

Синтез систем переменной структуры робастно-оптимальной стабилизации морских подвижных объектов

В.Л. Тимченко¹

Abstract – Procedure for the synthesis of control functions for stabilization of marine mobile objects in the set area of functioning and on the set course of motion has been formed and that are implemented with the special structure of switching feedback loops.

Ключевые слова – переменная структура, робастно-оптимальная стабилизация, морские подвижные объекты

I. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность оптимизации процессов стабилизации для морских подвижных объектов (МПО) обусловлена необходимостью снижения эксплуатационных расходов транспортного флота и повышения безопасности мореплавания и требует дальнейших исследований в области разработки и создания надежных и эффективных систем управления МПО в условиях ограниченных акваторий, так и при выполнении технологических операций в открытом море. Анализ эффективности авторулевых для транспортных судов показывает необходимость проведения дальнейших исследований по совершенствованию и практическому применению судовых систем управления на основе использования методов робастно-оптимального дуального управления [1-4], решающих задачи оптимального и субоптимального управления в условиях неопределенности.

II. СИНТЕЗ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Предлагаемый подход базируется на использовании обратных связей с переменной структурой [5], которые являются одним из прикладных аспектов общего и фундаментального понятия систем с переменной структурой [2] и позволяют решать практические задачи построения оптимальных траекторий для разных критериев оптимальности и вида граничных условий. Данный подход включает следующие основные этапы: планирование оптимальной траектории; определение моментов переключения управляющих функций в цепях обратной связи объекта; синтез управляющих функций в соответствующих цепях обратной связи многомерного объекта. Планирование траектории относительно прямых условий оптимальности для построения траекторий МПО в координатной форме при позитивных значениях производных вектора координат состояния базируется на следующем положении: траектория для заданных граничных условий будет оптимальной по быстродействию при движении с максимально

возможным количеством возможных максимальных значений производных вектора координат состояния, с учетом ограничений на управляющее воздействие, при этом это будет траектория с наибольшим расходом энергии. Уравнения движения МПО в координатной форме будут иметь вид

$$V(t_i^p) = V(t_{i-1}^p) + \dot{V}(t_{i-1}^p)(t_i^p - t_{i-1}^p) + \ddot{V}(t_{i-1}^p) \frac{(t_i^p - t_{i-1}^p)^2}{2} \pm \ddot{\ddot{V}}(t_{i-1}^p) \frac{(t_i^p - t_{i-1}^p)^3}{6}, \quad (1)$$

$$\dot{V}(t_i^p) = \dot{V}(t_{i-1}^p) + \ddot{V}(t_{i-1}^p)(t_i^p - t_{i-1}^p) \pm \ddot{\ddot{V}}(t_{i-1}^p) \frac{(t_i^p - t_{i-1}^p)^2}{2},$$

$$\ddot{V}(t_i^p) = \ddot{V}(t_{i-1}^p) \pm \ddot{\ddot{V}}(t_{i-1}^p)(t_i^p - t_{i-1}^p),$$

где $V(t)$ - вектор координат состояния; $\overset{(k)}{V}(t_{i-1}^p)$ - начальные значения вектора $V(t)$ для i -ого отрезка; t_{i-1}^p - момент переключения управляющих функций.

Для системы уравнений, описывающей динамику МПО с динамическим позиционированием [6,7] в векторно-матричной форме

$$\dot{V}(t) = AV(t) + BU(t), \quad (2)$$

после векторно-матричных преобразований [5] уравнения (2) и применения преобразования Лапласа управляющая функция с учетом заданных начальных условий для траектории вида (1) запишется

$$U(p) = -B^{-1} \{ [(p^3 E + p^2 A + pA^2 + A^3)^{-1} \times [A^4 V(p) - (p^2 B + pAB + A^2 B)U_{0p} - (pB + AB)\dot{U}_{0p} - B\ddot{U}_{0p}] \}.$$

где A , B - матрицы приведенных инерционных и аэрогидродинамических коэффициентов; $U(t)$ - вектор управляющих сил и момента; \ddot{U}_{0p} , \dot{U}_{0p} , U_{0p} - векторы начальных значений управления в момент переключения. Для решения второй задачи дуального управления, которая обусловлена неполной определенностью параметров динамической модели МПО, применяется один из эффективных путей реализации робастных алгоритмов - синтез на основе эталонной модели (рис.1) корректирующего контура управления, который обеспечивает инвариантность системы к неполной информации о параметрах МПО и действию не измеряемых внешних возмущений.

¹ Национальный университет кораблестроения, пр.Героев Сталинграда 9, Николаев, 54025, УКРАИНА, E-mail: vl_timchenko@mail.ru



Рис. 1. Функциональная схема робастной системы управления
Для приближенного уравнения вектора ошибок
робастной системы стабилизации

$$\dot{\tilde{z}}(t) = A\tilde{z}(t) - BU_{\tilde{z}}(t)$$

при выполнении соответствующих условий и матрицах весовых коэффициентов G_1 , G_2

$$G_2\tilde{z}(t) + G_1\dot{\tilde{z}}(t) + \ddot{\tilde{z}}(t) = 0$$

запишем для вектора корректирующих сигналов

$$U_{\tilde{z}}(p) = B^{-1}(pE + A + G_1)^{-1}(A^2 + G_1A + G_2)\tilde{z}(p). \quad (3)$$

Анализ выражений для корректирующих управлений (3) показывает, что инвариантность системы (2) по отношению к рассогласованности параметров динамической модели и реального объекта достигается соответствующим выбором компонентов весовых матриц G_1 и G_2 .

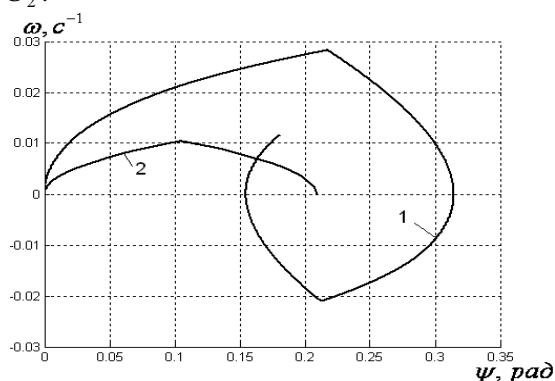


Рис.2. Фазовые траектории движения судна

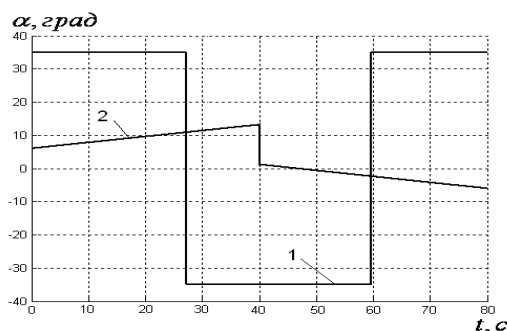


Рис.3. Зависимости угла перекладки руля судна при стабилизации судна

Результаты моделирования процессов стабилизации судна (угловая скорость $\omega(T) = 0$) на заданном курсе $\psi = 0.21 \text{ рад}$ с помощью традиционного ПИД - регулятора (графики 1) и системы с переменной структурой обратных связей (графики 2) представлены на рис.2,3 и демонстрируют для последней системы достижение заданного состояния при заданном времени переходного процесса и значительно меньших углах α перекладки руля.

III. ВЫВОДЫ

В докладе рассмотрена процедура синтеза управляющих функций для многомерных систем, описывающих динамику морских подвижных объектов, на основе систем с переменной структурой обратных связей, а также применение систем с переменной структурой для синтеза робастного корректирующего управления при неполной априорной информации о параметрах математической модели и воздействии не измеряемых возмущений. Приводятся результаты имитационного моделирования, которые демонстрируют эффективность предложенного подхода при сравнительном анализе с традиционными авторулевыми.

СПИСОК ССЫЛОК

- [1] Кунцевич В. М. Синтез робастно-оптимальных систем управления нестационарными объектами при ограниченных возмущениях [Текст] / В. М. Кунцевич // Проблемы управления и информатики. — К., 2004. — №2. — С.19—31.
- [2] Лебедев Д.В. Информационно-алгоритмические аспекты управления подвижными объектами [Текст] / Д. В. Лебедев, А. И. Ткаченко // К.: Наукова думка, 2000.-310 с.
- [3] Емельянов С. В. Новые типы обратной связи [Текст] / С. В. Емельянов, Коровин С. К. // М. Наука. Физматлит., 1997. — 352 с.
- [4] Horowitz I.M. Survey of quantitative feedback theory (QFT) [Текст] / I. M. Horowitz // Int. Journal of Robust and Non-Linear Control. — 2001. — vol.11., №10. — P.887—921.
- [5] Тимченко В. Л. Синтез оптимальных структурно-переключаемых систем управления многомерным объектом под воздействием возмущений [Текст] / В. Л. Тимченко // Научно-прикладной журнал «Техническая электродинамика», тем. выпуск „Проблемы современной электротехники“, ч.2, - Институт электродинамики НАНУ, Киев. 2010. — С. 77—81.
- [6] Лукомский Ю. А. Системы управления морскими подвижными объектами [Текст] / Ю. А. Лукомский, В. С. Чугунов — Л. : Судостроение, 1988. — 272 с.
- [7] Perez T. Kinematic models for maneuvering and seakeeping of marine vessels [Текст] / T. Perez, T. Fossen // J. Modeling, identification and control, Vol. 28, No.1, 2007, PP.19-30.