

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ОПАСНЫХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ
ВЫБОРА МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ

При плавании судов в стесненных водах возникают ситуации их опасного сближения, в которых из-за наличия навигационных опасностей или мешающих судов расхождение маневром изменения курса невозможно. Поэтому для предупреждения столкновения судов в такой ситуации следует использовать маневр изменения скорости.

Вопросам предупреждения столкновений судов маневром изменения скорости при локально-независимом управлении посвящена работа [1]. В работе [2] рассмотрена процедура расчета момента начала маневра изменения скорости судна с учетом его инерционных характеристик.

Целью данной статьи является разработка способа выбора маневра расхождения судов изменением скорости с помощью использования областей опасных скоростей.

В ситуации, когда пара опасно сближающихся судов не могут изменять свои курсы, например из-за навигационных опасностей, предупреждение столкновения возможно изменением их скоростей. В этом случае при внешнем управлении движением судов, т.е. системой контроля и управления движением судов VTS, множество состояний системы пары судов целесообразно представить областью опасных скоростей, которая аналогична области опасных курсов [3], только каждой точке (V_1, V_2) парных скоростей судов соответствует дистанция кратчайшего сближения между судами. Граница опасной области скоростей, каждая точка которой соответствует дистанции кратчайшего сближения D_{\min} , равной предельно-допустимой дистанции D_d , описывается уравнением:

$$D_{\min} = \Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = D_d,$$

где D и α - соответственно дистанция и пеленг; K_{ot} - относительный курс; $\Delta = -1$, при $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$, в противном случае $\Delta = 1$.

Из полученного уравнения следует:

$$\alpha - K_{ot} = \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right),$$

откуда

$$K_{ot} = \alpha - \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right).$$

Следовательно, можно записать:

$$\operatorname{tg}K_{ot} = \operatorname{tg}\left[\alpha - \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right)\right]. \quad (1)$$

Учитывая, что согласно [4]

$$\operatorname{tg}K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2},$$

уравнение (1) принимает вид:

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

где $\gamma = \alpha \pm \arcsin(D_d / \Delta D)$.

Из уравнения (2) получим:

$$(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) \cos \gamma = (V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2) \sin \gamma,$$

или

$$V_1 (\sin K_1 \cos \gamma - \cos K_1 \sin \gamma) = V_2 (\sin K_2 \cos \gamma - \cos K_2 \sin \gamma).$$

Последнее выражение позволяет записать уравнение для границы опасной области скоростей, причем выражение для верхней границы:

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

где $\gamma^* = \alpha - \arcsin D_d / D$.

Нижняя граница выражается следующим образом:

$$V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)},$$

где, $\gamma_* = \alpha + \arcsin D_d / D$.

Очевидно, при постоянных значениях курсов K_1 , K_2 и параметров γ^* , γ_* границы опасной области скоростей являются линейными.

На рис. показана область недопустимых скоростей для пары опасно сближающихся судов, курсы которых являются неизменными. В качестве примера выбрана ситуация опасного сближения судов с параметрами: $\alpha = 90^\circ$, $D = 3,0$ мили, $D_d = 1,0$ мили, $K_1 = 45^\circ$, $K_2 = 315^\circ$, с начальными скоростями $V_1 = 15$ узлов и $V_2 = 15$ узлов.

В этом случае $\gamma^* = 70,5^\circ$ и $\gamma_* = 109,5^\circ$, а выражения для верхней $Gr^*(V_1, V_2)$ и нижней $Gr_*(V_1, V_2)$ границ:

$$V_1^* = 2,097V_2 \text{ и } V_{1*} = 0,477V_2.$$

Как следует из приведенного рис., точка с начальными скоростями M_o принадлежит области недопустимых скоростей и сближение судов опасное. Если судно, имеющее скорость V_2 следует с неизменными параметрами, а судно со скоростью V_1 будет маневрировать изменением скорости, то безопасное расхождение на дистанции $D_d = 1,0$ мили возможно при увеличении скорости V_1 до значения 31,5 узла (точка M^*) или ее уменьшении до значения 7,2 узла (точка M_*). Указанные точки находятся на верхней $Gr^*(V_1, V_2)$ и нижней $Gr_*(V_1, V_2)$ границах области опасных скоростей.

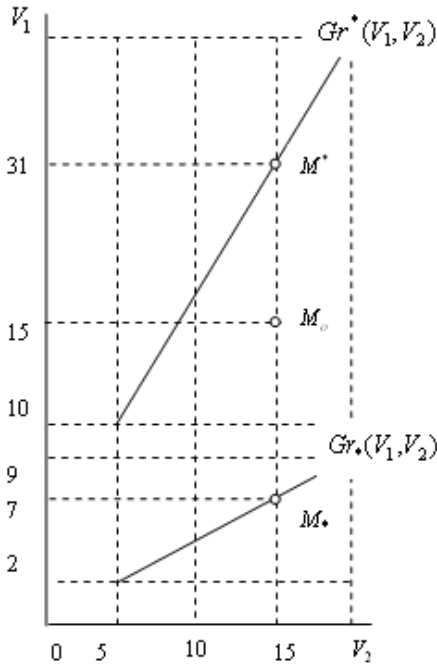


Рис. Область недопустимых скоростей

Если изменение скорости V_1 до указанных пределов возможно практически мгновенно, то значения дистанции D и пеленга α не изменяются и суда расходятся на заданной предельно-допустимой

дистанции. Однако, из-за инерционности судна для изменения скорости судна V_1 до необходимых значений требуется интервал времени [2]:

$$\tau = \frac{m}{2kV_{y1}} \ln \left| \frac{2V_{y1}^2 - 2V_1V_{y1} - 0,1(V_{y1} - V_1)}{0,1(V_{y1} + V_1)} \right|,$$

где m - масса судна с присоединенными массами; k - гидродинамический коэффициент сопротивления; V_{y1} - конечная скорость маневрирующего судна (V_{1*} или V_1^*).

Для того, чтобы в результате изменения скорости до значения V_{y1} суда разошлись на дистанции не меньшей, чем D_d , необходимо выполнение условия:

$$\tau \leq (t_{yk} - t_{yn}),$$

где t_{yn} - момент начала изменения скорости; t_{yk} - момент выхода судна в позицию, позволяющую со скоростью V_{y1} обеспечить расхождение в безопасной дистанции.

Таким образом, получена процедура формирования области опасных скоростей, с помощью которой можно выбрать значения скоростей судов для безопасного расхождения при внешнем управлении. Предложено условие существования такого маневра с учетом инерционных характеристик судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюпиков Е.Е. Особенности расхождения с целью изменением скорости судна / Тюпиков Е.Е. // Судовождение: Сб. научн. трудов. - Вып. 11/ ОНМА, – Одесса: ИздатИнформ, 2006. – С. 122 - 126.
2. Тюпиков Е.Е. Зависимость момента начала маневра расхождения изменением скорости от инерционных характеристик судна / Тюпиков Е.Е., Цымбал Н.Н. // Судовождение: Сб. научн. трудов. - Вып. 14/ ОНМА, – Одесса: Издатинформ, 2007 – С. 130 – 135.
3. 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.
4. 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.