

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ УСТРОЙСТВА ОРИЕНТАЦИИ ДВИЖИТЕЛЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

**Введение.** Часто при синтезе системы управления у разработчика нет полных данных не только о параметрах математической модели объекта управления (ОУ), но и о самом виде этой математической модели. Примером такого ОУ является устройство ориентации движителя подводного аппарата. Это устройство представляет собой параллельный сферический манипулятор (рис.1), в котором с помощью трех электроприводов обеспечивается заданная ориентация подвижной платформы с закрепленным на ней винтом

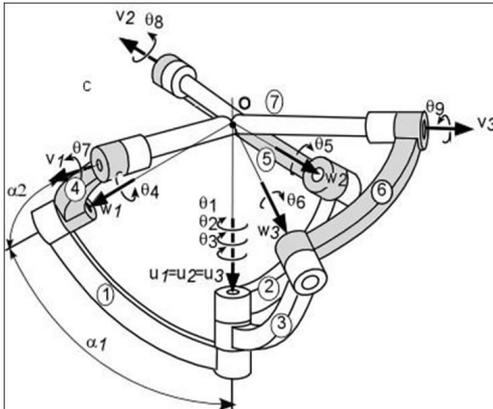


Рис. 1. Сферический параллельный манипулятор

двигателя подводного аппарата [1]. В качестве приводов ориентации используются цифровые вентильные приводы постоянного тока, причем в качестве датчиков обратной связи используются только шифраторы относительных приращений (энкодеры). Для качественного выполнения задач управления подводным аппаратом система управления приводами устройства ориентации движителя должна обеспечивать высокую точность управления в следящем режиме. Кроме того, перегулирование при отработке задающих сигналов должно отсутствовать, чтобы исключить соударения подвижных звеньев устройства между собой. Основную сложность для синтеза указанной системы управления представляет отсутствие априорно заданной математической модели динамики рассматриваемого устройства ориентации. Кроме того, исследования показывают, что в данном ОУ значительное влияние оказывают статические моменты трения, существенная нелинейность характеристики которых не позволяет

стандартными средствами построить адекватную модель динамики объекта управления.

**Постановка задачи.** Таким образом, в данной работе ставится и решается задача синтеза системы управления, обеспечивающей высокое качество управления приводами ориентации параллельного манипулятора. Эта задача разбивается на две подзадачи. На первом этапе необходимо провести идентификацию математической модели динамики приводов с учетом влияния нелинейности. А на втором этапе уже с помощью полученной модели синтезировать систему управления.

**Идентификация динамической модели приводов ориентации.** Идентификация динамической модели приводов ориентации производилась в среде MATLAB с помощью пакета программы System Identification Toolbox. Указанный пакет позволяет построить линейную математическую модель на основе выборок данных, снятых с входа и выхода ОУ. Очевидно, что в случае, когда объект управления содержит существенную нелинейность, невозможно подобрать линейную модель, с достаточной точностью описывающую его динамику. В этом случае предлагается подход, заключающийся в разделении модели ОУ на линейную и нелинейную части. Сначала по виду снятых характеристик определяются параметры нелинейности. После этого происходит компенсация этой нелинейности, и снимаются новые данные, по которым уже строят линейную часть модели привода.

На рис. 2 показан пример данных, снятых с входа и выхода привода ориентации, из которого видно, что в приводе присутствует существенная нелинейность, обусловленная наличием момента сухого трения (эта нелинейность на графике выглядит как зона нечувствительности на кривой 2). Структурная схема модели привода ориентации, построенная на основании полученных данных, показана на рис. 3.

Компенсация нелинейной характеристики момента сухого трения производится с помощью выражения:

$$u = u^* + u_k, u_k = \begin{cases} u_{ст} \cdot \text{sign}(u^*), & \text{если } |u^*| > \delta \\ 0, & \text{если } |u^*| \leq \delta \end{cases}, \quad (1)$$

где  $u^*$  - задающий сигнал,  $u$  - сигнал, поступающий на вход привода,  $u_{ст}$  - значение момента сухого трения, приведенное к входу системы,  $\delta$  - некоторая малая величина. При компенсации момента сухого трения вводится небольшая зона нечувствительности  $\delta$  для того чтобы, обеспечить нулевой сигнал, поступающий на вход привода, при нулевом задающем сигнале.

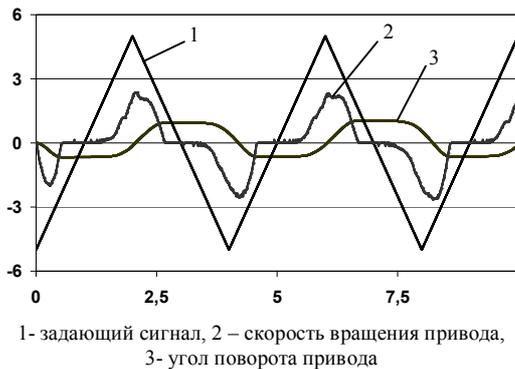


Рис. 2. Данные, снятые с привода при идентификации его математической модели

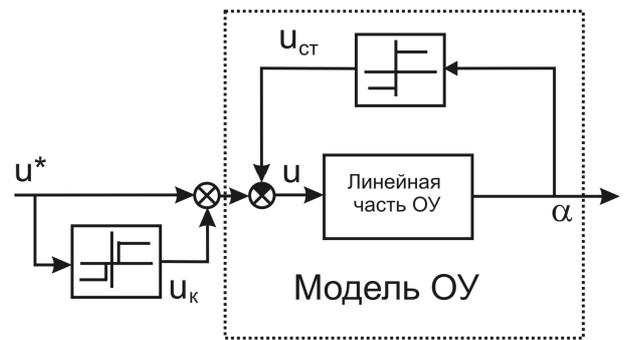


Рис. 3. Структурная схема модели ОУ и компенсации нелинейности

В результате после компенсации нелинейности для каждого привода ориентации параллельного манипулятора были получены следующие описания линейных частей их моделей:

$$W_1 = \frac{1.8851}{(0.07s + 1)s}, W_2 = \frac{1.6215}{(0.082s + 1)s}, W_3 = \frac{1.601}{(0.098s + 1)s}. \quad (2)$$

**Система управления приводами ориентации.** Так как математические модели, полученные в процессе идентификации динамики приводов, являются приближенными, то для обеспечения высокого качества функционирования устройства ориентации необходимо синтезировать такую систему управления, которая была бы нечувствительна к отклонениям параметров объекта управления от параметров модели. Примером систем управления такого класса являются самонастраивающиеся системы с эталонными моделями. Для синтеза такой системы управления воспользуемся подходом, предложенным в работе [2]. Согласно этому подходу система управления разбивается на две части: нелинейный регулятор, обеспечивающий желаемые динамические свойства ОУ при его номинальных параметрах, и контур самонастройки, позволяющий компенсировать изменения параметров ОУ в процессе его функционирования.

Применив указанный подход, получим выражения, описывающие систему управления первым приводом устройства:

$$u = 0.58(\alpha^* - \alpha) + 0.44\dot{\alpha} + u_{ст} + 0.18 \cdot \text{sign}(\alpha_m - \alpha), \quad (3)$$

где  $\alpha^*, \alpha$  - желаемое и текущее значения угла поворота привода соответственно,  $\alpha_m$  - выход эталонной модели, которая описывается уравнением  $0.064\ddot{\alpha}_m + 0.16\dot{\alpha}_m + \alpha_m = \alpha^*$ . Последнее слагаемое в выражении (3) позволяет компенсировать отклонения параметров реальной модели привода от модели, полученной по данным, снятым с его входа и выхода. Законы управления остальными приводами выглядят аналогично.

Результаты проведенных экспериментов показали, что ошибка слежения при подаче типового задающего сигнала лежит в пределах  $0.2^\circ$ , то есть величина этой ошибки не превышает ошибку измерения энкодеров.

**Выводы.** Таким образом, в работе была синтезирована система управления приводами устройства ориентации движителя подводного аппарата, позволяющая обеспечить высокие показатели качества его функционирования. При этом для синтеза указанной системы управления была произведена идентификация математической модели приводов ориентации с учетом основных нелинейностей, присутствующих в этих приводах.

#### Литература.

1. Cavallo E., Michelini R., Filaretov V.F. Conceptual design of an AUV equipped with a three degrees of freedom vectored thruster // Int. Journal. Intelligent and Robotic Systems. – 2004. - Vol. 39, pp. 365 - 391.
2. Филаретов В. Ф., Лебедев А. В., Юхимец Д. А. Синтез и исследование самонастраивающейся системы управления движителями подводного аппарата // Изв. ВУЗов. Электромеханика. - 2000. - № 4. – С. 60 – 64.