

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОВОРОТА СУДНА

Вопросы безопасного плавания судна в стесненных водах с учетом мешающих судов и опасных целей рассмотрены в работах [1, 2]. Для предупреждения в стесненных водах посадок судна на мель требуется реализация высокоточных поворотов на очередной участок программной траектории с использованием экспериментальных данных поворотливости судна. Этой проблеме посвящена настоящая публикация.

Траектория судна между смежными участками программной траектории при его изменении курса состоит из двух частей: части траектории циркуляции и траектории одерживания. Часть траектории циркуляции реализуется при перекладке пера руля с диаметральной плоскости судна для выхода на новый курс, и характеризуется приращением курса ΔK_1 и интервалом времени Δt_1 . Траектория одерживания требует перекладки пера руля в противоположную сторону с целью погашения его инерции, она характеризуется приращением курса ΔK_2 и интервалом времени Δt_2 . Если обозначить начальный курс судна K_1 , а последующий - K_2 , то справедливо соотношение:

$$\Delta K = K_2 - K_1 = \Delta K_1 + \Delta K_2 .$$

Точка начала переходной траектории (X_1, Y_1) принадлежит предыдущему участку с курсом K_1 , а точка ее конца (X_2, Y_2) – последующему участку с курсом K_2 . Разность координат между началом и концом переходной траектории ΔX и ΔY является характеристикой ее положения. В свою очередь

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2 \text{ и } \Delta Y = \Delta Y_1 + \Delta Y_2 ,$$

где $\Delta X_1, \Delta Y_1$ - приращение координат первого участка переходной траектории; $\Delta X_2, \Delta Y_2$ - приращение координат ее второго участка.

В результате проведенных исследований получены формулы расчета координат точки начала поворота (X_1, Y_1) , которые обеспечат поворот судна на величину ΔK и принадлежность точки конца пере-

ходной траектории (X_2, Y_2) второму участку, располагая приращенными координат траектории ΔX и ΔY . Очевидно, что $X_2 = X_1 + \Delta X$ и $Y_2 = Y_1 + \Delta Y$.

В случае, когда курсы судна K_1 и K_2 не являются главными, координаты точки начала поворота рассчитываются по формулам:

$$X_1 = \frac{\Delta X \operatorname{ctg} K_2 + Y_p - X_p \operatorname{ctg} K_2 - \Delta Y}{(\operatorname{ctg} K_1 - \operatorname{ctg} K_2)},$$

$$Y_1 = \frac{\Delta X \operatorname{ctg} K_2 + Y_p - X_p \operatorname{ctg} K_2 - \Delta Y}{(\operatorname{ctg} K_1 - \operatorname{ctg} K_2)} \operatorname{ctg} K_1,$$

где X_p и Y_p - координаты точки пересечения смежных участков программной траектории.

Допустим, экспериментально получена циркуляция судна при заданной кладке пера руля и соответствующая траектория одерживания судна, которая характеризует движение судна с момента перекладки пера руля на противоположный борт и до момента исчезновения угловой скорости поворота судна.

Аналитически кривая циркуляции судна характеризуется массивом точек, причем каждой точке соответствует момент времени, курс судна и координаты. Аналогичными характеристиками обладает траектория одерживания.

Предположим, известна величина разности курсов смежных участков программной траектории $\Delta K = K_2 - K_1$. Поворот судна состоит из двух составляющих: части траектории циркуляции, характеризующейся приращением курса ΔK_1 , разностью координат между ее началом и концом ΔX_1 , ΔY_1 , интервалом времени реализации Δt_1 , и траектории одерживания с приращением курса ΔK_2 , разностью координат ΔX_2 , ΔY_2 , интервалом времени реализации Δt_2 . Так как для заданного угла кладки пера руля с учетом установившегося значения угловой скорости поворота характеристики траектории одерживания являются неизменными, то вначале выбирается величина ΔK_2 , затем вычисляется величина ΔK_1 , характеризующая часть траектории циркуляции, т.е. $\Delta K_1 = \Delta K - \Delta K_2$. Затем по значению ΔK_1 выбирается точка циркуляции $(\Delta X_{1\text{ex}}, \Delta Y_{1\text{ex}})$, являющаяся концом первого участка переходной траектории и по ее координатам и координатам начальной точки циркуляции вычисляются величины ΔX_1 , ΔY_1 , и Δt_1 .

Следует учесть, что курс начала экспериментальной циркуляции

K_{1ex} в общем случае не совпадает с рассматриваемым предыдущим курсом судна K_1 , поэтому сначала можно получить по ΔK_1 из экспериментальной циркуляции значения приращения координат ΔX_{1ex} и ΔY_{1ex} для курса K_{1ex} , а затем, учитывая разность α между курсами K_{1ex} и K_1 вычислить значения ΔX_1 и ΔY_1 для начального курса K_1 .

Значения приращения координат ΔX_1 и ΔY_1 рассчитываются, как поворот вектора с проекциями ΔX_{1ex} и ΔY_{1ex} на угол α с помощью выражений:

$$\Delta X_1 = \Delta L \sin(\alpha + \psi);$$

$$\Delta Y_1 = \Delta L \cos(\alpha + \psi),$$

где $\Delta L = (\Delta X_{1ex}^2 + \Delta Y_{1ex}^2)^{1/2}$;

$$\psi = \arcsin\left(\frac{\Delta X_{1ex}}{\Delta L}\right).$$

Затем в точку $(\Delta X_1, \Delta Y_1)$ необходимо поместить начало отрезка с приращением координат $\Delta X_2, \Delta Y_2$.

Экспериментальная траектория одерживания характеризуется начальным курсом K_{2ex} , который не совпадает с полученным промежуточным курсом $K_m = \alpha + \psi$. Аналогично предыдущему участку необходимо экспериментальные приращения координат ΔX_{2ex} и ΔY_{2ex} , соответствующие курсу K_{2ex} , преобразовать в приращения координат определяющиеся курсом K_m . Для этого следует найти разницу β между курсами K_{2ex} и K_m , а затем с помощью следующих выражений рассчитать:

$$\Delta X_2 = \Delta L_2 \sin(\beta + \psi_2);$$

$$\Delta Y_2 = \Delta L_2 \cos(\beta + \psi_2),$$

где $\Delta L_2 = (\Delta X_{2ex}^2 + \Delta Y_{2ex}^2)^{1/2}$;

$$\psi_2 = \arcsin\left(\frac{\Delta X_{2ex}}{\Delta L_2}\right).$$

Разность координат ΔX и ΔY между началом и концом переходной траектории позволяет рассчитать координаты точки начала поворота и момент времени перекладки пера руля для одерживания.

Таким образом, используя экспериментальные данные по циркуляции судна и траектории его одерживания с помощью изложенного способа можно обеспечить выполнение высокоточных поворотов, обеспечивающих безопасное судовождение в стесненных водах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степаненко В.В. Формализация контроля текущей ситуации и принятие решений по ее управлению // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 177 – 184.
2. Алексишин А.В. Использование зоны безопасности судна для снижения аварийности // Судовождение. - 2005. - № 10. - С. 3 – 8.