

# Практическое задание по курсу «Специальные разделы теории автоматического управления»

## 1 Постановка задачи

Рассмотрим линеаризованную модель надводного судна

$$M\ddot{y} + D\dot{y} = \tau + \tau_d, \quad (1)$$

где  $y = [X \ Y \ \Phi]^T$  — вектор координат надводного судна относительно параллельной системы координат, связанной с судном,

$$M = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & -0,5 \\ 0 & -0,5 & 1 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \tau_d = \begin{bmatrix} \tau_{d1} \\ \tau_{d2} \\ \tau_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Выполним моделирование задачи удержания заданного положения в базовой системе координат

$$y_r^b = \begin{bmatrix} X_r^b \\ Y_r^b \\ \Phi_r^b \end{bmatrix},$$

которое на каждом такте преобразуется в систему координат, связанную с судном с помощью

$$y_r = \begin{bmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi & 0 \\ -\sin \Phi & \cos \Phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_r^b \\ Y_r^b \\ \Phi_r^b \end{bmatrix}.$$

Необходимо синтезировать закон управления обеспечивающий выполнение целевого условия для сколь угодно малого  $\epsilon > 0$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\tilde{y}\| \leq \epsilon, \quad (2)$$

где  $\tilde{y} = y(t) - y_r(t)$  — ошибка между выходом объекта  $y(t)$  и референсной траекторией, которая в данном случае задается точкой  $y_r(t) = y_r$ . Точка  $y_r$  для моделирования может быть назначена произвольным образом, однако, стоит обратить внимание, что в дальнейшей экспериментальной апробации точка должна находиться в пределах рабочей области бассейна, которая составляет  $[1920 \times 840]px$ , при этом предпочтительнее располагать ее ближе к центральной области.

## 2 ПИД-регулятор

Временно допустим, что судно не подвержено влиянию внешних возмущений, т.е.  $\tau_d = 0$ .

Требуется провести численное моделирование замкнутой системы управления на базе ПИД-регулятора в режиме стабилизации в точке с обеспечением цели управления 2.

Затем требуется ослабить принятое допущение и произвести повторное моделирование при наличии статического внешнего возмущения  $\tau_d \neq 0$ . Необходимо построить графики переходных процессов и проанализировать полученные результаты.

### 3 Последовательный компенсатор

Выберем закон управления на основе метода последовательного компенсатора

$$u(t) = \mu_i(\dot{\xi}_i + \xi_i), \quad (3)$$

$$\dot{\xi}(t) = \sigma_i(-\xi_i + e_i), \quad (4)$$

где  $\mu_i, \sigma_i, i = x, y, \psi$  настраиваемые коэффициенты регулятора, которые могут быть выбраны, не основываясь на знании параметров объекта.

Аналогично процедуре анализа системы управления на базе ПИД-регулятора провести анализ системы на базе последовательного компенсатора, принимая допущение об отсутствии возмущений и его дальнейшее ослабление.

### 4 Управление на основе наблюдателя с высоким коэффициентом усиления

Рассмотрим систему управления на основе наблюдателя с высоким коэффициентом усиления

$$\dot{\hat{\xi}} = A_o \hat{\xi} + B_o \tilde{y}, \quad (5)$$

где

$$A_o = \begin{bmatrix} -\kappa C_2 & I \\ -\kappa^2 C_1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_o = \begin{bmatrix} \kappa C_2 \\ \kappa^2 C_1 \end{bmatrix},$$

где  $I \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  — единичная матрица,  $C_1, C_2 \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  — положительно определенные матрицы такие, что матрица

$$\begin{bmatrix} -C_2 & I \\ -C_1 & 0 \end{bmatrix}$$

гурвицева,  $\kappa > 0$  — высокий коэффициент усиления.

Закон управления задается в виде

$$\hat{u}_s = \text{sat}_L(K\hat{\xi}), \quad (6)$$

где  $\text{sat}_L(\cdot)$  — гладкая функция насыщения с ограничениями  $\pm L$ ,  $\hat{\xi}$  — состояние наблюдателя,  $K \in \mathbb{R}^{3 \times 6}$  — матрица настраиваемых коэффициентов.

Аналогично процедуре анализа системы управления на базе ПИД-регулятора и последовательного компенсатора провести анализ системы на основе наблюдателя с высоким коэффициентом усиления, принимая допущение об отсутствии возмущений и его дальнейшее ослабление.

### 5 Компенсация возмущений

Для компенсации статических внешних возмущений в состав регулятора может быть введен дополнительный интегральный контур. Требуется провести анализ работоспособности модифицированных таким образом регуляторов.

### 6 Экспериментальная апробация

Как правило, после анализа результатов, полученных в ходе численного моделирования, и оценки эффективности синтезированной системы управления необходимо провести экспериментальную апробацию алгоритма. В рамках данной работы требуется произвести серию опытов на лабораторной установке для моделирования движения надводного судна для оценки работоспособности изученных методов управления.