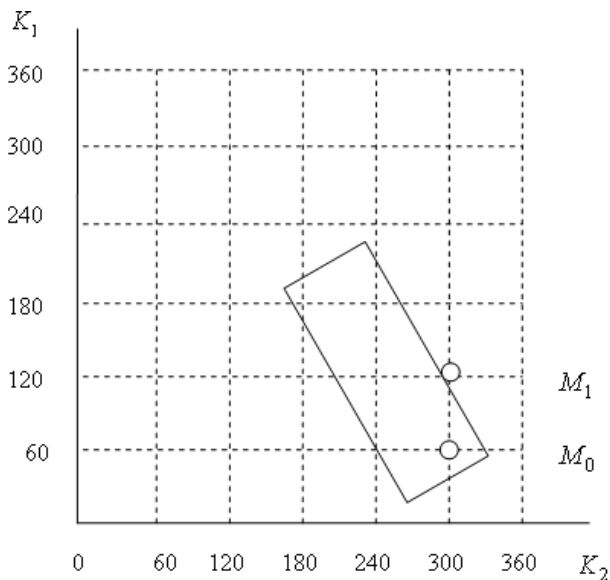


Рис. 1. Опасная область курсов системы S_{12}

Если для пары судов точка M_0 с программными курсами находится в области опасных курсов, то маневром изменения курсов судов при их неизменных скоростях необходимо изменить состояние системы S_{12} , соответствующее точке $M_0(K_{10}, K_{20})$, которая не принадлежит области опасных курсов, как показано на рис. 1. При этом переход из состояния ситуационного возмущения, точки $M_0(K_{10}, K_{20})$, в безопасное состояние $M_1(K_{1y}, K_{2y})$, требует затрат, равных минимальным изменениям курсов судов. В приведенном примере судно изменяет курс с $K_{10} = 60^\circ$ на $K_{1y} = 120^\circ$, а цель не изменяет свои параметры движения. Ситуация опасного сближения характеризуется следующими параметрами: $\alpha = 90^\circ$, $D = 3,0$ мили, $D_d = 1,0$

мили, $V_1 = 20$ узлов, $V_2 = 20$ узлов, $K_2 = 300^\circ$.

Приведенная на рис. 1 область опасных курсов не учитывает инерционность судна при повороте, в результате чего дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции D_d на величину ΔD_d , равную, как следует из рис. 2, приращению ΔR .

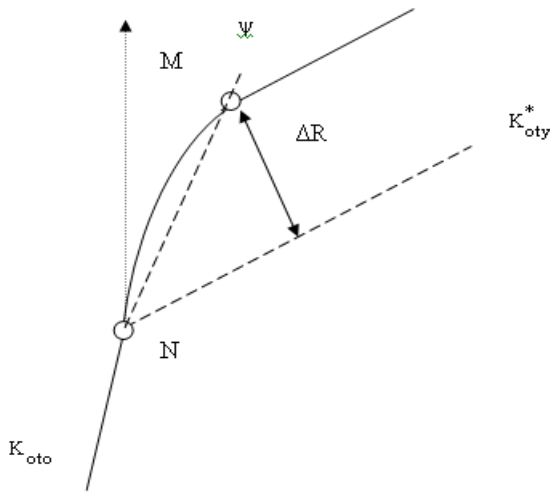


Рис. 2. Определение величины ΔD_d

Из рис. 2 следует, что величина $\Delta D_d = \Delta R$ определяется выражением:

$$\Delta D_d = MN \sin(K_{oty}^* - \psi).$$

Если допустить, что судно поворачивается с постоянной угловой скоростью ω_p , то приращения координат Δx_{ot} и Δy_{ot} между точками M и N в относительном движении определяются выражениями:

$$\Delta x_{ot} = \frac{V_0}{\omega_p} (\cos K_0 - \cos K_y^*) - V_1 \frac{K_y^* - K_0}{\omega_p} \sin K_1;$$

$$\Delta y_{ot} = \frac{V_0}{\omega_p} (\sin K_y^* - \sin K_0) - V_1 \frac{K_y^* - K_0}{\omega_p} \cos K_1,$$

где первая составляющая - криволинейное движение судна при пово-

роте, а вторая составляющая - прямолинейное движение цели без изменения параметров движения.

Очевидно, отрезок

$$MN = \sqrt{\Delta x_{ot}^2 + \Delta y_{ot}^2},$$

а угол

$$\psi = \text{arctg} \frac{\Delta x_{ot}}{\Delta y_{ot}}.$$

Следовательно, окончательно выражение для расчета ΔD_d имеет вид:

$$\Delta D_d = \sqrt{\Delta x_{ot}^2 + \Delta y_{ot}^2} \sin(K_{oy}^* - \text{arctg} \frac{\Delta x_{ot}}{\Delta y_{ot}}).$$

Величина ΔD_d , рассчитанная для поворота судна с курса $K_0 = 45^\circ$ на курс $K_y^* = 90^\circ$ с угловой скоростью $\omega_p = 1^\circ/c$ при тех же параметрах ситуации опасного сближения составляет около 0,45 мили. Поэтому необходимо рассчитывать области опасных курсов для предельной дистанции $D_d + \Delta D_d = 1,45$ мили, как показано на рис. 3.

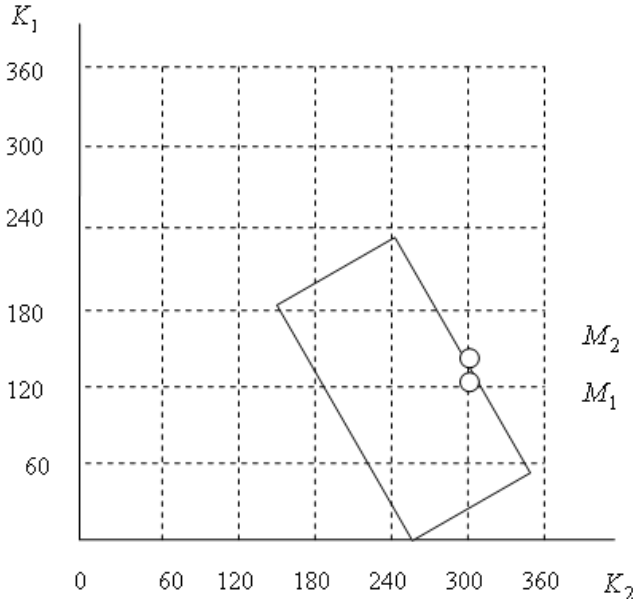


Рис. 3. Опасная область курсов системы S_{12} с учетом инерционности судна

Следует обратить внимание, что точка M_1 , которая была допустимой для области, показанной на рис. 1, с учетом инерционности судна при повороте, находится в области опасных курсов, которая приведена на рис. 3. Поэтому для безопасного расхождения судна с целью, которая следует с неизменными параметрами движения, судно должно изменить свой курс на $K_{1y} = 145^\circ$ (точка M_2), что обеспечит расхождение судов на кратчайшей дистанции не менее 1 мили.

Таким образом, для учета инерционности судна при повороте необходимо в первом приближении определить курс уклонения судна без учета динамики судна, рассчитать приращение ΔD_d предельно-допустимой дистанции из-за инерционности судна, с учетом которого сформировать уточненную область опасных курсов, и определить курсы безопасного расхождения судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. – Вып.15. / ОНМА, - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – Вып. 20. – 2014. Одесса: ОНМА. - С. 18 - 23.
4. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. - №2 (20). – С. 12 – 17.