

УДК 656.61.052.484

CONSIDERATION OF SHIP DYNAMICS DURING THE TURN**УЧЕТ ДИНАМИКИ СУДНА ПРИ ПОВОРОТЕ****T.Y. Omelchenko, senior lecturer****Т. Ю. Омельченко, старший преподаватель***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

Ship course deviation determination procedure on the set moment of time for clearing with a dangerous target is offered in the paper. Dynamical process of ship's turn is considered in the estimation of safe passing distance and determination of dangerous courses zone.

Key words: safety of navigation, coordinating cooperation, regions of mutual duties.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

При выполнении поворота судна в заданный момент времени необходимо выбирать такой курс уклонения, чтобы дистанция кратчайшего сближения судна с целью была равна предельно-допустимой дистанции. В этом случае линия ожидаемого относительного уклонения является касательной к безопасной области в относительном движении, а в истинном движении линия курса уклонения касается соответствующей виртуальной безопасной области. Разработка такой процедуры является актуальной при отображении процесса расхождения на электронной карте.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Вопросы учета инерционности судна при выполнении поворота освещены в работах [1, 2], в которых приведены процедуры расчета параметров поворота судна для различных динамических моделей поворотливости судна. В работе [3] рассмотрено использование безопасной области судна для расхождения с использованием электронной карты.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является разработка процедуры определения курса уклонения судна при расхождении с опасной целью, ограниченной безопасной областью.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Для учета динамики судна, как следует из рис. 1, следует в момент начала поворота (точка N) проводить касательную линию относительного курса уклонения не к окружности радиусом предельно-допустимой дистанции R , а к окружности с радиусом $R_1 = R + \Delta R$, где величина ΔR учитывает инерционность судна при повороте.

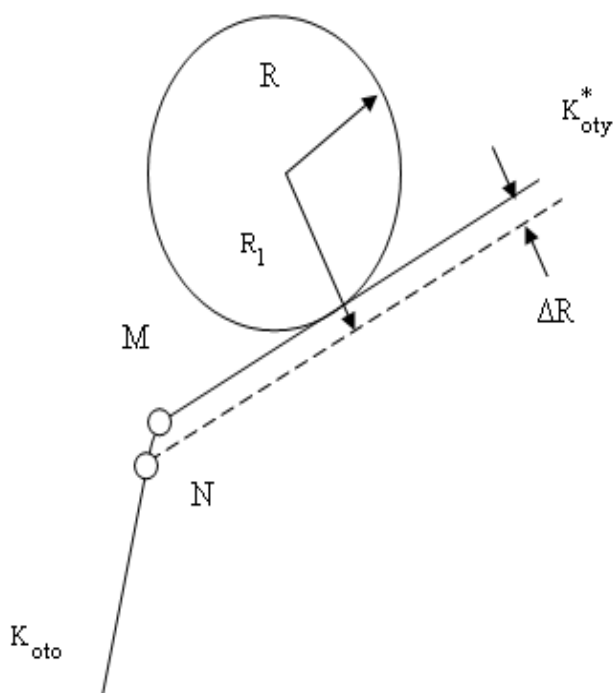


Рис. 1. К приращению предельно-допустимой дистанции

Таким образом, для учета динамики судна при его повороте необходимо найти выражение для величины ΔR , что требует определения относительного курса уклонения K_{oty}^* .

Рассмотрим процедуру определения значения K_{oty}^* , для чего воспользуемся очевидным соотношением:

$$l(t_{yk}) \sin [K_{oty}^* - \alpha(t_{yk})] = R,$$

где $l(t_{yk})$ и $\alpha(t_{yk})$ - соответственно дистанция и пеленг на цель в момент времени окончания поворота t_{yk} .

Из последнего выражения следует:

$$l(t_{yk}) \sin K_{oty}^* \cos \alpha(t_{yk}) - l(t_{yk}) \cos K_{oty}^* \sin \alpha(t_{yk}) = R.$$

Учитываем, что $l(t_{yk}) \cos \alpha(t_{yk}) = \Delta y_{yk}$ и $l(t_{yk}) \sin \alpha(t_{yk}) = \Delta x_{yk}$ - разность координат между судном и целью на момент окончания поворота t_{yk} , причем справедливы следующие соотношения:

$$\Delta y_{yk} = (\Delta \tilde{y}_n - \Delta y_o + \Delta y_1); \quad \Delta x_{yk} = (\Delta \tilde{x}_n - \Delta x_o + \Delta x_1),$$

где $\Delta \tilde{y}_n$ и $\Delta \tilde{x}_n$ - разность координат между судном и целью на момент начала поворота t_{yn} судна, а Δy_o , Δy_1 , Δx_o , Δx_1 - приращение координат оперирующего судна и цели за время поворота.

В этом случае справедливо выражение:

$$(\Delta \tilde{y}_n - \Delta y_o + \Delta y_1) \sin K_{oty}^* - (\Delta \tilde{x}_n - \Delta x_o + \Delta x_1) \cos K_{oty}^* = R,$$

где $\Delta \tilde{\eta}_n$ и $\Delta \tilde{\xi}_n$ определяются из очевидных соотношений:

$$\Delta \tilde{y}_n = \Delta y_n - V_{otn} t_{yn} \cos K_{otn} \quad \text{и} \quad \Delta \tilde{x}_n = \Delta x_n - V_{otn} t_{yn} \sin K_{otn},$$

где значения Δy_n и Δx_n представляют разность координат судна и цели в начальный момент времени, и определяются начальными пеленгом и дистанцией.

Умножим обе части последнего уравнение на относительную скорость V_{oty}^* , соответствующую курсу уклонения K_y^* и получим:

$$(\Delta \tilde{y}_n - \Delta y_o + \Delta y_1) V_{oty}^* \sin K_{oty}^* - (\Delta \tilde{x}_n - \Delta x_o + \Delta x_1) V_{oty}^* \cos K_{oty}^* = R.$$

По определению относительных параметров движения V_{oty}^* и K_{oty}^* можно записать следующие равенства:

$$V_{oty}^* \sin K_{oty}^* = (V_o \sin K_y^* - V_1 \sin K_1); \quad V_{oty}^* \cos K_{oty}^* = (V_o \cos K_y^* - V_1 \cos K_1),$$

также учитываем, что приращения координат цели за время поворота τ имеют следующий вид $\Delta \eta_1 = V_1 \tau \cos K_1$ и $\Delta \xi_1 = V_1 \tau \sin K_1$. С учетом вышеизложенного, основное уравнение приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} & (V_0 \sin K_y^* - V_1 \sin K_1) (\Delta \tilde{y}_n - \Delta y_0 + V_1 \tau \cos K_1) - \rightarrow \\ \rightarrow & (V_0 \cos K_y^* - V_1 \cos K_1) (\Delta \tilde{x}_n - \Delta x_0 + V_1 \tau \sin K_1) = V_{oty}^* R. \end{aligned} \quad (1)$$

Для случая поворота судна с постоянной угловой скоростью a_ω время поворота τ и приращения координат Δx_0 и Δy_0 оперирующего судна выражаются следующим образом:

$$\tau = \frac{K_y^* - K_0}{a_\omega}, \quad \Delta x_0 = \frac{V_0}{a_\omega} (\cos K_0 - \cos K_y^*), \quad \Delta y_0 = \frac{V_0}{a_\omega} (\sin K_y^* - \sin K_0).$$

Поэтому уравнение (1) принимает вид:

$$\begin{aligned} & (V_0 \sin K_y^* - V_1 \sin K_1) \left[\Delta \tilde{y}_n - \frac{V_0}{a_\omega} (\sin K_y^* - \sin K_0) + V_1 \frac{K_y^* - K_0}{a_\omega} \cos K_1 \right] - \rightarrow \\ & (V_0 \cos K_y^* - V_1 \cos K_1) \left[\Delta \tilde{x}_n - \frac{V_0}{a_\omega} (\cos K_0 - \cos K_y^*) + V_1 \frac{K_y^* - K_0}{a_\omega} \sin K_1 \right] = V_{oty}^* R. \end{aligned}$$

Полученное уравнение может быть решено относительно переменной K_y^* методом простых итераций. Располагая значением K_y^* , не составляет труда найти относительный курс K_{oty}^* .

Теперь необходимо определить величину приращения ΔR предельно-допустимой дистанции, для чего обратимся к рис. 2. Из данного рисунка следует, что величина ΔR определяется выражением:

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

При повороте судна с постоянной угловой скоростью a_ω приращения координат Δx_{ot} и Δy_{ot} между точками М и N определяется выражениями:

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

$$\Delta y_{ot} = \frac{V_o}{a_\omega} (\sin K_y^* - \sin K_o) - V_1 \frac{K_y^* - K_o}{a_\omega} \cos K_1.$$

Отрезок MN определяется выражением:

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

а угол ψ находится из соотношения:

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

Следовательно, окончательно выражение для расчета ΔR имеет вид:

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

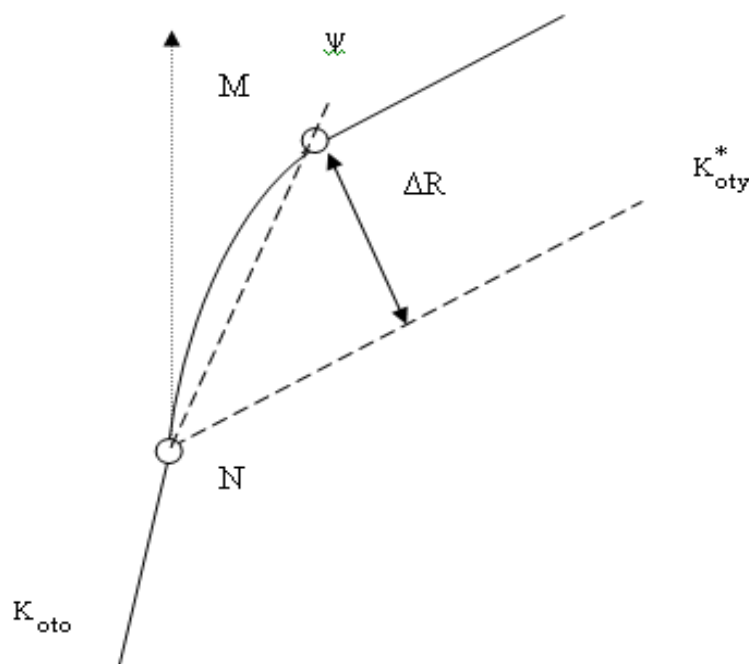


Рис.2. Определение величины ΔR

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, в статье разработана процедура определения курса уклонения судна при расхождении с опасной целью, которая ограничена безопасной областью. Получено аналитическое выражение для расчета приращения предельно-допустимого расстояния сближения, которое учитывает

инерционность судна при повороте. В дальнейшем целесообразно рассмотреть процедуру расчета приращения предельно-допустимого расстояния сближения для безопасной области различной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения / И.А. Бурмака // Судовождение. – 2002. - №4. – С. 32- 36.
2. Бурмака И.А. Учет инерционности судна при расчете момента времени завершения маневра расхождения / И.А. Бурмака // Судовождение. - № 5. - 2002. – С. 13 – 21.
3. Волков А.Н. Определение размеров безопасной области судна заданной формы и использование ее в процессе судовождения / А.Н. Волков, А.О. Якушев // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 21 – 23 травня 2014 р. – Миколаїв: МУК, 2014. – С. 42 – 47.