



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

II Международная научная конференция
по проблемам управления в технических
системах (ПУТС-2017)

ПРЯМОЕ АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛЕДЯЩИМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МАКЕТА ОСИ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО
УСТРОЙСТВА ТЕЛЕСКОПА ПРИ НАЛИЧИИ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Галина Демидова, Дмитрий Лукичев, Вера Артемова

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Кафедра Электротехники и Прецизионных Электромеханических Систем



СОВРЕМЕННЫЕ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Космодром «Восточный». Слежение за запуском ракетаносителя "Союз-2.1a"



0,2 звёздной величины.



В максимальной комплектации российские лазерные станции имеют в своём составе четыре измерительных канала: дальнометрический, угломерный, фотометрический и адаптивный для получения детальных изображений КА. Кроме того, в составе станций

имеется метеопаратура, предназначенная для определения параметров атмосферы и коррекции результатов измерений по условиям распространения сигналов, аппаратура единого времени, обеспечения электропитания, безопасности информации и укрытия.



Решаются следующие задачи:

- Дальнометрическая информация используется для высокоточного определения параметров орбит и координат наземных пунктов в общеземной геоцентрической системе координат, а также для контроля целевых характеристик и координатно-временного обеспечения ГНС ГЛОНАСС;
- угломерная информация используется для определения орбит космических объектов, в том числе при выведении высокоорбитальных КА на орбиту, а также для реализации однопунктовой схемы (вместе с дальностью) навигационно-баллистического обеспечения полётов;
- фотометрическая информация используется для оценки параметров ориентации КА;
- видовая информация (детальные изображения) используется для распознавания КА и оценки его развёртывания.

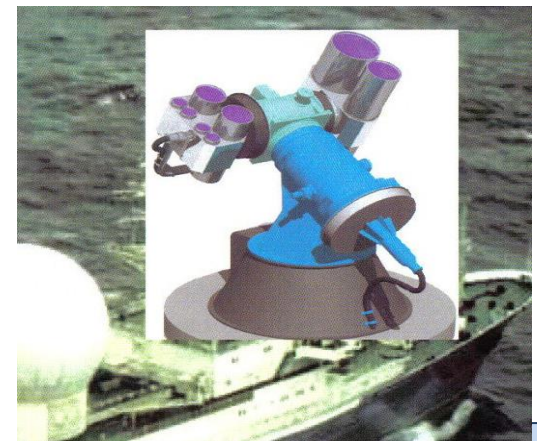
ОСОБЕННОСТИ ТЕЛЕСКОПОВ:

- Вращающиеся массы - от нескольких десятков килограммов до нескольких десятков тонн;
- Несовершенство конструкции (люфт, смещение центра масс, высокие значения моментов сопротивления, неравномерность момента);
- Низкая резонансная частота – единицы Гц.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ:

- Высокая точность – единицы угл.сек.;
- Равномерное движение без автоколебаний;
- Широкий диапазон скоростей слежения – единицы угл.сек/сек. до единиц угл.град./сек;
- Высокие значения ветровой нагрузки.

Цель исследования – повышение точности позиционирования и слежения с применением прямого адаптивного управления положением оси телескопа



ДВУХМАССОВЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ СТЕНД

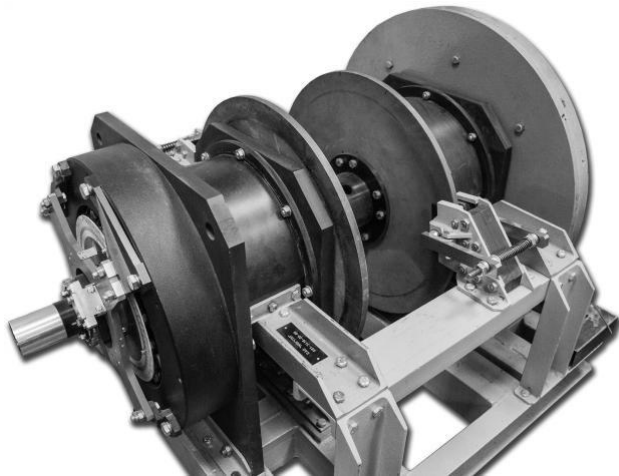


Рис. 1. Электромеханический лабораторный стенд (ЭМС)

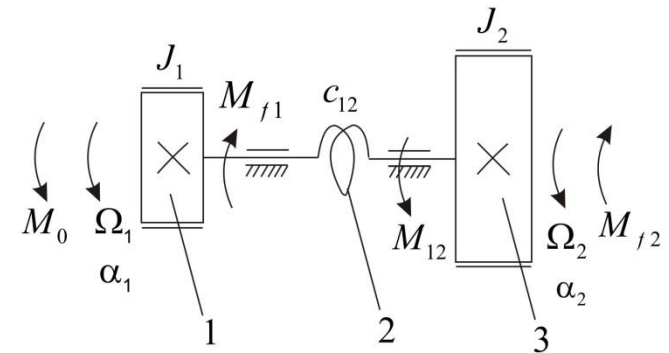


Рис. 2. Расчетная кинематическая схема

ТАБЛИЦА I. Данные двигателя Рухсервомотор RSM-T-36-275-25-C-BS

p	Количество пар полюсов	24
R_s	Сопротивление статора	1.2 [Ом]
T_e	Электромагнитная постоянная времени	8 [мс]
K_e	back EMF constant	3.58 [В·с/рад]
K_m	Постоянная по моменту	5.37 [Н·м/А]

M_{f1}, M_{f2} - моменты

сопротивлений

M_d – демпфирующий момент

M_{12} – момент упругих сил

Математическая модель двигателя с нагрузкой

$$\begin{cases} (1 + T_e s) M_0 = \beta (\Omega_0 - \Omega_1) \\ J_1 s \Omega_1 = M_0 - M_{12} - M_{f1} \\ \Omega_1 = s \alpha_1 \\ M_{12} = c_{12} (\alpha_1 - \alpha_2) + k_d (\Omega_1 - \Omega_2) \\ J_2 s \Omega_2 = M_{12} - M_{f2} \\ \Omega_2 = s \alpha_2 \end{cases} \quad (1)$$

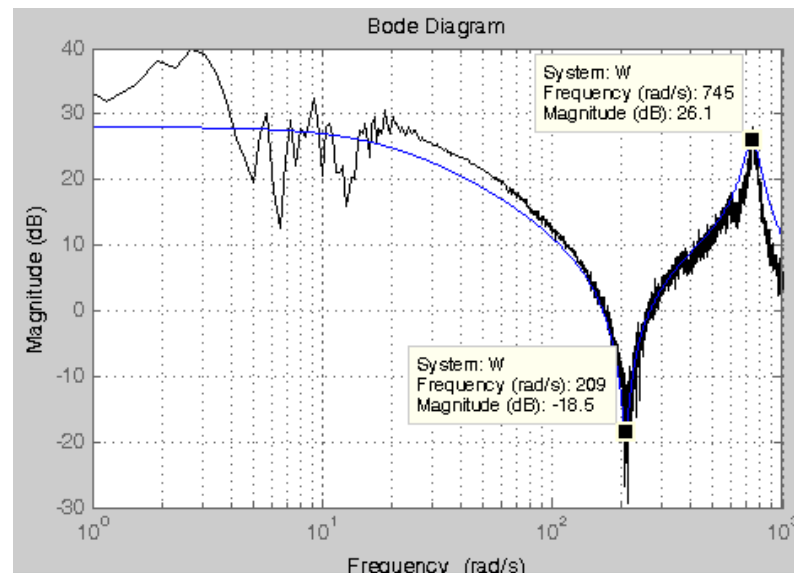


Рис. 3. АЧХ двухмассового объекта

ТАБЛИЦА II. Механические параметры ЭМС

c_{12}	жесткость связи	$4.367 \cdot 10^5$ [Н·м/рад]
J_1	Момент инерции первой массы	0.863 [кг·м ²]
J_2	Момент инерции второй массы	9.607 [кг·м ²]

$$\begin{aligned} \Omega_R &= \sqrt{\frac{c_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}} = \\ &= 745 [\text{рад/с}] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\Omega_A = \sqrt{\frac{c_{12}}{J_2}} = 209 [\text{рад/с}] \quad (3)$$

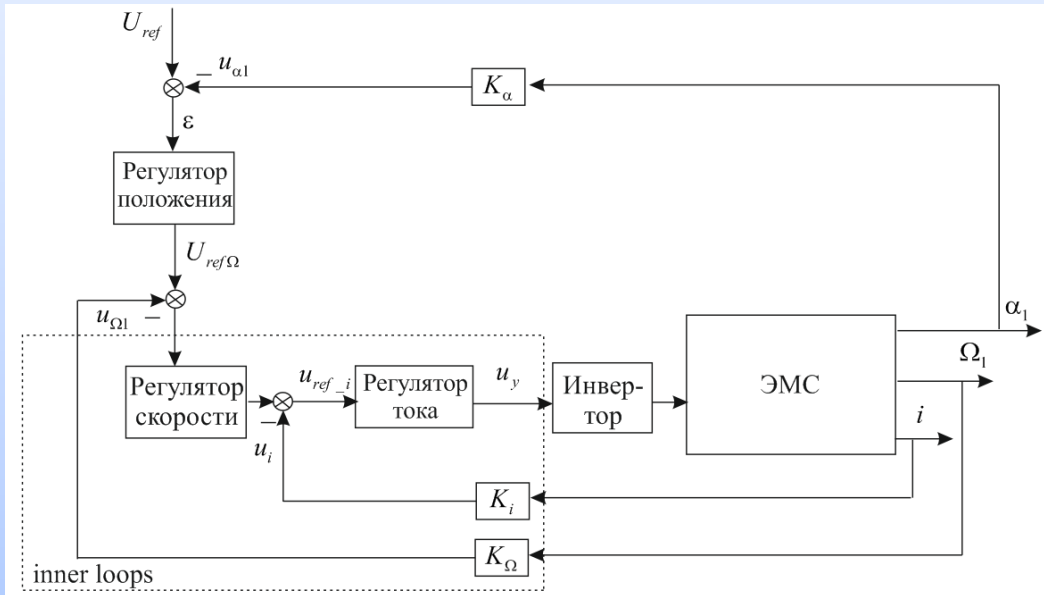


Рис. 4. Подчиненная система управления положением

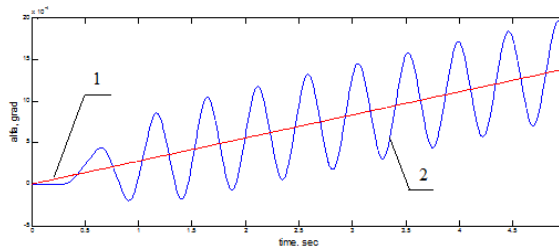
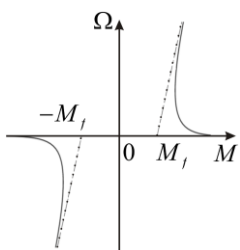
$T_{\mu_{-\Omega}} = 1 / 2\Omega_{R0}$ - находится из условия полосы пропускания:

$$\Omega_{R0} < \Omega_R / \sqrt[4]{\gamma^3} \quad (4)$$

$T_{\mu_{-t}}$ - малая постоянная времени, связанная с задержкой переключения ключей в инверторе

ТАБЛИЦА III. Настройка внутренних контуров подчиненной системы

Тип контура	Критерий настройки	Коэффициенты регулятора
Контур тока (ПИ-регулятор)	Экспоненциальный процесс	$K_{p_{-i}} = R_s T_e / (T_{\mu_{-i}} K_i K_{PMM})$ $K_{I_{-i}} = K_{p_{-i}} / T_{\mu_{-i}}$
Внутренний контур скорости (И-регулятор)	Оптимум по модулю	$K_{p_{-\Omega}} = 1 / (2T_{\mu_{-\Omega}} K_{ob\Omega})$
Внешний контур скорости (И-регулятор)	Оптимум по модулю	$K_{I_{-\Omega}} = 1 / (4T_{\mu_{-\Omega}})$
Контур положения (ПИ-регулятор)	Симметричный оптимум	$K_{p_{-\alpha}} = K_{\Omega} / (8T_{\mu_{-\Omega}} K_{\alpha})$ $K_{I_{-\alpha}} = K_{p_{-\alpha}} / (16T_{\mu_{-\Omega}})$



$$M_{fi} = M_f \cdot \text{sign}(\Omega_i)$$

Рис. 5. Момент «сухого трения» и автоколебания в системе с ПИ-регулятором положения на низких скоростях слежения

СИНТЕЗ ОСНОВНОГО КОНТУРА

Уравнение состояния объекта

$$\dot{X} = AX(t) + BU(t) \quad (5)$$

Уравнение состояния эталонной модели, задаваемой желаемую динамику

$$\dot{X}_m = A_m X_m(t) + B_m Y(t) \quad (6)$$

Цель управления заключается в

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E(t) = 0 \quad (7)$$

где $E(t) = X(t) - X_m(t)$ — ошибка системы

Уравнение в отклонениях для идеального управления

$$\dot{E}(t) = A_m E(t) + (A - A_m)X(t) + BU(t) - B_m Y(t) \quad (8)$$

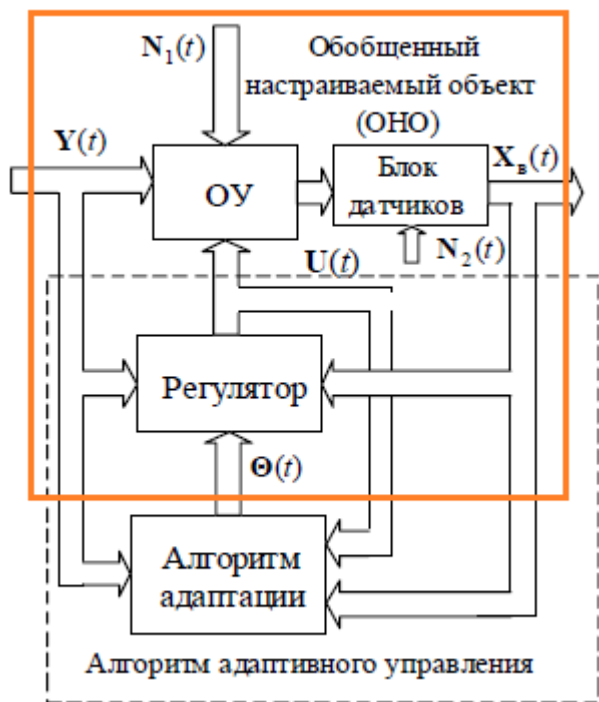


Рис. 5. Структурная схема адаптивной системы управления

$$U_*(t) = \overline{K}_*^Y K_*^X X(t) + \overline{K}_*^Y Y(t)$$

(9)

$$\begin{aligned} BK_*^X &= A_m - A \\ BK_*^Y &= B_m \\ \overline{BK}_*^X &= A_m - A \\ \overline{BK}_*^Y &= B_m \end{aligned} \quad (10)$$

матрицы
«идеальных»
коэффициентов

СИНТЕЗ КОНТУРА АДАПТАЦИИ

$$V = 0.5E^T H E + 0.5tr(\Theta^T \Gamma^{-1} \Theta) \quad (11)$$

где $\Theta(t)$ – расширенная матрица отклонений настраиваемых коэффициентов от их идеальных значений.

Производная функции выше представляет собой

$$\dot{V} = E^T H \dot{E} + tr(\dot{\Theta}^T \Gamma^{-1} \Theta) = E^T H A_m E + tr \left[(B_m^T H E \Sigma^T + \Gamma^{-1} \dot{\Theta})^T \Theta \right], \text{ где } \Sigma(t) = \overline{K^Y}(t) [Y(t) + \overline{K^X} X(t)]$$

Алгоритм адаптации

$$\dot{\Theta} = -\Gamma B_m^T H E \Sigma^T(t)$$

$$\Gamma = \Gamma^T > 0$$

$$\longrightarrow V > 0 \text{ и } \dot{V} < 0$$

(12)

Найденные матрицы состояний A , B и C :

$$A = \begin{bmatrix} -929.4 & -424 & -367.4 & -130.5 \\ 512 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 512 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 128 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 128 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = [0 \quad 79.8 \quad 2.97 \quad 10.2] \quad (13)$$

$$X_{ou} = \begin{bmatrix} M \\ w_1 \\ M_{12} \\ w_2 \end{bmatrix}$$

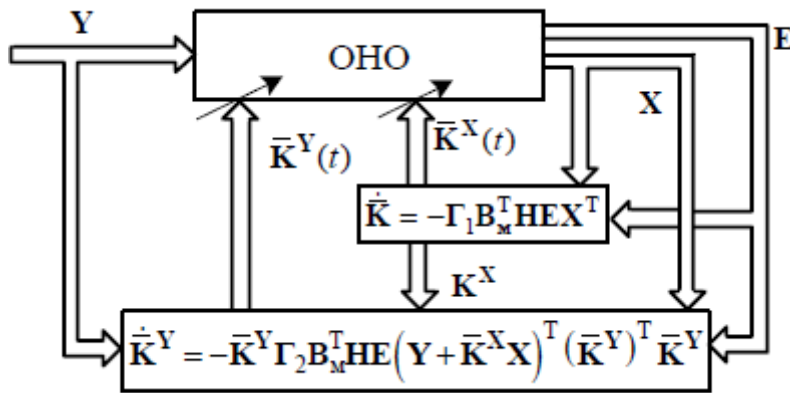


Рис. 6. Структурная схема адаптивной системы

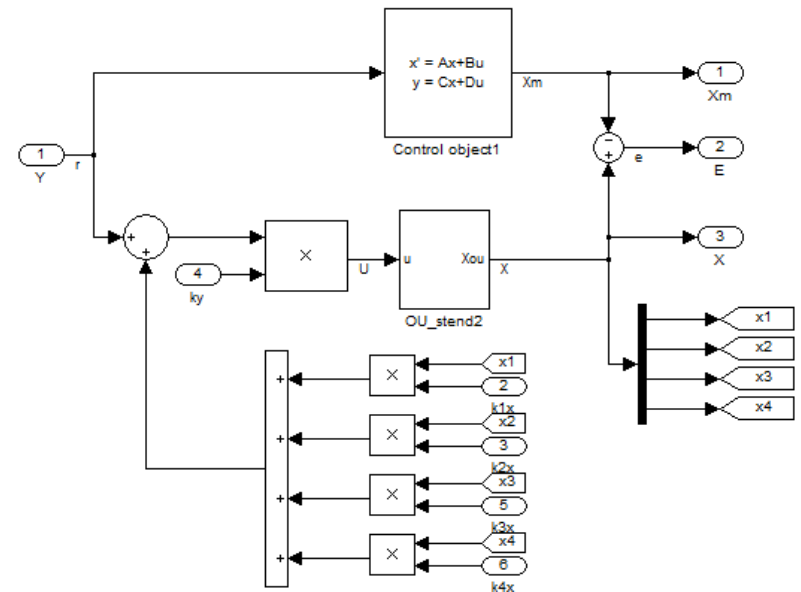


Рис.7. Структурная схема обобщенного настраиваемого объекта

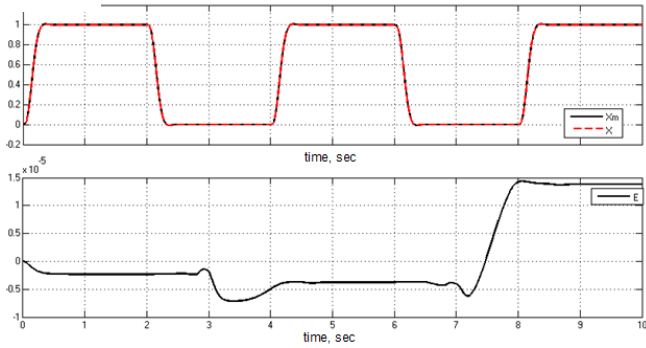


Рис.8. Отработка сигнала переустановки адаптивной системой (верхний график); ошибка отработки сигнала задания(нижний график)

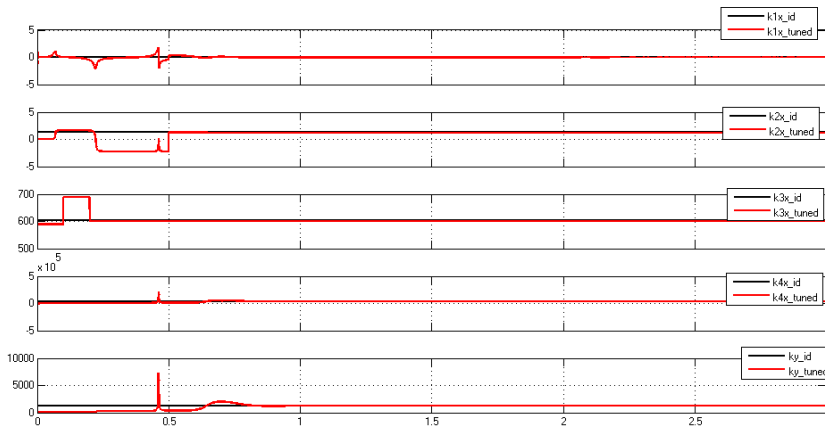


Рис.9. График настройки коэффициентов

Изменяемые параметры		
J_1	C_{12}	$J_2 * 1.5$

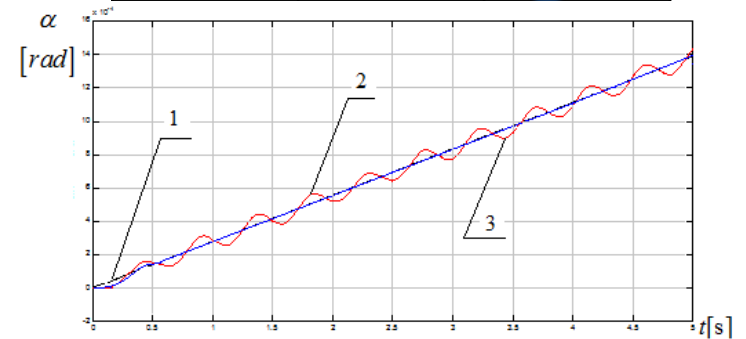


Рис.10. График слежения за сигналом с постоянной скоростью $\Omega=3$ угл.сек/с, $a=5$ угл.сек/с²

Изменяемые параметры		
$J_1 * 10$	C_{12}	J_2

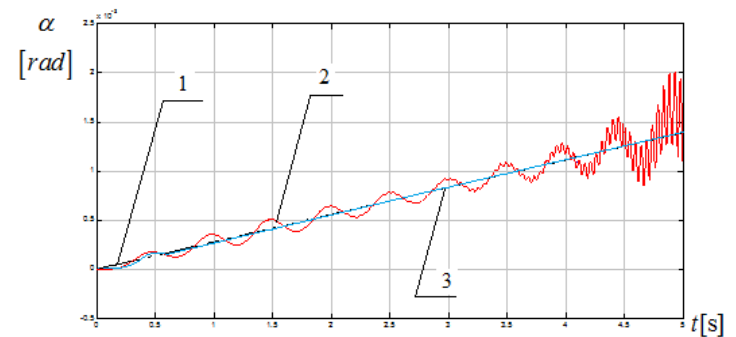


Рис.11. График слежения за сигналом с постоянной скоростью $\Omega=3$ угл.сек/с, $a=5$ угл.сек/с²

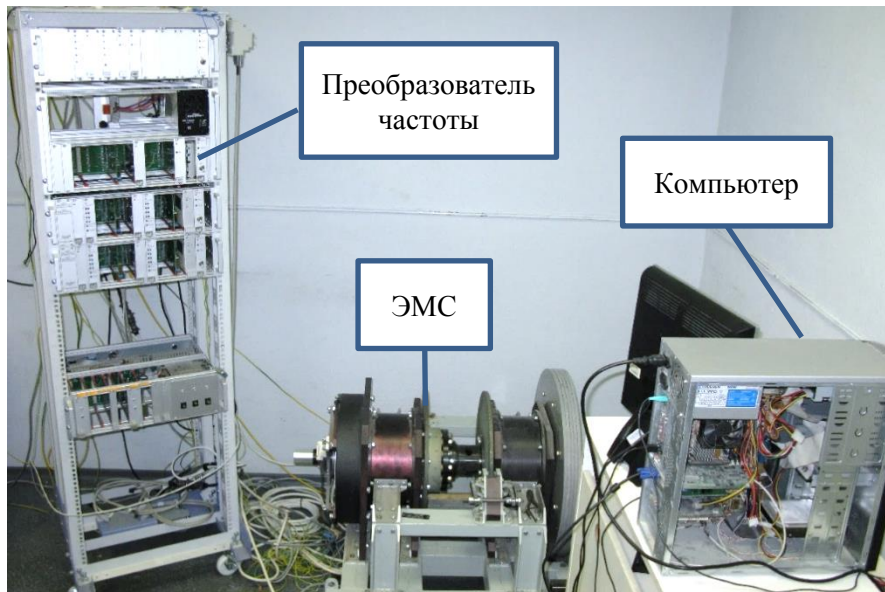


Рис.10. Вид экспериментального стенда

ТАБЛИЦА IV. Ошибки в системе в контуре положения

Тип сигнала задания	Тип регулятора положения	СКО ["]	Интегральная оценка качества $I ["]$
Слежение за линейно изменяющимся заданием по углу $a_{\max} = 5^\circ/c^2$ $\Omega_{зад} = 1''/c$	ПИ	1,68	35,15
	Адаптивный	0,31	7,31
Переустановка $a_{\max} = 5^\circ/c^2$ $\Omega_{зад} = 10^\circ/c$	ПИ	1,54	385,35
	Адаптивный	0,31	14,72

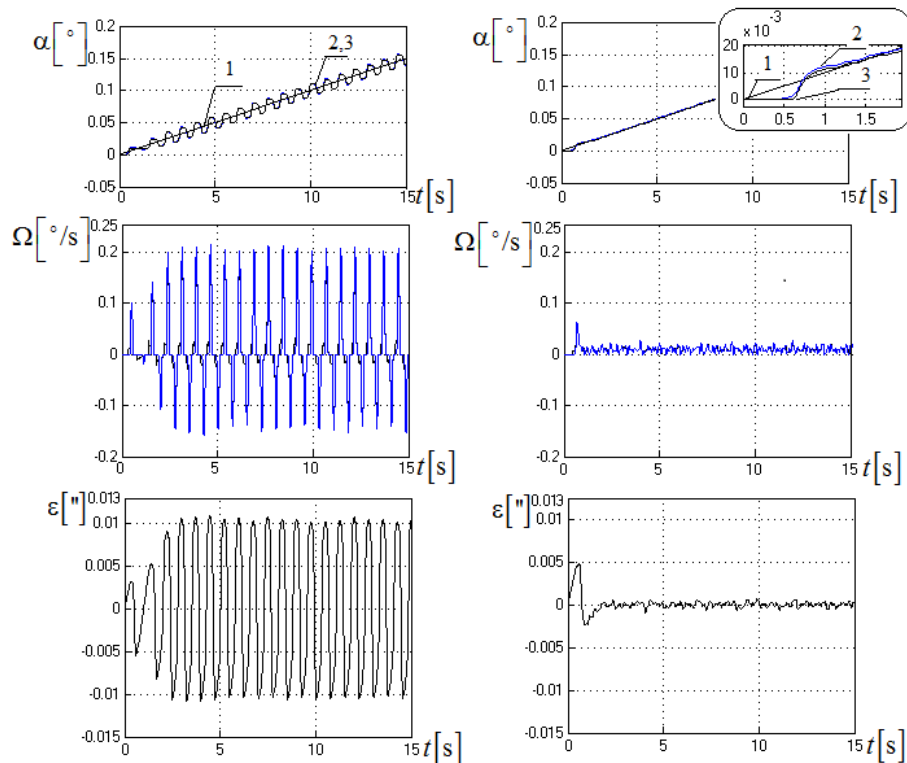


Рис.11. Результаты эксперимента - слежение за сигналом с постоянной скоростью $\Omega=3$ угл.сек/с, $a=5$ угл.сек/с²: 1) сигнал управления, 2) положение первой массы, 3) положение второй массы

ВЫВОДЫ

Синтезированная по методу функций Ляпунова адаптивная система управления обеспечивает отработку заданных сигналов объектом управления при изменяющихся характеристиках управляемого объекта в ходе функционирования управления с учетом возмущающих воздействий.