

**Н. В. ИВАНОВСКИЙ**, канд. техн. наук, КГМТУ, Керчь

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОРСКОГО СУДНА ПО КУРСУ**

В работе рассмотрен вопрос получения закона управления движением морского судна по курсу при наличии внешнего возмущения с неизвестным законом распределения. В качестве методики исследования использовался один из методов робастного управления – скользящий режим.

**Ключевые слова:** морское судно, управление движением, скользящий режим.

**Постановка проблемы.** При движении судно испытывает случайные возмущения, обусловленные ветром, течением, асимметрией в работе винтов и т.д. Эти возмущения носят случайный характер с неизвестным законом распределения, поэтому оценка параметров этих возмущений проблематична. В связи с чем автоматизированная система управления судном может иметь существенные ошибки регулирования. Поэтому исследования направленные на поиск законов управления движением морского судна по заданному курсу с учетом внешних возмущений являются актуальными.

**Анализ последних достижений.** Классические методы управления объектом при наличии случайных возмущений изложены в работах [1,2]. Методы, изложенные в этих работах, предполагают наличие информации о частотном спектре предполагаемого возмущения. В нашем случае оценить параметры возмущения невозможно.

В работе [3] изложены основные методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления объектом при отсутствии информации о предполагаемом возмущении. В данной работе большое внимание уделяется применению нейронных сетей в системах управления. Приводятся примеры построения нейро-регуляторов. Использование нейронной сети в системе управления предполагает обучение этой сети, что вызывает определенные сложности.

**Формулирование целей статьи.** Целью настоящей статьи является разработка закона управления движением морского судна при наличии внешнего возмущения, с неизвестными параметрами. При этом одним из основных условий ставится задача простой реализации этого метода в действующих системах автоматического управления судна. В связи с этим, в качестве основы, была выбрана теория скользящего режима.

### **Изложение основного материала исследования**

Уравнение динамики отклонения управляемого судна от заданного курса (рис. 1) имеет вид [4]

$$J\ddot{x} + h\dot{x} = M_p(\varphi) \quad (1)$$

где  $x$  – угол отклонения оси судна от курса, отсчитываемый по часовой стрелке,  $\varphi$  – угол отклонения руля от нейтрального положения,  $J$  – момент

инерции судна относительно его центра масс,  $h$  – коэффициент момента сил сопротивления вязкой среды,  $M_p$  – вращающий момент, создаваемый поворотом руля.

© Н. В. ИВАНОВСКИЙ, 2012

Следует учитывать, что данная математическая модель описывает реальное движение судна только при относительно малых углах и скоростях, что соответствует наиболее вероятному режиму движения БПС. Следуя [4], будем предполагать, что момент  $M_p$  пропорционален углу:

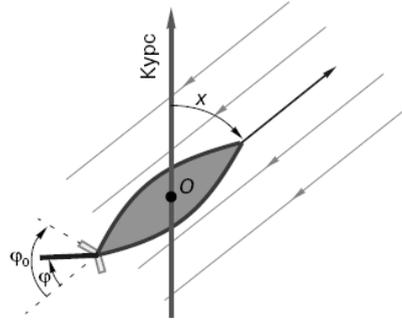


Рис. Расчетная схема модели управления судном

$$M_p = -l\varphi, l > 0 \quad (2)$$

Далее предположим, что движение руля управляется авторулевым по закону реле [4]

$$\varphi = \begin{cases} +\varphi_0, & \text{если } \sigma = \alpha \dot{x} + x > 0 \\ -\varphi_0, & \text{если } \sigma < 0 \end{cases} \quad (3)$$

где  $\alpha$  – некоторый положительный параметр,  $\pm\varphi_0$  – предельные углы поворота руля. Тем самым предполагается, что руль мгновенно переключается в правое крайнее положение, если  $\sigma > 0$ , и в крайнее левое, если  $\sigma < 0$ .

Мы хотим проследить динамику отклонения судна от его курса. Точнее, мы желаем выяснить, как будет вести себя процесс  $x(t)$ , если он подчиняется уравнениям (1)–(3). Систему (1)–(3) можно записать в упрощенном виде

$$\dot{x} + \alpha x = -k\psi \quad (4)$$

$$\psi = \begin{cases} +1, & \text{если } \sigma > 0, \sigma = \alpha \dot{x} + x \\ -1, & \text{если } \sigma < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где обозначено  $\psi = \varphi/\varphi_0$ ,  $a = h/J$ ,  $k = l/J$ .

Как видим, система (4), (5) неопределенна, в законе (5) отсутствует значение  $\sigma = 0$ . Согласно теории скользящего режима фазовая точка системы при  $\sigma \rightarrow 0$  движется вдоль линии  $x + \alpha y = 0$ , где  $\alpha$  некоторый параметр.

Для скользящего режима осредненное решение предельной системы  $\sigma = 0$  удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\dot{\bar{x}} + \alpha \bar{x} = 0,$$

откуда следует, что  $\bar{x}(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$ .

Предположим теперь, что на судно действует внешнее возмущение, момент которого относительно центра масс описывается непрерывной функцией  $F(t)$  (например, ветровое возмущение). Уравнение движения в этом случае примет вид

$$J\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} = -l\psi + F(t) \quad (6)$$

или в упрощенном виде

$$\ddot{\alpha} + a\dot{\alpha} = -k\psi + f(t) \quad (7)$$

где  $f(t) = \frac{1}{J}F(t)$ .

Предположим, что интенсивность возмущения не может превысить некоторое значение, так что

$$|f(t)| \leq C \quad (8)$$

где  $C$  – некоторая константа.

Задача авторулевого морского судна – стабилизировать курс и в этих условиях. Кажется, что это невозможно без измерения и прогноза функции  $f(t)$ . И это будет верно, если иметь в виду классические решения дифференциальных уравнений и обычные режимы. Однако на помощь приходит скользящий режим. Сначала приведем уравнение (7) к виду

$$A\dot{\sigma} + B\sigma = Bx - k\psi + f(t) \quad (9)$$

где

$$\sigma = x + \alpha\dot{\alpha}, \quad A = \frac{1}{\alpha} > 0, \quad B = \frac{a - A}{\alpha} = \frac{a\alpha - 1}{\alpha^2}$$

$$a > \frac{1}{\alpha}, \quad B > 0$$

(10)

Теперь определим алгоритм действия авторулевого:

$$\psi = lx - \Delta\psi, \quad l = \frac{B}{k},$$

(11)

$$\Delta\psi = \frac{C + \Delta C}{k} \varphi(\sigma), \quad \varphi(\sigma) = \begin{cases} +1, & \text{если } \sigma > 0, \\ -1, & \text{если } \sigma < 0, \end{cases}$$

где  $\Delta C$  – произвольное неотрицательное число. Запишем уравнение движения системы (9), (10) в осредненных функциях

$$A\bar{\dot{\sigma}} + B\bar{\sigma} = -(C + \Delta C)\bar{\varphi}(t) + \bar{f}(t). \quad (12)$$

Так как  $f(t)$  – непрерывная функция, то ее осредненное значение  $\bar{f}(t)$  равно ей самой. Из указанных выше свойств осредненной функции  $\Psi$  и из (12) следует

$$\bar{\sigma}(t)\bar{\varphi}(t) = |\bar{\sigma}(t)|$$

(13)

Умножим равенство (12) на  $\sigma(t)$  и проинтегрируем по  $t$  в пределах от  $t = 0$  до  $t = T > 0$ . Тогда с учетом (11), (13) приходим к соотношению

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}A(\bar{\sigma}^2(T)) - \frac{1}{2}A(\bar{\sigma}^2(0)) + B \int_0^T \bar{\sigma}^2(T) dt &= -(C + \Delta C) \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt + \int_0^T f(t) \bar{\sigma}(T) dt \leq \\ &\leq -(C + \Delta C) \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt + C \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt = -\Delta C \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt < 0 \end{aligned}$$

откуда, устремляя  $T \rightarrow \infty$ , получаем (с учетом (10))

$$\sup_t |\bar{\sigma}(t)| \leq |\sigma(0)|$$

$$\int_0^\infty (\bar{\sigma}(t))^2 dt \leq \frac{A}{2B}, \quad \int_0^\infty |\bar{\sigma}(t)| dt \leq \frac{\Delta C}{B}$$

(14)

Соотношения (14), в свою очередь, влекут соотношение  $\bar{x}(t) = x(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$ .

### Выводы

Полученный закон управления движением морского судна по курсу (11), не требует информации о параметрах внешнего возмущения, повышает качественные показатели системы управления и имеет простую реализацию.

**Список литературы:** 1. Березин С. Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С. Я. Березин, Б. А. Тетюев. – Л. : «Судостроение», 1990. – 256 с. 2. Афанасьев В. Н. Математическая теория конструирования систем управления / В. Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов. – М. : «Высшая школа», 1998. – 574 с. 3. Пупков К. А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / К. А. Пупков. – М. : Издательство МГТУ им. Баумана, 2002. – 256 с. 4. Справочник по теории корабля. Под ред. Я. И. Войткунского. Т.3. Управляемость водоизмещающих судов. – Л. : Судостроение, 1985. – 544 с.

УДК 656.6

**Вживання методів робастного управління рухом морського судна по курсу / М. В. Івановський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С.73-76.**

У роботі розглянуто питання здобуття закону управління рухом морського судна по курсу за наявності зовнішнього обурення з невідомим законом розподілу. У якості методики дослідження використовувався один з методів робастного управління – «ковзаючий режим». Лл.: 1. Бібліогр.: 4 назв.

**Ключові слова:** морське судно, управління рухом, ковзаючий режим.

UDK 656.6

**Application of methods robust control traffic of marine ship to on-course / N. Ivanovsky//Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P.73-76**

The question of receipt of law of traffic of marine ship control is in-process considered to on-course at presence of external indignation with the unknown law of distributing. The methods of research one of methods robust control was used is the «sliding mode». Im.: 1: Bibliogr.: 4

**Keywords:** marine ship, traffic control, sliding mode.

*Надійшла до редакції 15.10.2012*