

УДК 681.3

А.М. Мендельсон (асп. каф. АиВТ), Д.Н. Колесников, д.т.н., проф.

### ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА БИРДА

Фильтр Бирда представляет собой так называемый обнаруживающий фильтр, в основе которого лежит структура наблюдателя Люенбергера, и матрица обратных связей выбирается таким образом, чтобы максимально упростить решение задачи обнаружения и локализации неисправных датчиков и приводов в объекте управления.

Рассмотрим непрерывный стационарный объект, динамика которого описывается обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями в пространстве состояний

$$\begin{cases} X'(t) = A \cdot X(t) + B \cdot U(t) \\ Y(t) = C \cdot X(t) \end{cases}$$

и построим для него устройство диагностирования на основе фильтра Бирда, положив матрицу  $C$  единичной:

$$\begin{cases} \hat{X}'(t) = -\alpha \cdot \hat{X}(t) + (\alpha \cdot E + A) \cdot Y(t) + B \cdot U(t) \\ \hat{Y}(t) = \hat{X}(t) \end{cases} \quad (1)$$

Полученный фильтр позволяет сравнительно просто обнаруживать и локализовывать константные неисправности датчиков и приводов.

Для фильтра Бирда важно оговорить выбор параметра  $\alpha$ . В литературе предлагается выбирать  $\alpha$  больше, чем максимальное по абсолютной величине собственное число матрицы  $A$  коэффициентов, характеризующих динамику объекта диагностирования. Это вызвано тем, что переходные процессы в фильтре должны протекать быстрее, чем в объекте диагностирования. Такая постановка задачи, во-первых, не дает ответа на вопрос о конкретном значении параметра  $\alpha$ . Во-вторых, величина элементов вектора невязки, по пропорциональности которого тому или иному столбцу матрицы  $A$  или  $B$  судят о месте дефекта, будет тем меньше, чем больше  $\alpha$ , и тем труднее будет локализовать дефект.

В связи с этим интересным представляется вопрос разработки обоснованного алгоритма выбора параметра  $\alpha$  с точки зрения эффективности диагностирования. Для этого рассмотрим совместно режимы отсутствия и наличия дефектов.

В режиме отсутствия дефектов необходимо, чтобы невязки между выходами объекта диагностирования (ОД) и фильтра Бирда, вызванные различными начальными условиями, с течением времени уменьшались и вошли в заданный коридор за заданное время. Данное требование выражается следующим уравнением:

$$t = -\frac{1}{2\alpha} \ln \frac{\delta}{\sum_{i=1}^n C_i^2} \leq \tau_{\text{ло.зад}}, \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{ло.зад}}$  - заданное допустимое время переходного процесса.

В случае дефекта  $j$ -го привода невязки будут определяться в соответствии со следующим выражением:

$$\Delta_i = \frac{v}{\alpha} b_{ij} (1 - e^{-\alpha \tau_{\text{обн}}}).$$

В этом случае необходимо, чтобы невязки между выходами ОД и фильтра Бирда (1), вызванные появлением дефекта, вышли из заданного коридора за минимально возможное заданное время. Данное требование описывается следующим выражением:

$$t = -\frac{1}{\alpha} \ln \left( 1 - \frac{\alpha}{|v|} \sqrt{\frac{\delta}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}} \right) \leq \tau_{\text{обн.зад}} \cdot \quad (3)$$

В случае дефекта  $j$ -го датчика требование (3) приобретает следующий вид:

$$t = -\frac{1}{\alpha} \ln \left( 1 - \frac{\alpha}{|v|} \sqrt{\frac{\delta}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}} \right) \leq \tau_{\text{обн.зад}} \cdot \quad (4)$$

Объединяя (3) и (4) и ориентируясь на худший случай, получаем:

$$t = -\frac{1}{\alpha} \ln \left( 1 - \frac{\alpha}{|v|} \sqrt{\frac{\delta}{\max \left\{ \sum_{i=1}^n a_{ij}, \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad \forall j \right\}}} \right) \leq \tau_{\text{обн.зад}} \cdot \quad (5)$$

Рассматривая совместно соотношения (2) и (5), сформулируем задачу нелинейного программирования для определения параметра  $\alpha$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \left( -\frac{1}{2\alpha} \ln \frac{\delta}{\sum_{i=1}^n C_i^2} \right) \\ -\frac{1}{\alpha} \ln \left( 1 - \frac{\alpha}{|v|} \sqrt{\frac{\delta}{\max \left\{ \sum_{i=1}^n a_{ij}, \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad \forall j \right\}}} \right) \leq \tau_{\text{обн.зад}} \end{array} \right. \quad (6)$$

Задаваясь допустимым временем обнаружения, можно решая (6) определить искомое значение  $\alpha$ .

В работе приведен анализ предложенного подхода и рассмотрено его функционирование на примере следящей системы управления курсом судна.