

Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)



Дипломная работа на тему:

**Исследование системы стабилизации и
ориентации КА в высокоточном режиме.**

Дипломант:

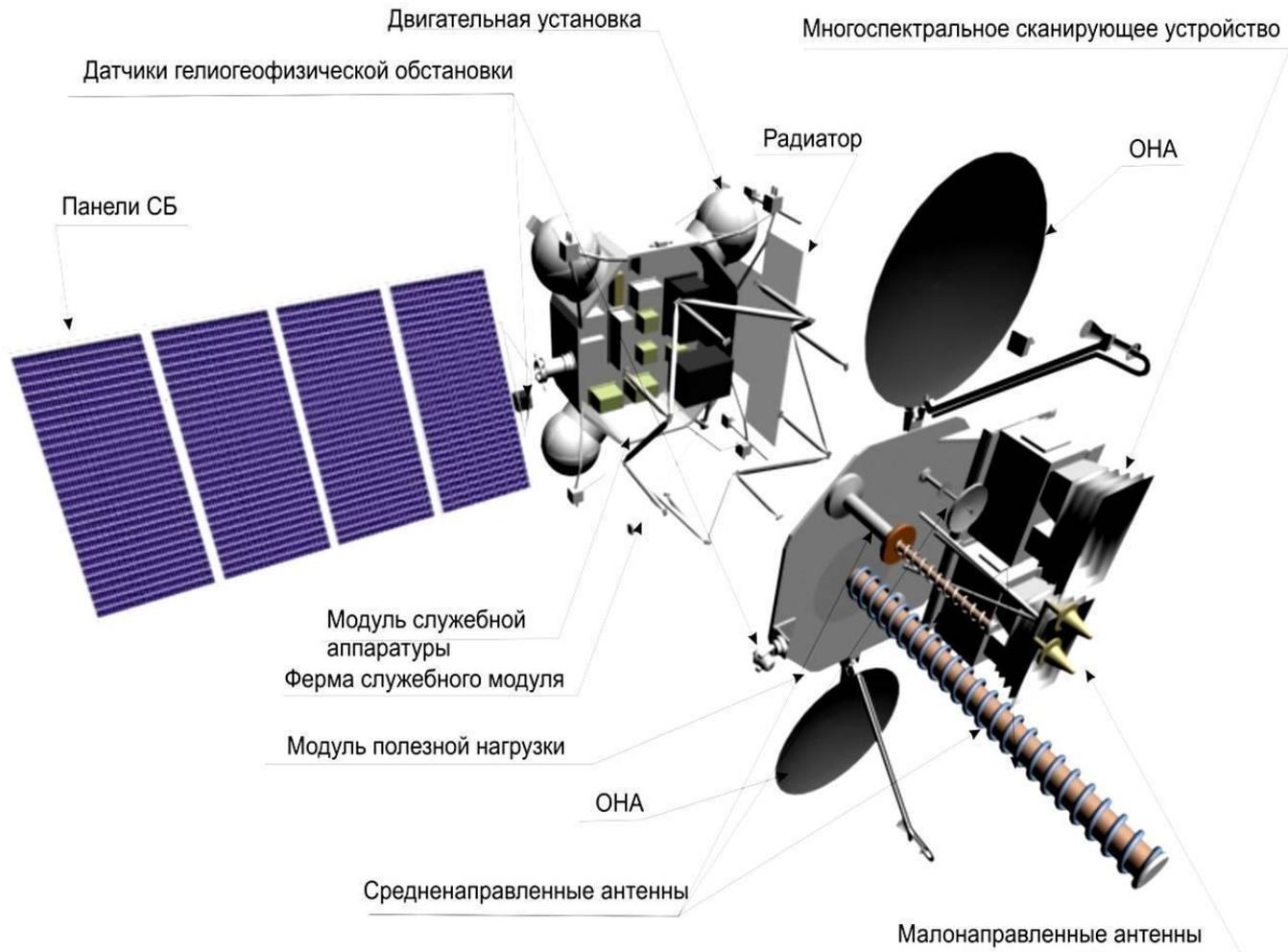
Маликов Т.Р.

Руководитель:

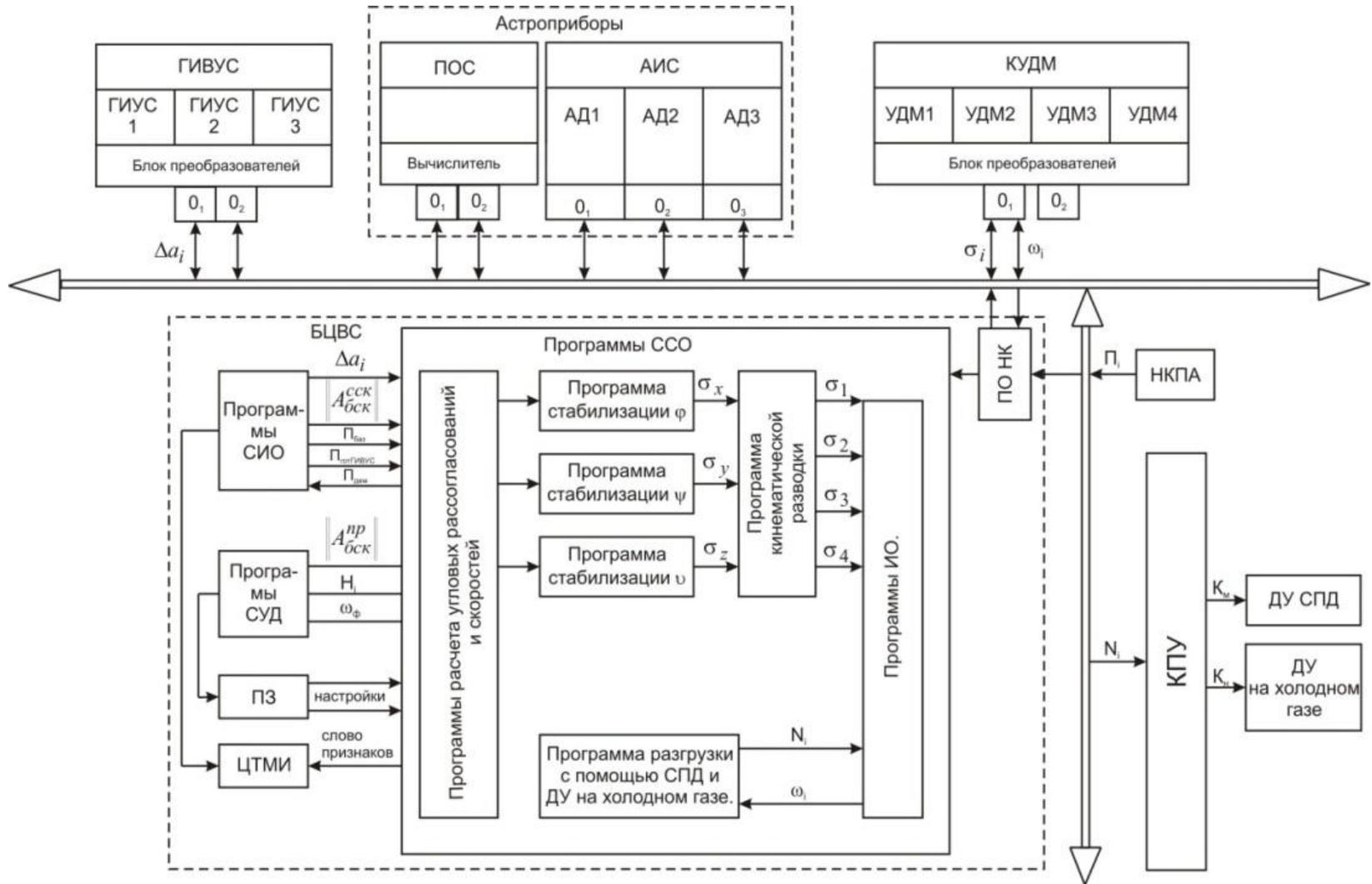
Заведеев А.И.

Москва, 2012 г.

Конструкция КА «Электро-Л»



Функциональная схема ССО



ИО – исполнительный орган;
 СИО – система информационного обеспечения;
 СУД – система управления движением;

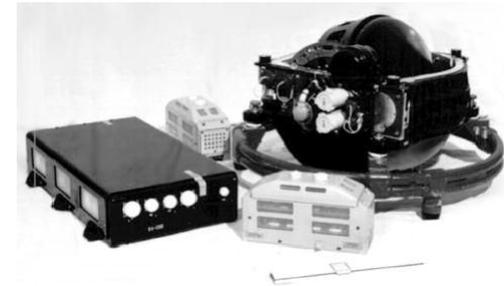
УДМ – управляющие двигатели-маховики;
 ГИВУС – гироскопический измеритель вектора угловой скорости;
 НКПА – наземная контрольно-проверочная аппаратура;

Исполнительные органы ССО

- ❑ Газореактивные двигатели
 - *ограничение количества рабочего тела*
 - *импульсная система*
 - *не всегда удовлетворяет по точности*

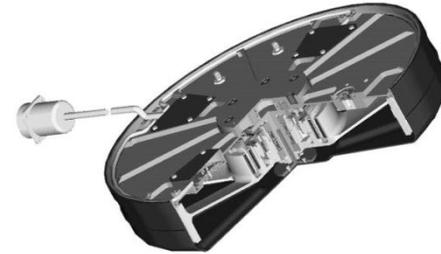
- ❑ Силовые гироскопические комплексы (СГК)
 - *хорошая точность*
 - *большой управляющий момент*
 - *невозможность использования в малых КА*

- ❑ Комплексы управляющих двигателей-маховиков (КУДМ)
 - *хорошая точность*
 - *конструктивная простота*
 - *эффект насыщения*



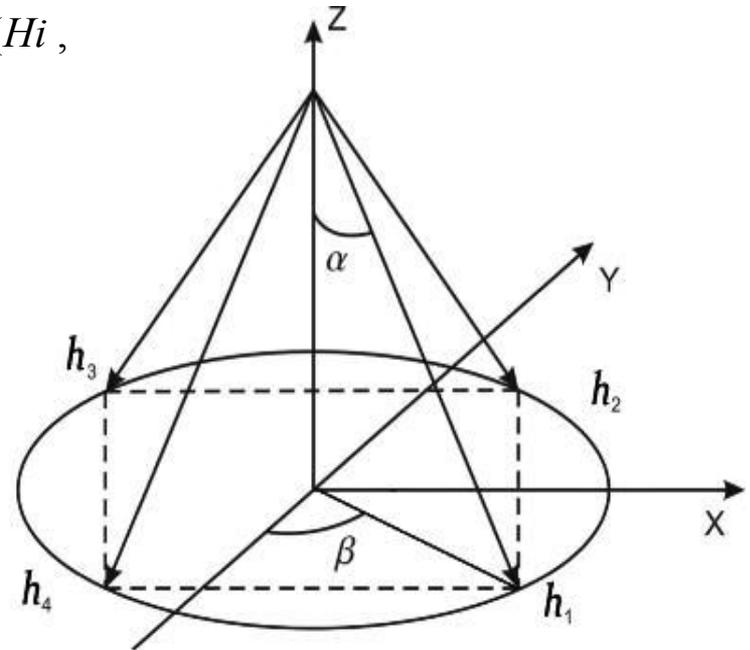
Устройство КУДМ

- УДМ состоит из двух частей:
 1. *Электромеханический модуль*
 2. *Блок управления двигателями (БУД)*



Двигатели-маховики установлены по схеме «пирамида» с высотой, направленной по оси OZ , и углами $\alpha=60^\circ$ и $\beta=45^\circ$.
Связь проекций вектора кинетического момента КУДМ (H_i , $i=X, Y, Z$) с векторами кинетических моментов УДМ (h_i , $i=1, 2, 3, 4$) выражается матричным уравнением:

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} = |A| \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{pmatrix}$$



Возмущающие воздействия

- Гравитационные возмущения
- Солнечное давления
- Аэродинамическое возмущения
- Упругие колебания элементов конструкции КА (две остронаправленные антенны, панель солнечной батареи, штанга магнитометра).

Классификация КА по упругости:

1. Компактное абсолютно жесткое тело с упруго-соединенными жесткими элементами;
2. Компактное абсолютно жесткое тело с присоединенными упругими элементами;
3. Большой упругий корпус – крупногабаритная космическая конструкция

Уравнения движения КА в ССК с учётом влияния колебаний упругих элементов.

$$I_{xx} \ddot{\alpha}_x - b_{q_1x} \ddot{q}_1 \sin \gamma_1 - \sum_{i=1}^3 b_{r_i x} \ddot{r}_i \cos \gamma_1 + b_{q_2x} \ddot{q}_2 \cos \psi_{\text{ОНА}2} + b_{q_3x} \ddot{q}_3 \cos \psi_{\text{ОНА}1} + b_{r_2x} \ddot{r}_2 \sin \psi_{\text{ОНА}2} - b_{r_3x} \ddot{r}_3 \sin \psi_{\text{ОНА}1} + \sum_{i=1}^4 b_{q_{4i}x} \ddot{q}_{4i} = \ddot{H}_x + M_x;$$

$$I_{yy} \ddot{\alpha}_y + b_{q_1y} \ddot{q}_1 \sin \gamma_1 + \sum_{i=1}^3 b_{r_i y} \ddot{r}_i \cos \gamma_1 + \sum_{i=1}^2 b_{p_i y} \ddot{p}_i + b_{r_2y} \ddot{r}_2 \cos \psi_{\text{ОНА}2} + b_{r_3y} \ddot{r}_3 \cos \psi_{\text{ОНА}1} + b_{q_2y} \ddot{q}_2 \sin \psi_{\text{ОНА}2} - b_{q_3y} \ddot{q}_3 \sin \psi_{\text{ОНА}1} + \sum_{i=1}^4 b_{q_{4i}y} \ddot{q}_{4i} = \ddot{H}_y + M_y;$$

$$I_{zz} \ddot{\alpha}_z - b_{q_1z} \ddot{q}_1 \cos \gamma_1 + \sum_{i=1}^3 b_{r_i z} \ddot{r}_i \sin \gamma_1 - b_{q_2z} \ddot{q}_2 \cos \psi_{\text{ОНА}2} + b_{q_3z} \ddot{q}_3 \cos \psi_{\text{ОНА}1} - b_{r_2z} \ddot{r}_2 \sin \psi_{\text{ОНА}2} - b_{r_3z} \ddot{r}_3 \sin \psi_{\text{ОНА}1} + \sum_{i=1}^4 b_{q_{4i}z} \ddot{q}_{4i} = -\ddot{H}_z + M_z;$$

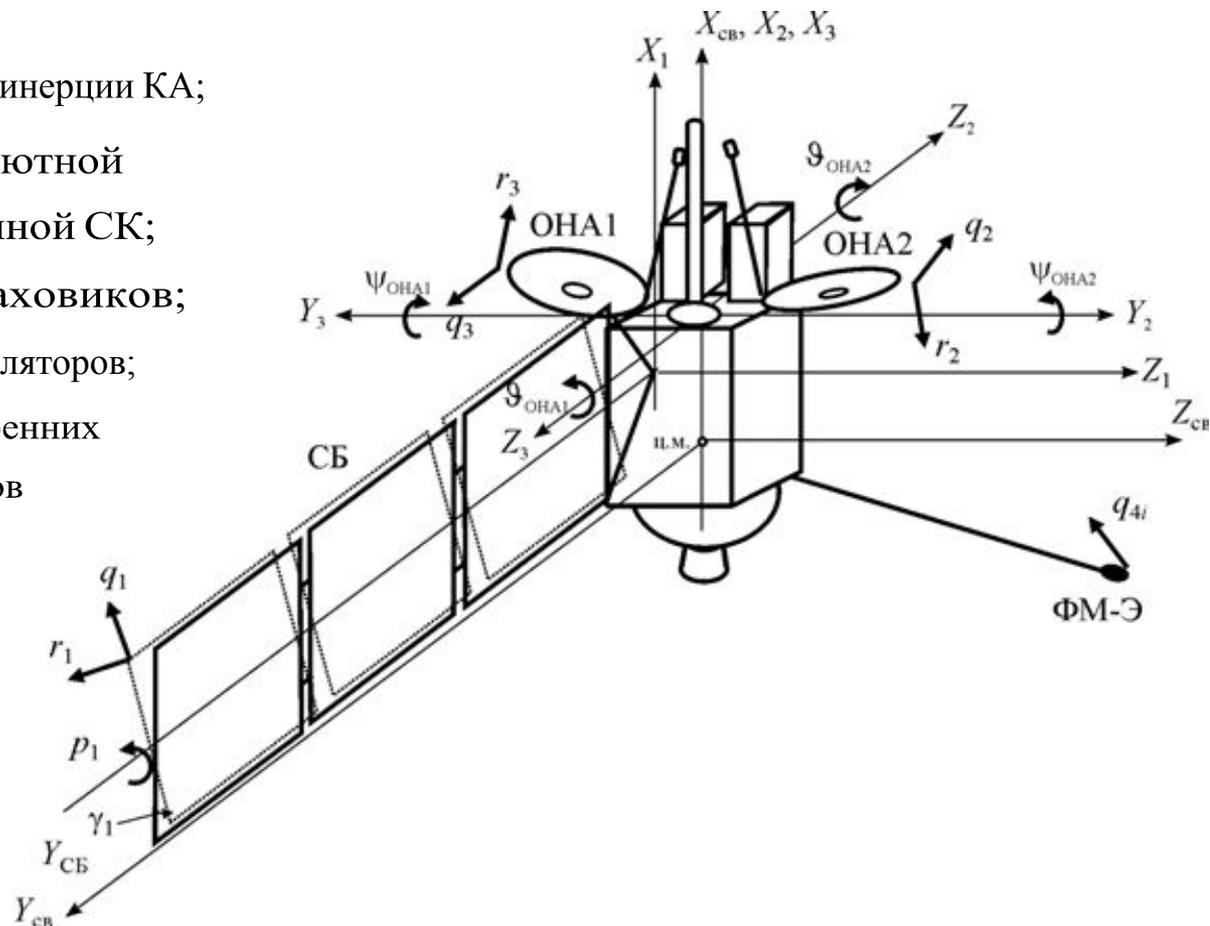
I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} - центральные осевые моменты инерции КА;

w_x, w_y, w_z - проекции вектора абсолютной угловой скорости КА на оси связанной СК;

H_x, H_y, H_z - кинетич. моменты маховиков;

q, r, p — обобщенные координаты осцилляторов;

M_x, M_y, M_z - проекции внешних и внутренних возмущающих и управляющих моментов на связанные оси КА;



Закон управления КА относительно центра масс с помощью КУДМ в непрерывной области имеет вид:

$$\sigma_x = [k_\phi \Delta\phi - k_{\omega_x} \omega_{x1\phi}] W_{\text{пиф}};$$

$$\sigma_y = [k_\psi \Delta\psi - k_{\omega_y} \omega_{y1\phi}] W_{\text{пиф}};$$

$$\sigma_z = [k_v \Delta\vartheta - k_{\omega_z} \omega_{z1\phi}],$$

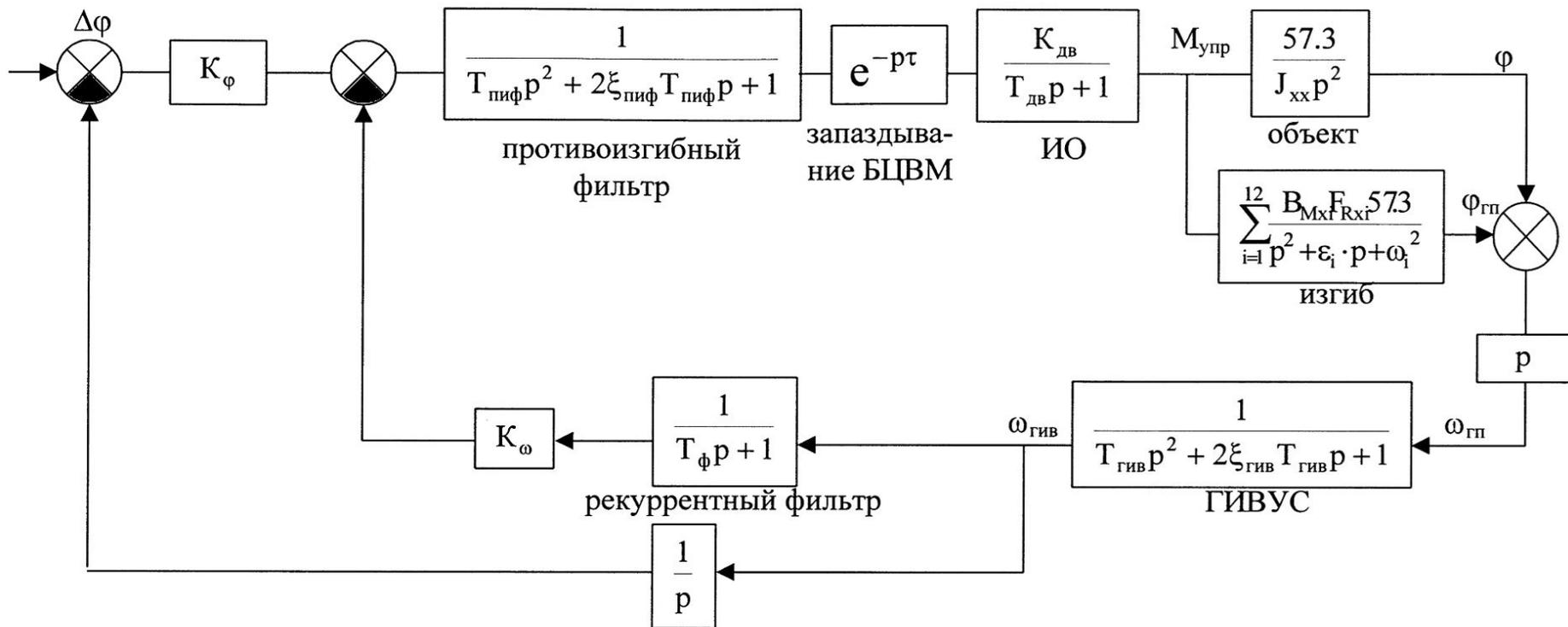
где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – каналные сигналы управления на КУДМ [нм].

k_ϕ, k_ψ, k_v – передаточные числа по позиционному сигналу [нм/град]

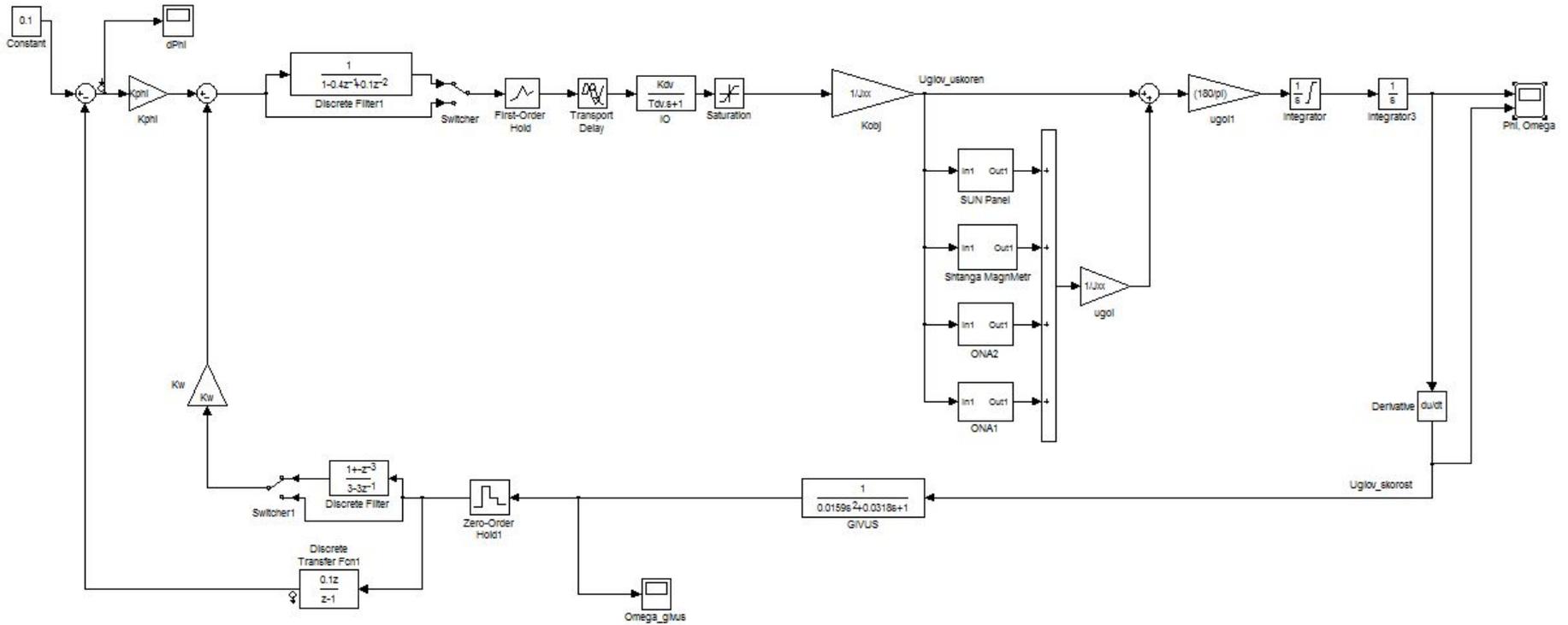
k_{ω_i} – передаточные числа по угловым скоростям [нм.с/град].

$W_{\text{пиф}}$ – передаточная функция противоизгибного фильтра

Аналоговая структурная схема ССО на КУДМ на примере канала крена

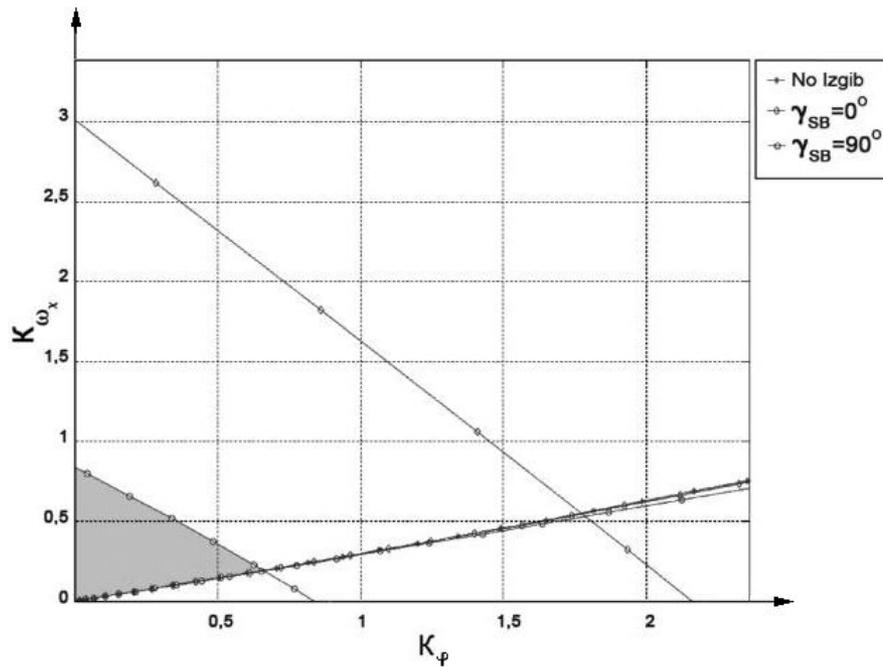


Аналоговая структурная схема в Simulink

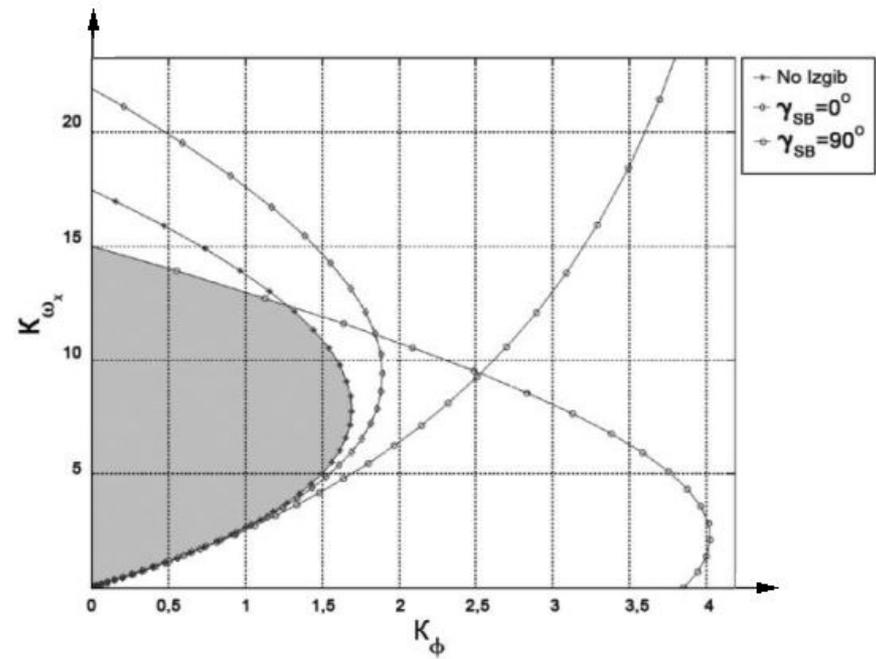


Области устойчивости КА в канале крена

Область устойчивости без фильтров



Область устойчивости с фильтрами.



Устойчивость ССО

Нули и полюса передаточной функции ССО

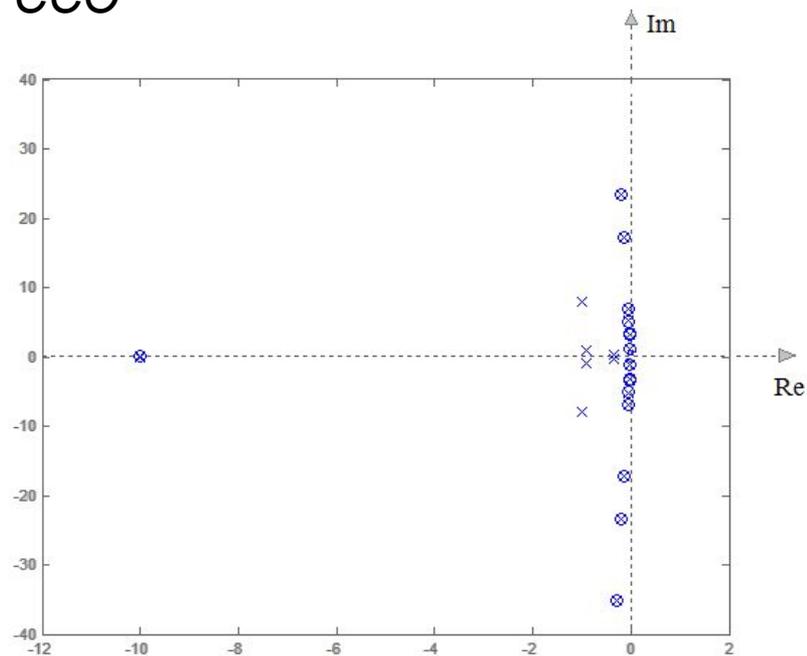
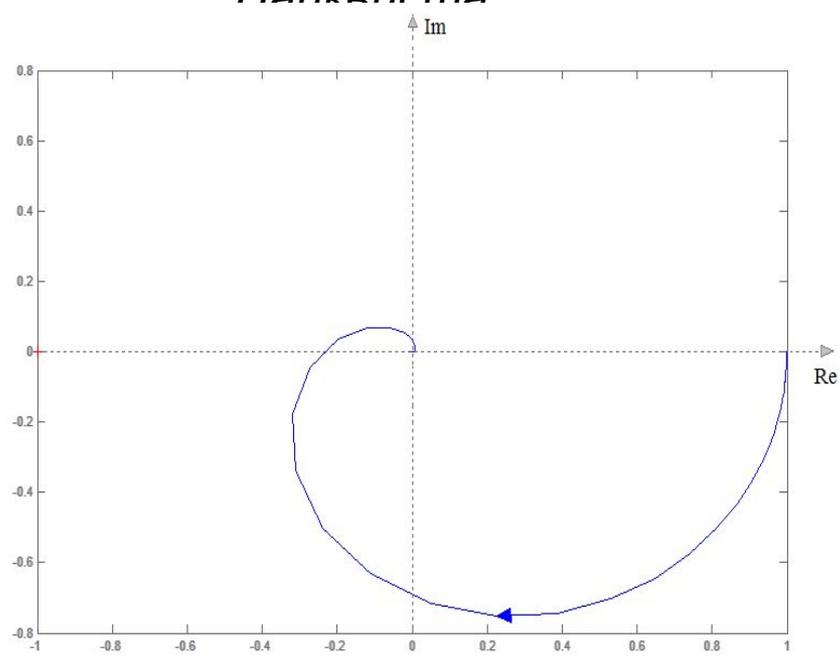
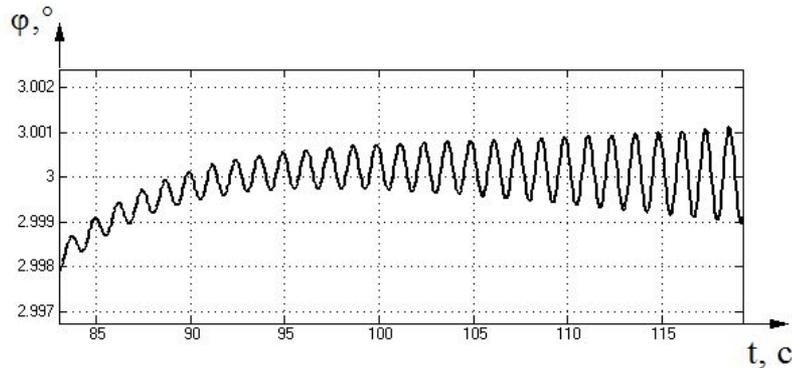
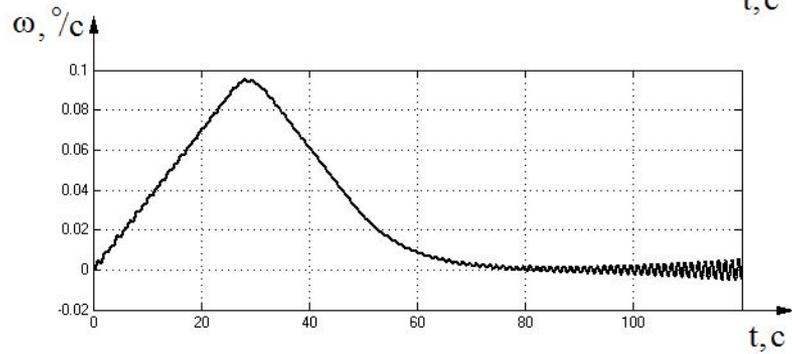
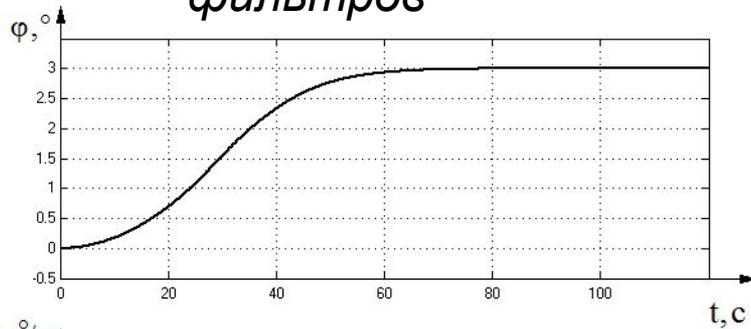


Диаграмма Найквиста

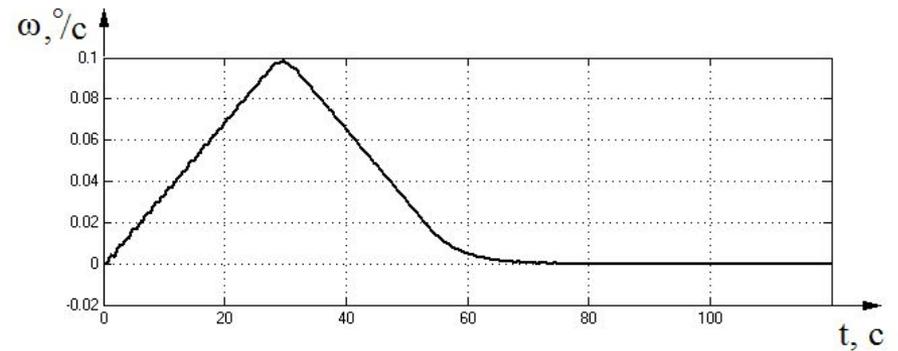
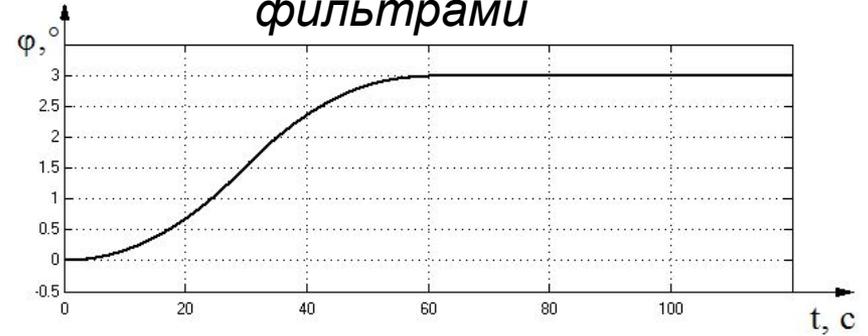


Переходные процессы

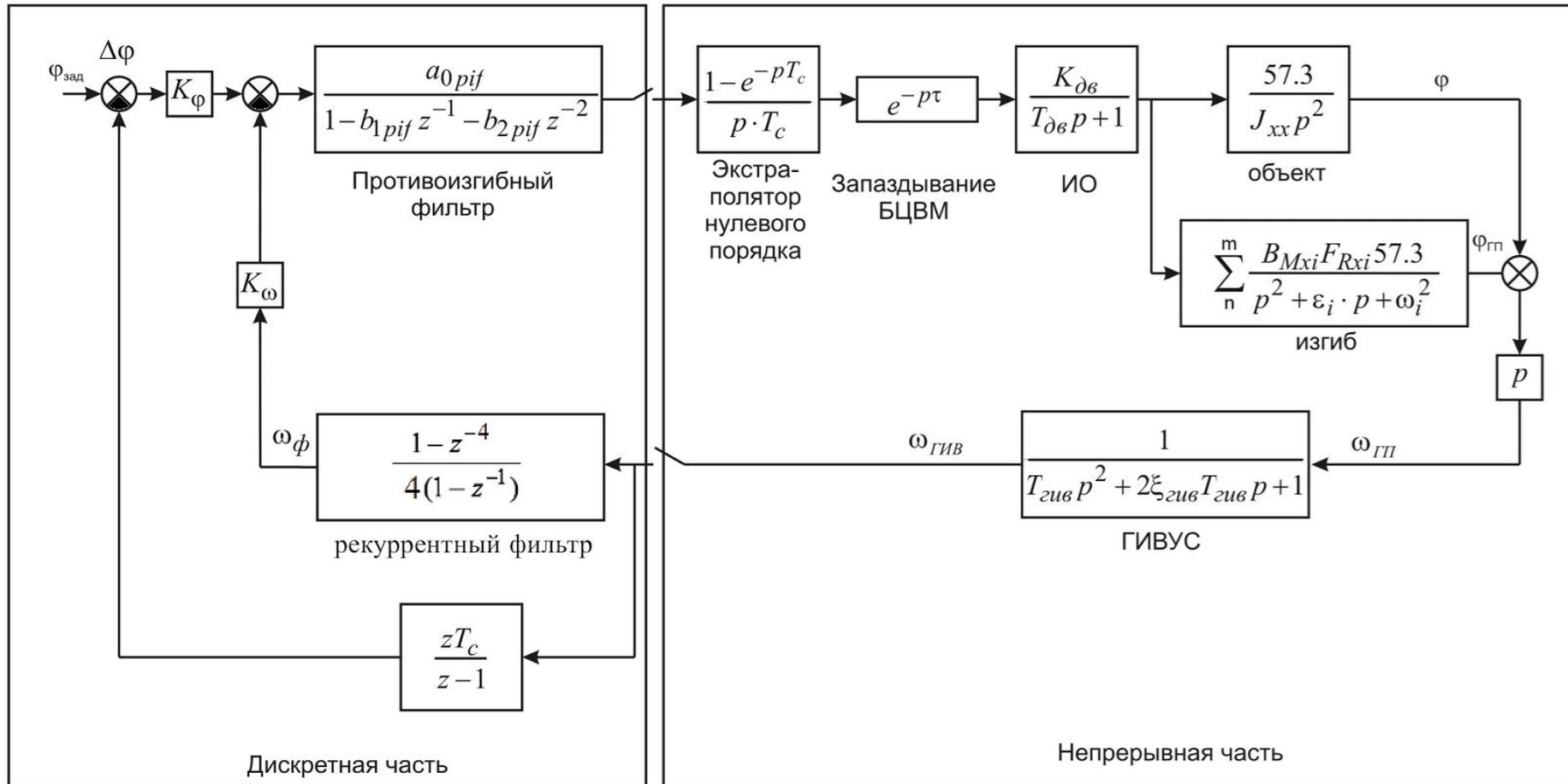
Без
фильтров



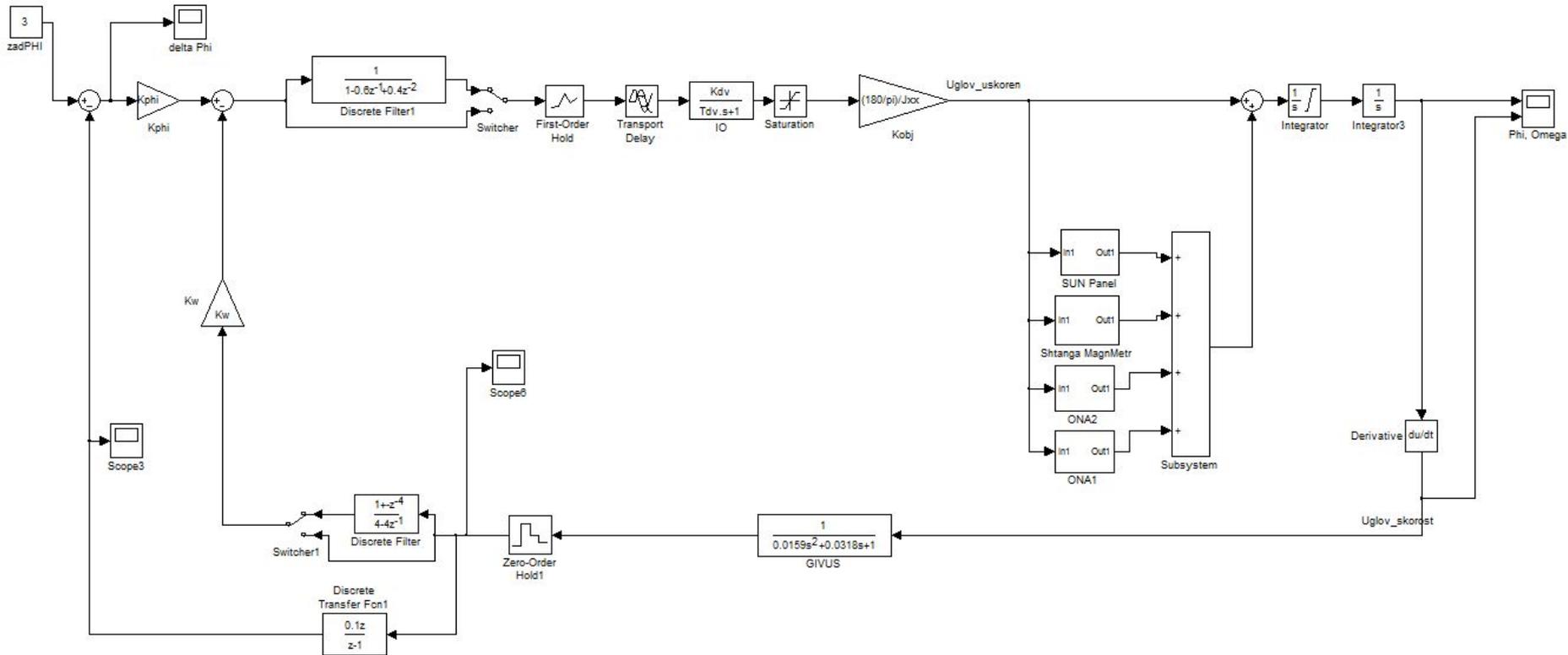
С
фильтрами



Цифро-аналоговая структурная схема ССО на КУДМ на примере канала крена

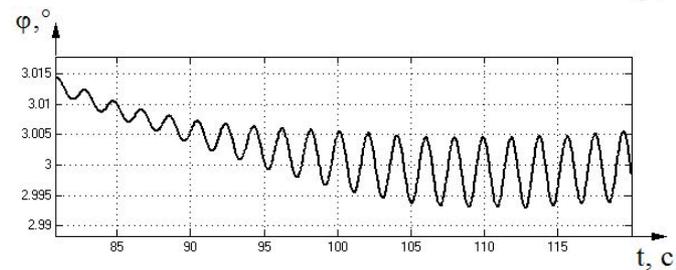
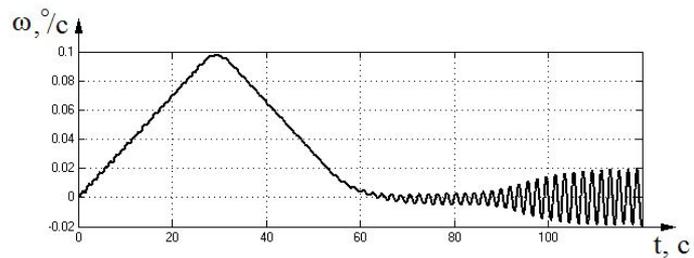
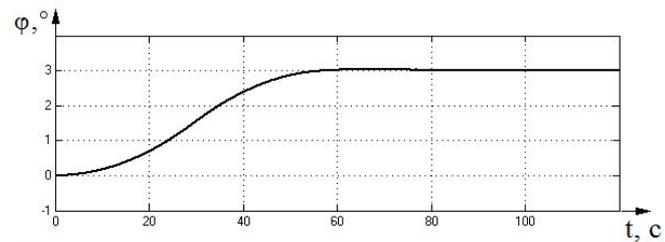


Цифро-аналоговая структурная схема ССО на КУДМ на примере канала крена в Simulink

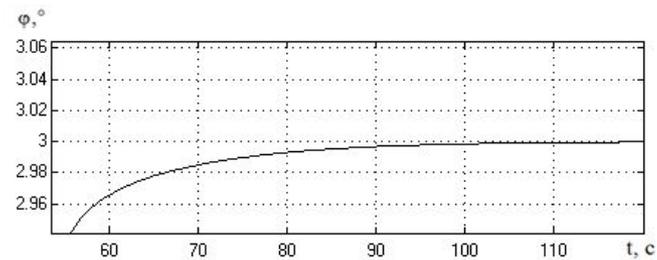
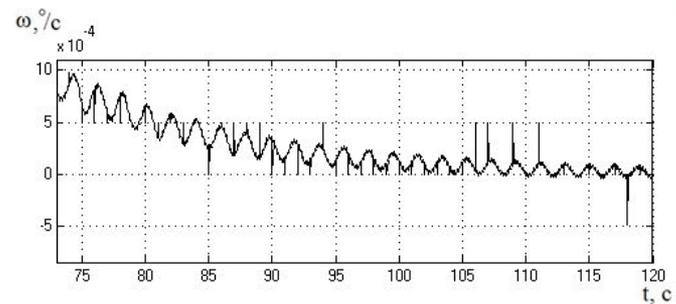
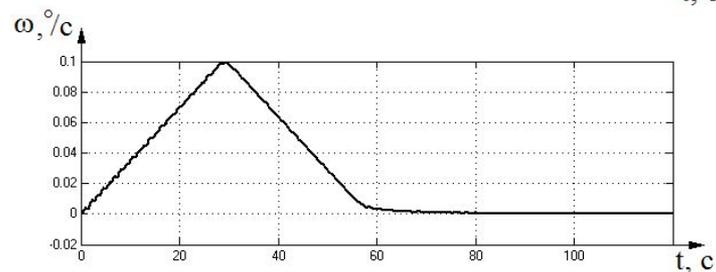
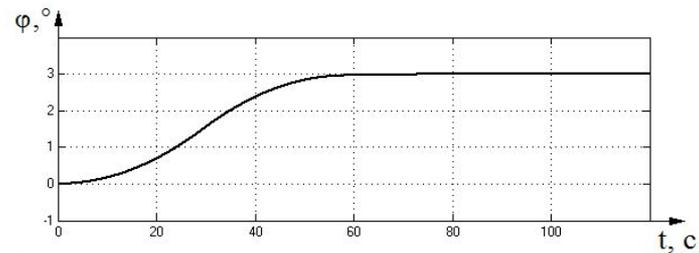


Переходные процессы

Без



С



Параметры различных модлей ДМ

Модель	Потребляемая мощность при управляющем моменте M_y , Вт, не более		Управляющий момент M_y , Н·м, не более	Диапазон изменения кинетического момента, Н·м·с, не более	Диапазон изменения частоты вращения, об/мин	Диапазон изменения частоты вращения ротора маховика (N)	Число импульсов на оборот датчика частоты вращения ротора	Масса, кг		Габаритные размеры, мм			
	$M_y=M_{\text{макс}}$	$M_y=0$						Блок электро-механики	Электронный блок	D x L	A	B	C
ДМ	70	6	0,26	±19,6	1100	960	10,5	2,7	390x160	267	168	84	
ДМ-1	100	7	0,35	±29,4	1200	960	14,0	3,5	390x170	271	181	86	
ДМ-2*	75	7	0,1	±14,0	3500	36	5,0	2,0	260x150	267	168	84	
ДМ-3*	7	1	0,007	±0,3	6000	36	0,8		130x70	-	-	-	
ДМ-4*	29	5	0,02	±8,0	6000	36	3,0	1,0	190x90	200	120	70	
ДМ-5*	27	3	0,02	±1,0	6000	36	1,5		150x100	-	-	-	
ДМ-6*	30	4	0,05	±5,0	2500	36	3,8		225x100	-	-	-	
ДМ-7*	14	3	0,02	±0,1	3000	36	1,5		140x110	-	-	-	
ДМ-8*	14	3	0,02	±0,3	3000	36	1,7		170x100	-	-	-	
ДМ-9*	18	3	0,012	±4,0	6000	36	2,6		200x100	-	-	-	

- В экономической части диплома были произведены расчеты по стоимости и окупаемости моделирования ССО для КА “Электро-Л”.
- В разделе охраны труда и окружающей среды был произведен анализ условий работы за ПЭВМ, а так же предложены меры по улучшению кондиционирования. Были предложены след. Кондиционеры : Hitachi RAS-30CH7; LG S24PT;

A composite image of space. In the upper right, a large, detailed full moon is visible. The background is a deep black space filled with numerous stars of various colors and sizes. A prominent feature is a galaxy with a bright yellowish-white core and blueish-purple spiral arms, extending diagonally across the frame.

**Спасибо за
внимание!**