

Я.О. АНИСИМОВ<sup>1</sup>, Д.А. КАЦАЙ  
(Южно-Уральский Государственный Университет, Челябинск)

## УПРАВЛЕНИЕ ТРЕХОСНЫМ ИНДИКАТОРНЫМ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

*Рассматривается задача оптимального выбора параметров нейронной сети, применяемой в контуре обратной связи трехосного индикаторного стабилизатора. В качестве критерия оптимальности выбраны параметры переходного процесса замкнутой системы. Приводятся результаты численного моделирования.*

### Введение

Известно, что при помощи многослойной нейронной сети может быть интерполирована любая гладкая функция [3]. Примером такой гладкой функции могут служить функции зависимости переменных состояния гиростабилизатора или управляющего воздействия от времени. Однако открытым остается вопрос об оптимальном соотношении параметров нейронной сети работающей в качестве устройства управления.

В связи с этим, настоящая работа посвящена выявлению зависимости между характеристиками переходного процесса, и структурой нейронной сети, используемой в качестве устройства управления индикаторного гиростабилизатора.

### Разработка нейросетевого устройства управления для гиростабилизатора

Рассматривается трехосная стабилизированная платформа, состоящая из наружной рамки 1, промежуточной рамки 2 и внутренней рамки или платформы 3 (рисунок 1). На платформе установлен блок инерциальных чувствительных элементов (БИЧЭ) 4, состоящий из трех индикаторных гироскопов. По осям стабилизации платформы установлены датчики момента (ДМ) 5 для компенсации возмущающего воздействия. Движение платформы в окрестности нуля можно описать следующей системой линейных дифференциальных уравнений[2]:

---

<sup>1</sup> Научный руководитель к.т.н. Кацай Д.А.

$$\begin{aligned}
A_1 \ddot{\alpha}_1 - \frac{(J_{xp} - J_{yp})}{2} \ddot{\alpha}_2 \cos \alpha_2 \sin 2\alpha_2 + h \dot{\alpha}_1 + M_{c1} &= M_1; \\
A_2 \ddot{\alpha}_2 - \frac{(J_{ye} - J_{xe})}{2} \ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_2 \sin 2\alpha_2 + h \dot{\alpha}_2 + M_{c2} &= M_2; \\
A_3 \ddot{\alpha}_3 - J_{ze} \ddot{\alpha}_1 \sin \alpha_3 + h_3 \dot{\alpha}_3 + M_{c3} &= M_3; \\
A_1 &= J_{ye} + J_{ym} \cos^2 \alpha_2 + J_{zm} \sin^2 \alpha_2 + J_{ye} \cos^2 \alpha_2 \cos^2 \alpha_3 + J_{xp} \cos^2 \alpha_2 \sin^2 \alpha_3; \\
A_2 &= J_{xm} + J_{xp} \cos^2 \alpha_3 + J_{yp} \sin^2 \alpha_3; \\
A_3 &= J_{zp};
\end{aligned} \tag{1}$$

где  $A_i$ ,  $i=1,2,3$  - приведенные моменты инерции наружной, промежуточной и внутренней рамок относительно осей стабилизации;  $M_i$ ,  $i=1,2,3$  - возмущающие моменты по осям стабилизации наружной, промежуточной и внутренней рамок;  $M_{ci}$ ,  $i=1,2,3$  - управляющие моменты по осям стабилизации наружной, промежуточной и внутренней рамок;  $\alpha_i$ ,  $i=1,2,3$  - углы повтора наружной, промежуточной и внутренней рамок;  $J_{xm}, J_{ym}, J_{zm}, J_{xe}, J_{ye}, J_{ze}, J_{xp}, J_{yp}, J_{zp}$  моменты инерции промежуточной, наружной и внутренней рамок;  $h$ - коэффициент демпфирования платформы.

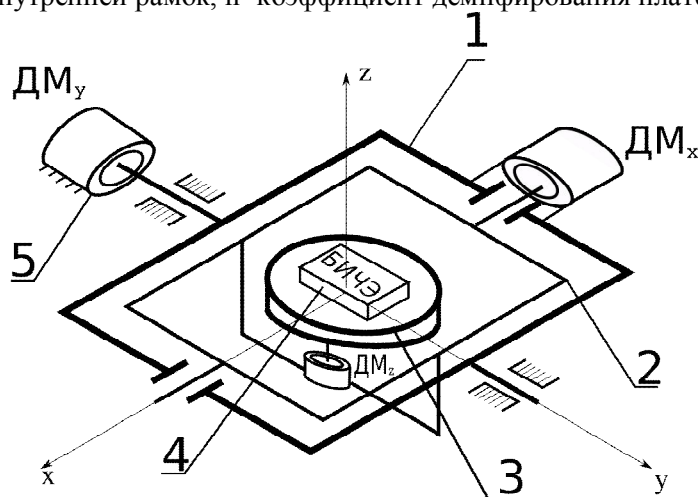


Рис. 1. Кинематическая схема трехосного гиросtabilизатора

1-наружная рамка, 2- промежуточная рамка, 3- платформа, 4- блок инерциальных чувствительных элементов, 5- датчик момента

Предполагается, что измерению доступны только сигналы с датчиков первичной информации чувствительных элементов  $\beta_i$ ,  $i=1,2,3$ , каждый из которых пропорционален движению платформы относительно соответствующей оси стабилизации.

Рассматривается задача формирования управляющего момента  $M_{ci}$ , необходимого для компенсации возмущающего момента  $M_i$  по оси стабилизации. Особенность синтеза подобного управления заключается в том,

что между каналами гиросtabilизатора существуют перекрестные связи. Предполагается формировать управление гиросtabilизатором по закону  $M_{c.i} = g(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ , где  $g$ , в общем случае, нелинейное динамическое звено, находящееся в контуре обратной связи. При этом ставится ограничение на величину максимальной динамической ошибки, которая не должна превышать 100 угловых минут. В качестве динамического звена могут выступать [1]:

- корректирующее звено;
- наблюдающее устройство с регулятором;
- нейронная сеть.

В случае использования первых двух вариантов требуется наличие полной и, по возможности, максимально точной математической модели объекта, что не всегда выполнимо. При использовании аппарата нейронных сетей возможно уменьшение требований к точности математической модели.

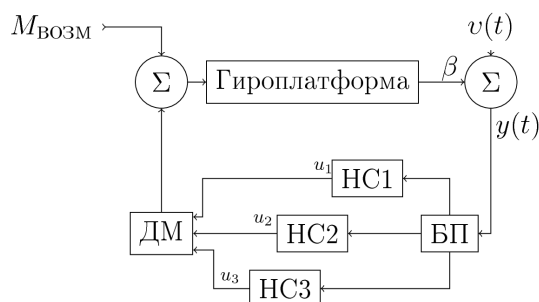


Рис. 2 Структура схемы управления

НС- нейронная сеть; БП- блок памяти;  $M_{возм}$ - возмущающий момент  
у-сигнал, снимаемый с гироскопов;и-сигнал, подаваемый на двигатели

Предлагается следующая схема управления гиросtabilизатором. С БИЧЭ снимается сигнал, пропорциональный углам отклонения платформы и подается в блок памяти, на выходе которого формируется вектор, содержащий текущее и несколько предыдущих значений вектора  $y$ . Сформированные таким образом измерения поступают на вход каждой нейронной сети. Сигналы с выходов нейронных сетей, подаются на двигатели стабилизации, которые развивают моменты, уравнивающие возмущающие воздействия.

В качестве базовой структуры управляющего устройства выберем многослойную нейронную сеть (“многослойный персептрон”). Математическая модель такой сети описывается уравнением [3]:

$$u_i = f^{(2)}(W^{(2)}(f^{(1)}(W^{(1)}[y_i(k), y_i(k-1), \dots, y_i(k-m)]^T + b^{(1)}) + b^{(2)}). \quad (2)$$

где  $W^{(j)}$  - матрица весов  $j$ -го слоя нейронной сети,  $b^{(j)}$  - вектор смещения  $j$ -го слоя нейронной сети,  $f^{(j)}$  - функция активации  $j$ -го слоя нейронной сети,  $y_i(k)$  - текущее значения измеренной компоненты состояния,  $u_i$  - выходной вектор нейронной сети,  $m$  - глубина рекурсии.

Данная модель обладает следующими преимуществами:

- простота реализации;
- устойчивость нейронной сети.

В рассматриваемой схеме обучающая выборка может быть сформирована

при следующем допущении: все переменные состояния гиросtabilизатора, к которым относятся  $\alpha_i, \dot{\alpha}_i, i = 1, 2, 3$ , наблюдаемы. В составе контура обратной связи эталонной системы используется линейный регулятор по состоянию, рассчитанный модальным методом. Сигнал на выходе регулятора будет желаемым значением для выхода обучаемой нейронной сети. В качестве входа для нейронной сети используется вектор, снимаемый с БП.

Для обучения применяется алгоритм Левенберга-Марквардта, который по сравнению с алгоритмом обратного распространения, алгоритмом Ньютона и другими, может обеспечить равномерное уменьшение целевой функции обучения на протяжении всего периода обучения.

### Результаты моделирования

Для выявления зависимости между параметрами нейронной сети и характеристиками переходного процесса в системе стабилизации платформы было синтезировано множество различных нейронных сетей, характеристики которых - число предыдущих значений значение вектора  $y$ , подаваемых на вход нейронной сети ( $k$ ), количество нейронов в первом ( $n_1$ ) и втором ( $n_2$ ) скрытом слоях изменялись в диапазоне от 4 до 10 элементов. Функции активации в скрытых слоях сигмоидальные, а в выходном слое применялась линейная функция активации.

Полученные в результате нейронные сети можно разбить на три группы: неустойчивые, формально устойчивые и устойчивые.

- **К неустойчивым** относятся нейронные сети, при использовании которых переходный процесс неустойчивый.

- **К формально устойчивым** относятся нейронные сети, при использовании которых переходный процесс устойчивый, но его параметры не удовлетворяют требуемым.

- **К устойчивым** относятся нейронные сети, при использовании которых переходный процесс устойчивый и параметры этих процессов соответствуют требуемым значениям. В данную группу попали сети, при использовании которых переходные процессы устойчивые, либо находятся на границе устойчивости, при максимальной динамической ошибке не превышающей 100 угл. мин

В результате проведенного моделирования были получены данные, приведенные в таблице 1, в которой представлены значения максимальной динамической ошибки ( $\alpha_{\max}$ ), ошибки стабилизации в установившемся режиме ( $\bar{\alpha}$ ) и время ( $T$ ) наступления установившегося режима в зависимости от параметров нейронной сети. Значение  $T = \infty$  отражает факт того что система находится на границе устойчивости

Из таблицы видно, что минимальное значение максимальной динамической ошибки стабилизации и ошибки в установившемся режиме достигается при следующей структуре базовой нейронной сети: 7 элементов на входе, 6 и 4 нейронов в скрытых слоях. Увеличение количества элементов  $k$  на входе приводит к увеличению максимального и установившегося значения ошибки стабилизации. Данный факт можно объяснить исходя из того, что увеличение количества входных элементов приводит увеличению задержки входного сигнала нейронной сети, и как следствие к повышению колебательности всей замкнутой системы.

Также из таблиц видно, что наибольшим быстродействием обладает нейронная сеть содержащая 5 элементов на входе, 9 и 5 нейронов в скрытых слоях. Обнаружено, что увеличение глубины памяти приводит к увеличению времени переходного процесса.

Таблица 1. Зависимость параметров переходного процесса от параметров нейронной сети

$\alpha_{\max}$ , угл.мин.	17.1	15.3	5.8	5.9	5.4	7.2	7.5	7.6	8.7	7.7	5.2
$\bar{\alpha}$ , угл.мин.	14.3	12.7	4.8	5.0	1.3	5.0	5.7	6.1	8.5	5.8	4.4
T, такт	288	198	115	142	$\infty$	$\infty$	266	182	67	279	$\infty$
k	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6
$n_1$	4	6	7	10	7	7	7	9	9	4	6
$n_2$	7	10	5	8	5	8	10	4	5	5	8
$\alpha_{\max}$ , угл.мин.	4.9	6.3	5.6	7.1	5.5	7.3	13.9	15.1	8.3	6.3	5.4
$\bar{\alpha}$ , угл.мин.	3.7	4.4	4.3	2.4	4.3	4.9	9.4	14.9	5.9	-0.2	3.3
T, такт	$\infty$	$\infty$	730	$\infty$	184	837	420	137	910	$\infty$	$\infty$
k	6	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8
$n_1$	10	4	6	6	7	9	9	4	4	7	7
$n_2$	10	6	4	5	8	5	9	7	8	4	6
$\alpha_{\max}$ , угл.мин.	6.5	6.4	5.7	11.9	9.9	8.1	5.7	7.7	6.4	11.9	48.3
$\bar{\alpha}$ , угл.мин.	2.8	2.3	4.3	9.9	7.1	6.0	4.3	5.9	4.7	8.3	48.3
T, такт	$\infty$	$\infty$	270	198	202	292	298	230	261	435	595
k	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10
$n_1$	10	4	5	5	6	8	4	5	6	7	7
$n_2$	6	5	7	9	10	4	10	4	8	6	8

### Заключение

В рамках проведенной работы выявлены зависимости основных характеристик переходного процесса трехосного индикаторного гиросtabilизатора от параметров многослойной нейронной сети, используемой в контуре обратной связи в качестве устройства управления. Результаты, полученные в ходе численного моделирования замкнутой системы, позволили определить границы изменения параметров нейронной сети при синтезе обратной связи гиросtabilизатора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов Я.О., Кацай Д.А. Подходы к синтезу гиросtabilизатора с нейронной сетью.// Научный поиск: материалы второй научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. Челябинск: издательский центр ЮУрГУ, 2010.
2. Лысов А.Н., Лысова А.А. Теория гироскопических стабилизатор. Учебное пособие. —

Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

3. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации. — М.: ИПРЖР, 2000.

4. **Хайкин С.** Нейронные сети. Полный курс. М.: Вильямс изд. — 2006