

**INFLUENCING THE ERROR OF HELM CHANGE OVER ON
EXACTNESS OF SHIP'S TURN****ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕКЛАДКИ ПЕРА РУЛЯ
НА ТОЧНОСТЬ ПОВОРОТА СУДНА****Y.V. Kazak, PhD student****Ю.В. Казак, аспирант***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

Procedure of estimation of change over arising up at ship's turn is considered in the article. It is shown that the error depends both on the error of change over the helm and from the model of ship turning ability.

Analytical expressions of error depending on description of inertia of ship at a turn are obtained.

Keywords: safety of navigation, vector error of ship's turn, substantial factors of vector errors.

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

Одной из наиболее актуальных проблем является проблема обеспечения безопасности судовождения в стесненных районах плавания. Ее решение способствует снижению числа навигационных аварий, которые возникают из-за посадок судов на мель. Число навигационных аварий можно снизить, повысив точность управления судном при выполнении им поворотов, т. е. минимизацией векториальных погрешностей, возникающих после завершения поворота.

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

В работе [1] рассмотрены векториальные погрешности, возникающие при повороте судна. Получены аналитические выражения для погрешностей, которые появляются из-за неточностей при перекладке пера руля и момента начала поворота.

К обсуждаемой теме также имеют отношение вопросы по оценке надежности судовождения в случае, когда судно следует мимо точечных навигационных опасностей, которые рассмотрены в работе [2], а критерий навигационной безопасности предложен в работе [3].

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является исследование влияния погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [1] показано, что при повороте судна векториальная погрешность $S^{(\beta)}$ относительно прогнозируемой точки выхода судна на новый курс может возникать по причине появления погрешности перекладки пера руля $\Delta\beta_k$.

В случае появления погрешности $\Delta\beta_k$ угол кладки пера руля равен $\beta_k + \Delta\beta_k$, и к концу маневра, когда курса судна изменяется с величины K_0 до значения K_y , погрешность $S^{(\beta)}$ определяется величиной отрезка MN между прогнозируемой и реальной точками выхода судна на новый курс, а ее составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ равны [1]:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M \text{ и } S_y^{(\beta)} = y_N - y_M,$$

где x_M и y_M - координаты точки М при наличии погрешности $\Delta\beta_k$;

x_N и y_N - координаты точки N при отсутствии погрешностей.

В работе [4] показано, что динамическая модель вращательного движения судна описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$T_1 \ddot{K} + \dot{K} = k_{\omega} \beta_k,$$

где T_1 - постоянная времени, характеризующая инерционные свойства судна;

β_k - угол кладки руля;

k_{ω} - коэффициент эффективности руля.

Решение приведенного дифференциального уравнения имеет следующий вид:

$$K = K_0 + \omega_r t - T_1 (\omega_r - \omega_0) [1 - \exp(-t/T_1)], \quad (1)$$

где ω_0 и ω_r - соответственно начальное значение угловой скорости поворота и частное решение исходного дифференциального уравнения.

Поворот судна содержит две фазы кладки пера руля. Сначала, на первой фазе, в начальный момент времени производится перекладка руля на угол β_k и руль удерживается в таком положении в течение интервала времени Δt_k . Затем производится перекладка руля на противоположный борт на ту же величину и гасится инерция поворота судна в течение интервала времени Δt , по

истечению которого судно выходит на заданный курс, угловая скорость поворота обращается в нуль, а перо руля приводится в диаметрально плоскость судна.

Найдем выражения для текущего значения курса судна на первой и второй фазах его поворота. На первой фазе поворота, длительность которой составляет интервал времени Δt_k , начальное ω_o и установившееся ω_r значения угловой скорости выражаются следующим образом:

$$\omega_o = 0 \quad \text{и} \quad \omega_r = k_\omega \beta_k = a_\omega.$$

В этом случае выражение (1) приобретает следующий вид:

$$K = K_o + a_\omega \{ t - T_1 [1 - \exp(-t/T_1)] \}. \quad (2)$$

На второй фазе поворота происходит перекладка руля на противоположный борт на угол $-\beta_k$ и в течение интервала времени Δt происходит одерживание судна. Для этой фазы поворота значение текущего курса описывается зависимостью:

$$\tilde{K} = K + a_\omega \{ T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] [1 - \exp(-t/T_1)] - t \}. \quad (3)$$

Для вычисления интервалов времени Δt_k и Δt необходимо составить систему уравнений, которая в общем случае формализует требования поворота на заданное приращение курса ΔK , а также обращение в нуль угловой скорости на момент времени выхода на новый курс и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \Delta K = K(\Delta t_k) + \tilde{K}(\Delta t) \\ \omega(\Delta t_k, \Delta t) = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

С учетом выражений (2) и (3) первое уравнение системы (4) принимает вид:

$$\begin{aligned} \Delta K = a_\omega \{ \Delta t_k - T_1 [1 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] \} + a_\omega \{ T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] \times \\ \rightarrow [1 - \exp(-t/T_1)] - \Delta t \}, \end{aligned}$$

которое позволяет записать выражение для расчета Δt_k методом простых итераций [5 74]:

$$\Delta t_k = T_1 [1 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] + \Delta t - T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] [1 - \exp(-\Delta t/T_1)] + \Delta K / a_\omega \quad (5)$$

с начальным приближением $\Delta t_k = \Delta K / a_\omega$.

В данном выражении для простых итераций следует величину Δt выразить через Δt_k . Для этого воспользуемся вторым уравнением системы (4) и начальными значениями угловой скорости на второй фазе поворота:

$$\omega_o = a_\omega [1 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] , \quad \omega_r = -a_\omega ,$$

что даст:

$$[2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)]^{-1} = \exp(-\Delta t / T_1) .$$

Логарифмируя обе части последнего уравнения, получим:

$$\Delta t = T_1 \ln [2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] .$$

Последнее полученное уравнение позволяет связать переменные Δt_k и Δt , чем обеспечивается итерационное вычисление длительностей каждой из фаз поворота судна, а также длительности поворота τ с одного заданного курса судна на другой.

Координаты точки М определяются выражениями:

$$x_M = \int_0^{\Delta t_k} V_o \sin[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \sin[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt , \quad (6)$$

$$y_M = \int_0^{\Delta t_k} V_o \cos[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \cos[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt , \quad (7)$$

причем в выражениях (2), (3) и (5) применяем $a_\omega = k_\omega \beta_k$.

Аналогично находятся выражения для координат x_N и y_N точки N, только при их расчете по формулам (6) и (7) значение $a_\omega = k_\omega (\beta_k + \Delta \beta_k)$. При расчете координат с помощью (6) и (7) определенные интегралы, которые входят в эти формулы, не выражаются в элементарных функциях и их значения находятся численными методами, например, используется метод Симпсона.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, рассмотрена оценка векториальной погрешности, которая возникает в результате поворота судна. Показано, что величина векториальной погрешности зависит от модели поворотливости судна.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть аналитическое выражение погрешности для других моделей поворотливости судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворохобин И.И. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна/ И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С.

2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т. Кондрашихин - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
3. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Е.Ф. Мельник // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.
4. Вагущенко Л.Л. Судно как объект автоматического управления/ Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОГМА, 2000. – 140 с.