

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПРИНЦИПОВ КУРСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ДВИЖЕНИЕМ СУДНА

Проблема точности управления движением судна приобрела большое значение в связи с увеличением количества судов, их тоннажа, скорости движения, ростом стоимости судов и перевозимых ими грузов. Повышение точности курсового управления – это обеспечение безопасности движения и маневрирования судов в море.

В известных исследованиях вопрос точности курсового управления решался в классе систем управления по отклонению и по возмущению без учета нелинейности типа зоны нечувствительности рулевого устройства, что значительно увеличивало погрешность.

В данной работе дана оценка влияния нелинейности рулевого устройства на точность курсового управления движением судна в классе систем по возмущению и с комбинированным управлением, объединяющим управление по отклонению и по возмущению.

При выполнении маневрирования судна могут быть использованы различные принципы управления движением. При курсовом по возмущению способе управления курс судна назначается с учетом влияния внешних возмущений. Отклонение от намеченного пути возникает за счет неточного знания углов сноса, от действия внешних факторов, поправок приборов указания курса [1], а также из-за нелинейности типа зоны нечувствительности рулевого устройства [2, 3].

Структурная схема курсовым по возмущению способом управления движением судна с учетом нелинейности рулевого устройства приведена на рис. 1, где  $\alpha(t)$  – заданное направление движения судна;  $L(t)$  – внешние возмущающие воздействия (ветер, течение, волнение и т.д.);  $\beta(t)$  – значение текущего курса;  $\theta(t)$  – отклонение текущего значения от заданного направления курса;  $K_1(p)$ ,  $K_2(p)$ ,  $K_3(p)$ ,  $K_4(p)$ ,  $K_L(p)$  – передаточные функции задатчика курса, информационно-управляющего устройства, средства управления, объекта управления, канала возмущения соответственно;  $F(x)$  – нелинейность типа зоны нечувствительности рулевого устройства;  $\Sigma 1$  – элемент сравнения;  $\Sigma 2$  – сумматор.

В соответствии с рис. 1 уравнения элементов системы имеют вид:

$$\begin{aligned}\theta(t) &= \alpha(t) - \beta(t); \\ \beta(t) &= K_4(p) \left[ F(x) - K_L(p) L(t) \right]; \\ x(t) &= K_2(p) K_3(p) \theta(t).\end{aligned}$$

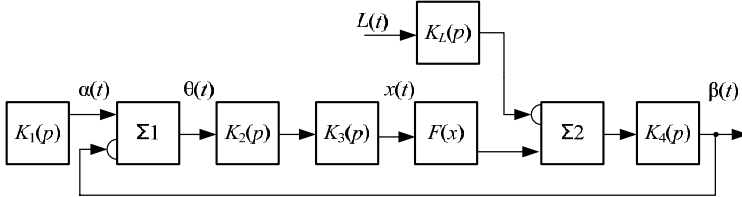


Рис. 1. Структурная схема курсового по возмущению принципа управления движением судна

Нелинейная функция  $F(x)$ , соответствующая нелинейному элементу с зоной нечувствительности

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } |x(t)| \leq b_H; \\ kx(t) - k b_H \operatorname{sign} x(t), & \text{при } |x(t)| \geq b_H, \end{cases}$$

где  $k$ ,  $b_H$  – коэффициент усиления нелинейного элемента на линейном участке характеристики и половина зоны нечувствительности соответственно [4].

Исключая промежуточные переменные и при учете значения нелинейной функции  $F(x)$  ошибки системы равна

$$\theta(t) = \begin{cases} \alpha(t) + K_4(p)K_L(p)L(t), & \text{при } |x(t)| \leq b_H \\ \frac{1}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} \alpha(t) + \frac{K_4(p)kb_H \operatorname{sign} x(t)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} + \\ + \frac{K_4(p)K_L(p)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} L(t), & \text{при } |x(t)| \geq b_H. \end{cases} \quad (1)$$

Из (1) следует, что ошибка системы зависит от уровня сигнала на входе нелинейности. Если  $|x(t)| \leq b_H$ , то система разомкнута и задающее воздействие на выходе системы не воспроизводится; откло-

нение, вызванное возмущающим воздействием, системой не уменьшается. При  $|x(t)| \geq b_H$  ошибка нелинейной системы состоит из трех составляющих:

$$\theta(t) = \theta_\alpha(t) + \theta_H(t) + \theta_L(t), \quad (2)$$

где

$$\theta_\alpha(t) = \frac{1}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} \alpha(t), \quad \theta_H(t) = \frac{K_4(p)kb_H \operatorname{sign} x(t)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k},$$

$$\theta_L(t) = \frac{K_4(p)K_L(p)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} L(t).$$

Приведем выражение для ошибки линейной системы курсового по возмущению управления, приняв  $F(x) = kx(t)$

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \alpha(t) - \beta(t); \\ \beta(t) &= K_4(p)[K_2(p)K_3(p)k\theta(t) - K_L(p)L(t)] \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \frac{1}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} \alpha(t) + \frac{K_4(p)K_L(p)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} L(t) = \\ &= \theta_\alpha(t) + \theta_L(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Сравнение выражений (2) и (3) показывает, что нелинейность (зона нечувствительности) увеличивает ошибку курсового по возмущению принципа управления движением судна на составляющую  $\theta_H(t)$ .

Более совершенным является курсовой комбинированный принцип управления движением судна, который назначается с учетом внешних возмущений и периодически корректируется с учетом определения места судна, изменения параметров внешних воздействий и расположения пункта назначения [1, 5].

При курсовом комбинированном принципе управления нелинейный элемент может быть расположен в замкнутом контуре либо за точкой ввода сигнала связи по возмущающему воздействию (рис. 2), либо до точки ввода сигнала компенсационной связи КС (рис. 3).

В соответствии с рис. 2:

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \alpha(t) - \beta(t); \\ \Sigma(t) &= K_K(p) L(t) + K_2(p) K_3(p) \theta(p); \\ \beta(t) &= K_4(p) [F(\Sigma) - K_L(p) L(t)], \end{aligned}$$

где  $K_K(p)$  - передаточная функция компенсационной связи по возмущению.



$$\theta(t) = \begin{cases} \alpha(t) - K_4(p)[K_L(p) - K_K(p)]L(t), & \text{при } |x(t)| \leq b_n; \\ \frac{1}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} \alpha(t) + \frac{K_4(p)kb_n \operatorname{sign} x(t)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} + \\ + \frac{K_4(p)[K_L(p) - K_K(p)]}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k} L(t), & \text{при } |x(t)| \geq b_n. \end{cases}$$

Проведенный анализ показывает, что наличие нелинейности рулевого устройства при курсовом комбинированном принципе управления приводит к увеличению погрешности системы.

Нелинейность типа зоны нечувствительности рулевого устройства увеличивает ошибку курсового по возмущению принципа управления движением судна на

$$\theta_H(t) = \frac{K_4(p)kb_n \operatorname{sign} x(t)}{1 + K_2(p)K_3(p)K_4(p)k}.$$

При учете нелинейности рулевого устройства в курсовом комбинированном принципе управления движением независимо от месторасположения точки ввода компенсационной связи увеличивается погрешность системы. Таким образом, при  $|x(t)| \geq b_n$  из-за наличия нелинейности в замкнутом контуре нельзя реализовать те возможности повышения точности, которые имеются в комбинированных системах.

В дальнейших исследованиях планируется разработать методику компенсации нелинейности типа зоны нечувствительности рулевого устройства, что будет темой дальнейшего исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов. /Г.Б. Вильский, А.С. Мальцев, В.В. Бездольный, Е.И. Гончаров/ Под ред. А.С. Мальцева, Г.Б. Вильского. – Одесса-Николаев: Феникс, 2007. – 456 с.
2. Харин В.М. Гидравлические рулевые машины: Пособие для судоводителя. – Одесса: Астропринт, 2007. – 208 с.
3. Ткаченко А.Н. Судовые системы автоматического управления и регулирования. – Л.: Судостроение, 1984. – 288 с.
4. Игнатов В.А., Стеклов В.К., Уваров Р.В. Коррекция нелинейных автоматических систем. – К.: Техніка, 1993. – 192 с.
5. Андреев А.И., Львов В.Е. Повышение точности цифровых систем управления инерционными объектами //Судовождение: сб. науч. трудов ОНМА. - Вып. 14. – Одесса: "ИздатИнформ", 2007. – С. 9 - 13.