

**Минобрнауки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»
Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева**

Кафедра Систем автоматического управления

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 24.05.06

Системы управления летательными аппаратами

**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

Студент гр. 131721: Бакурский С. С.

Руководитель: к.т.н., доц. Воробьёв В.В.

Тула 2019





Цели и задачи дипломной работы

2

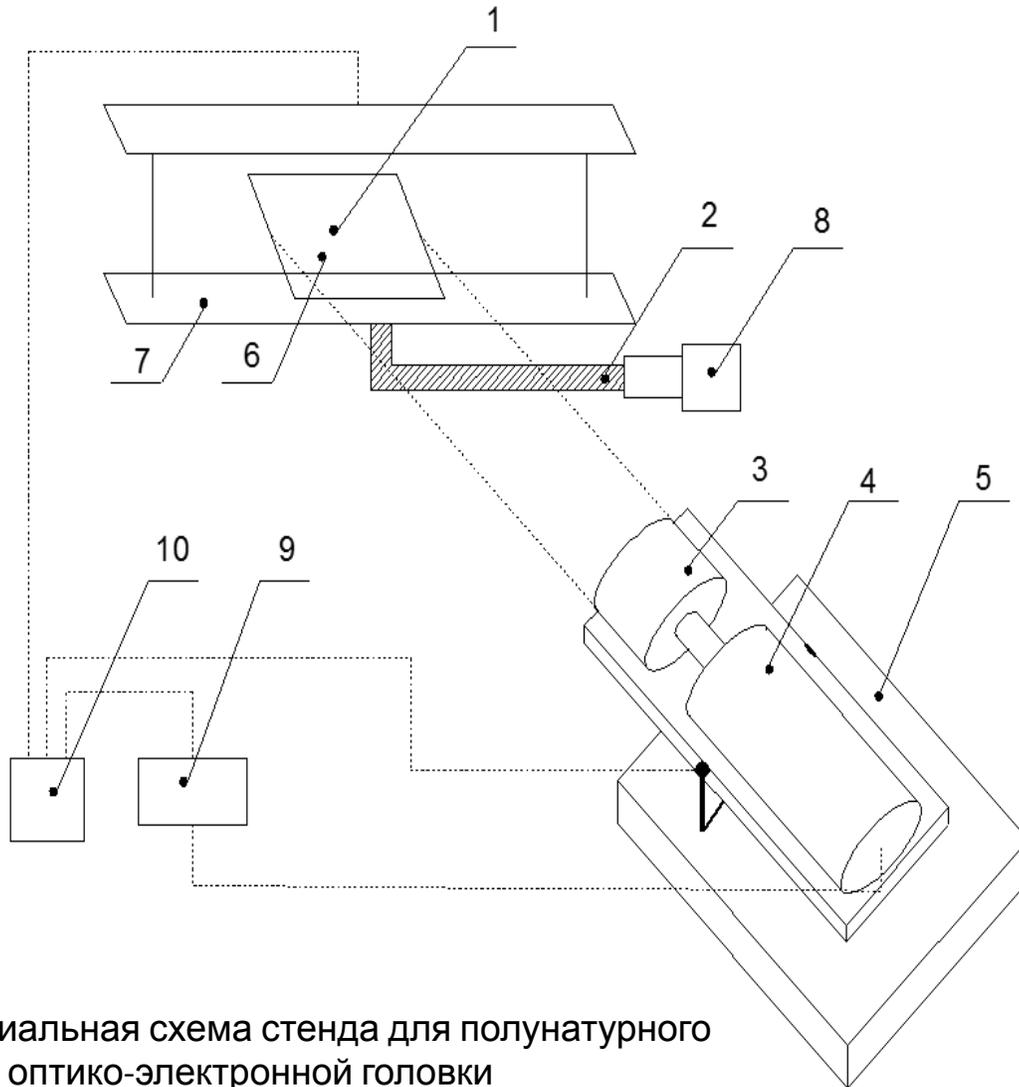
Цель исследования: синтез системы телеуправления (СТУ) подвижного объекта и разработка элементов стенда для динамических испытаний СТУ в условиях световых помех.

Задачи исследования:

- Патентно-информационный поиск по проблеме моделирования динамических испытаний командной оптико-электронной СТУ.
- Построение математического описания СТУ.
- Анализ динамики и точности плоского и двумерного контуров телеуправления.
- Синтез закона управления СТУ и расчет корректирующего фильтра (дифф. фильтра).
- Моделирование СТУ в системе Matlab и экспериментальная отработка закона управления в виртуальном стенде в соответствии с требованиями ТЗ.
- Разработка элементов стенда для полунатурных динамических испытаний и испытаний на помехозащищенность СТУ.
- Проектирование зеркально-отклоняющей системы (ЗОС).
- Моделирование и экспериментальная отработка закона управления ЗОС в системе Matlab в соответствии с требованиями ТЗ .

Лист 2	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Патентно-информационный поиск по проблеме моделирования лабораторно-стендовых динамических испытаний системы телеуправления



Позиции:

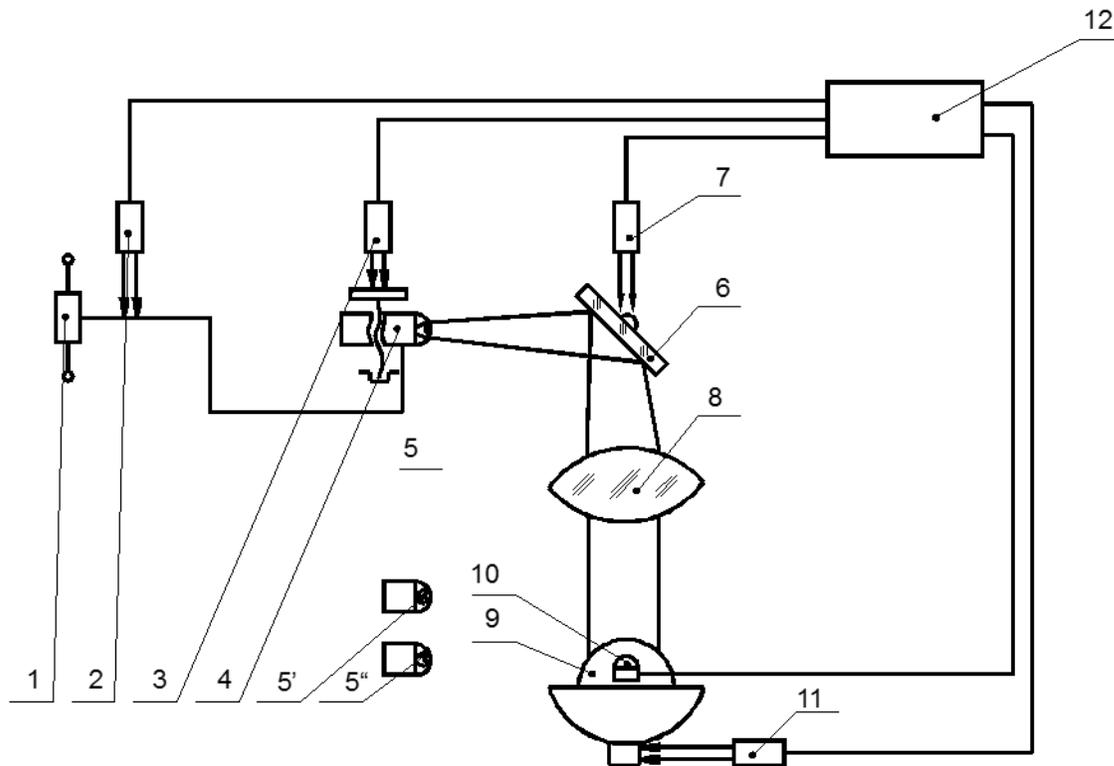
- 1 – модель цели,
- 2 – световод,
- 3 – оптико-механический блок,
- 4 – ГСН,
- 5 – стенд автопилота,
- 6 – имитатор фона
- 7 – стенд ДКДБ,
- 8 – источник лазерного излучения,
- 9 – регистрирующая и измерительная аппаратура,
- 10 - АВМ.

Рис. 1. Принципиальная схема стенда для полунатурного моделирования оптико-электронной головки самонаведения



Лист 3	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Патентно-информационный поиск по проблеме моделирования лабораторно-стендовых динамических испытаний системы телеуправления



- 1 – реостат
- 2,3 – электропривод
- 4 – каретка
- 5- имитатор
- 6 – поворотное зеркало
- 7 – привод
- 8 – коллиматорный
объектив
- 9 – динамический стол
- 10 – испытуемый ОЭП
- 11 – привод
- 12 – электронная часть

Рис. 2. Принципиальная схема стенда для полунатурного моделирования динамических испытаний опико-электронных приборов.



Лист 4	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Функциональная и структурная схемы двумерной СТУ

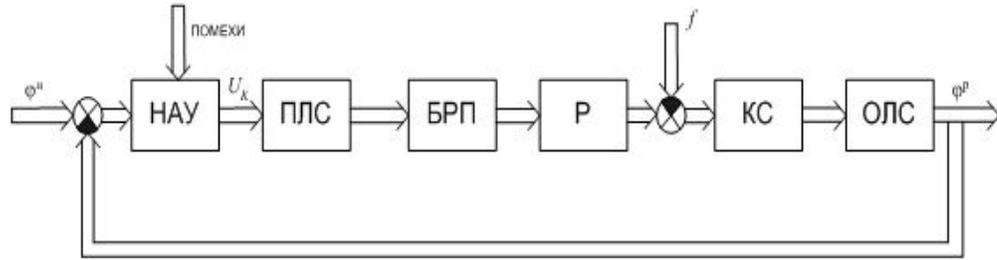


Рис. 3. Функциональная схема СТУ:

- $\phi Ц$ – вектор ошибки оператора в сопровождении цели;
- ϕP – вектор угловых координат ракеты;
- f – вектор кинематических возмущений;
- $U K$ – вектор команд управления;
- НАУ – наземная аппаратура управления;
- ПЛС – проводная линия связи;
- БРП – блок рулевых приводов;
- Р – ракета;
- КС - кинематические соотношения;
- ОЛС – оптическая линия связи.

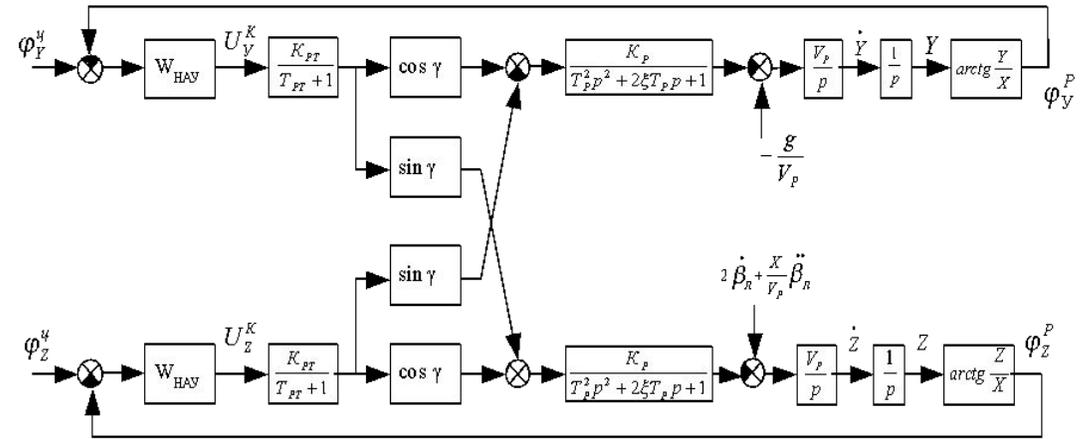


Рис 4. Структурная схема двумерной СТУ

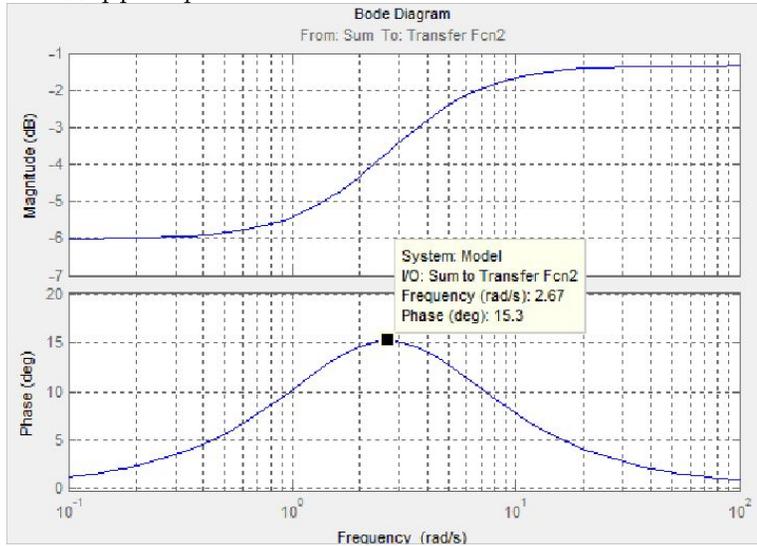
- $\phi yЦ, \phi zЦ$ – ошибки оператора в сопровождении цели в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно;
- $\phi yP, \phi zP$ – угловые отклонения ракеты от линии прицеливания в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно;
- y, z – линейные отклонения ракеты от линии прицеливания в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно;
- $\beta л$ – угловая скорость разворота линии прицеливания



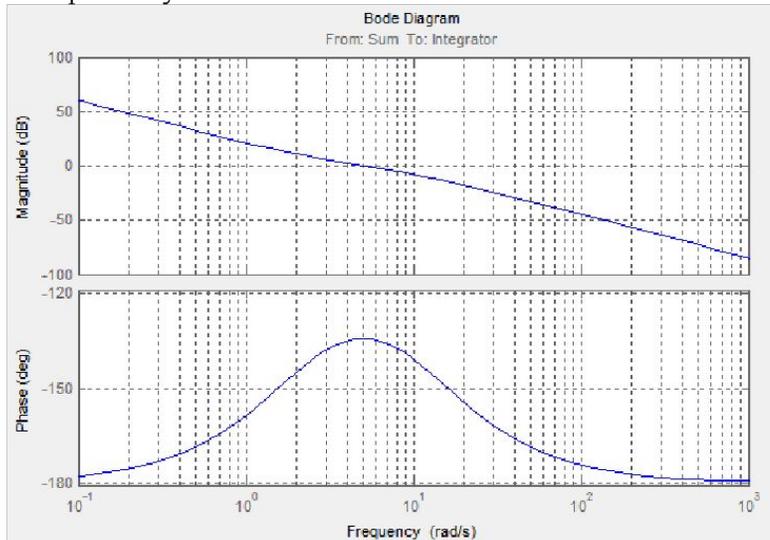
горизонтальной плоскости.		РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
ист 5	Листов 12	
Студент	Бакурский С.С.	

Расчет корректирующего фильтра для контура управления

ЛАФЧХ диффильтра



ЛАФЧХ разомкнутой системы



ЛАФЧХ замкнутой системы

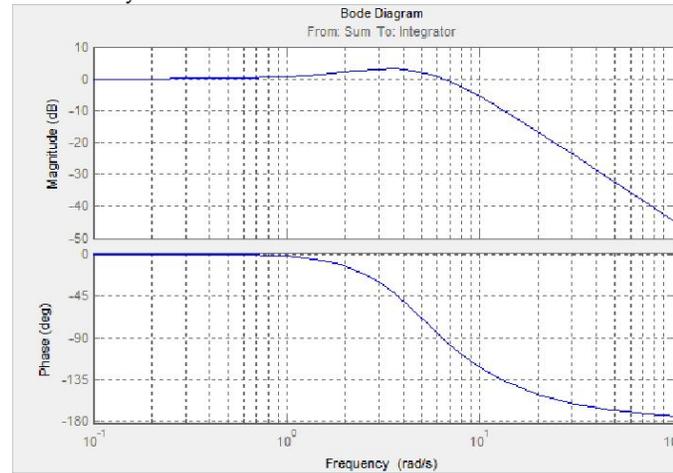
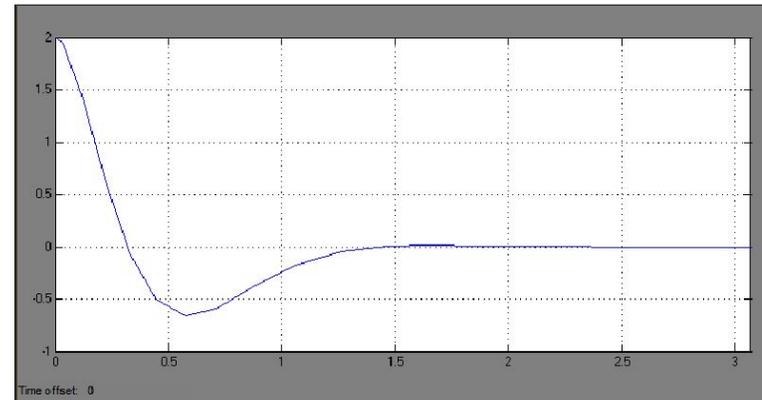


График переходного процесса идеального контура:



Лист 6	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Состав стенда для испытаний СТУ на динамику, точность и помехозащищенность

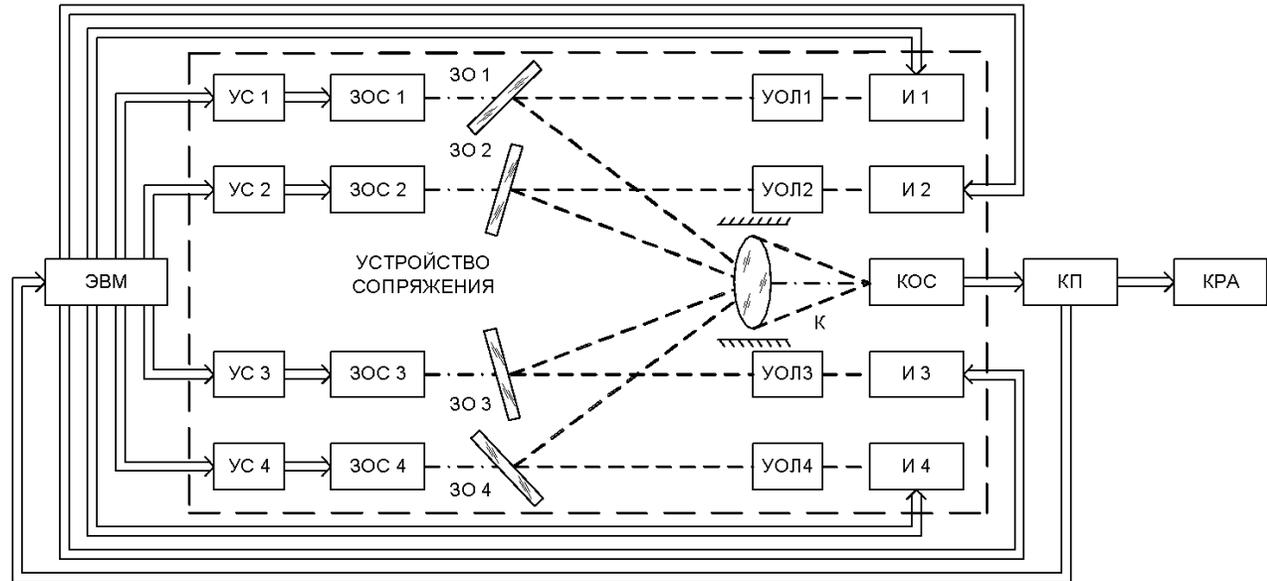
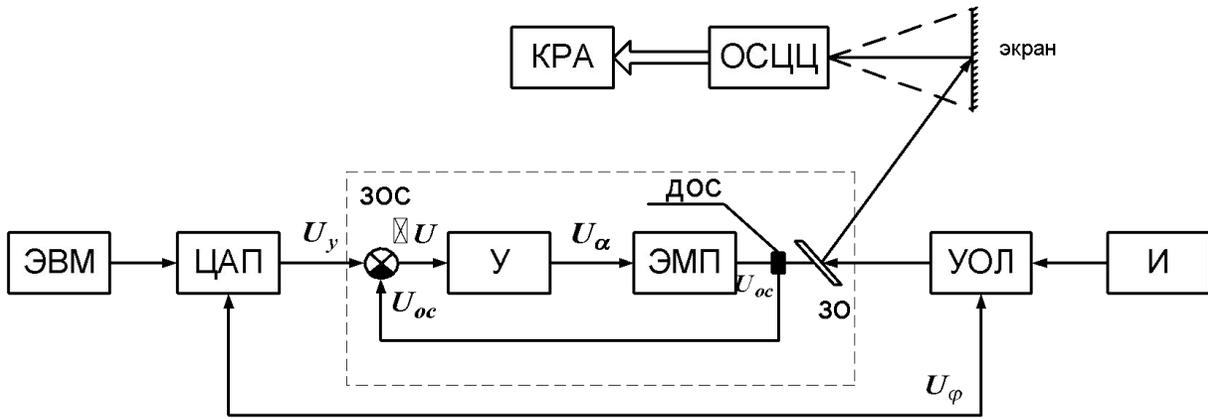


Рис. 5. Функциональная схема стенда для испытаний ОССЦ:
 КРА – контрольно-регистрирующая аппаратура; И – излучатель;
 УОЛ – устройство обработки луча; ЗО – зеркальный отражатель; ЗОС –
 зеркально-отклоняющая система; ЭВМ – электронно-вычислительная
 машина; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

Рис. 6. Функциональная схема стенда для испытаний СТУ:
 КП – командный пункт; К – конденсорный объектив;
 КОС – коллиматорно-оптическая система;
 ЗОС – зеркально-отклоняющая система; И – излучатель;
 ЗО – зеркальный отражатель; УОЛ – устройство обработки луча;
 УС – устройство сопряжения;
 КРА – контрольно-регистрирующая аппаратура.



Лист 7	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Стенд для экспериментальной отработки СТУ



Рис. 7. Общий вид стенда для испытаний СТУ

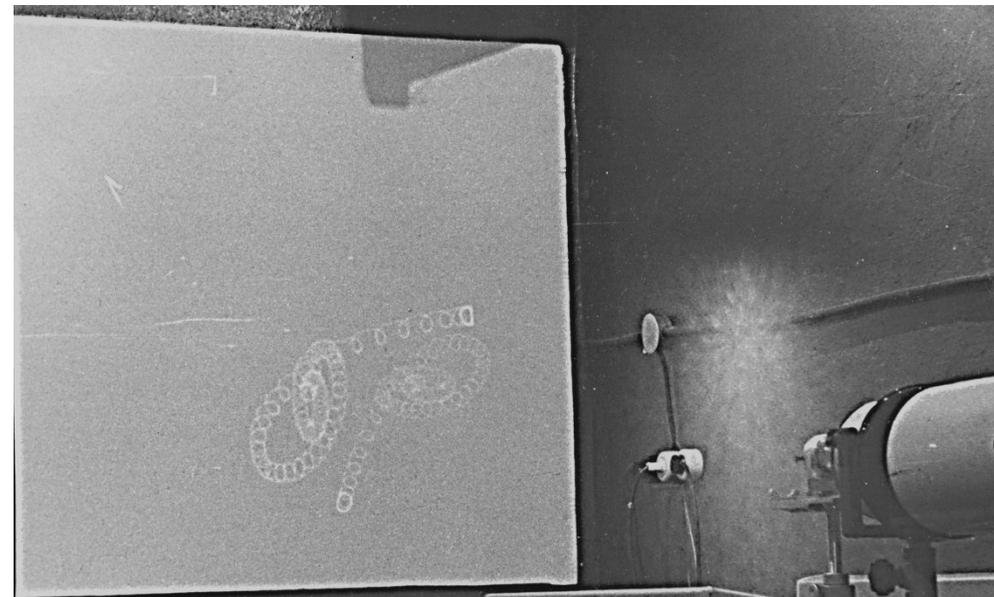


Рис. 8. Имитация вывода объекта со сканирующим излучателем на линию прицеливания в условиях действия световой помехи



Лист 8	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

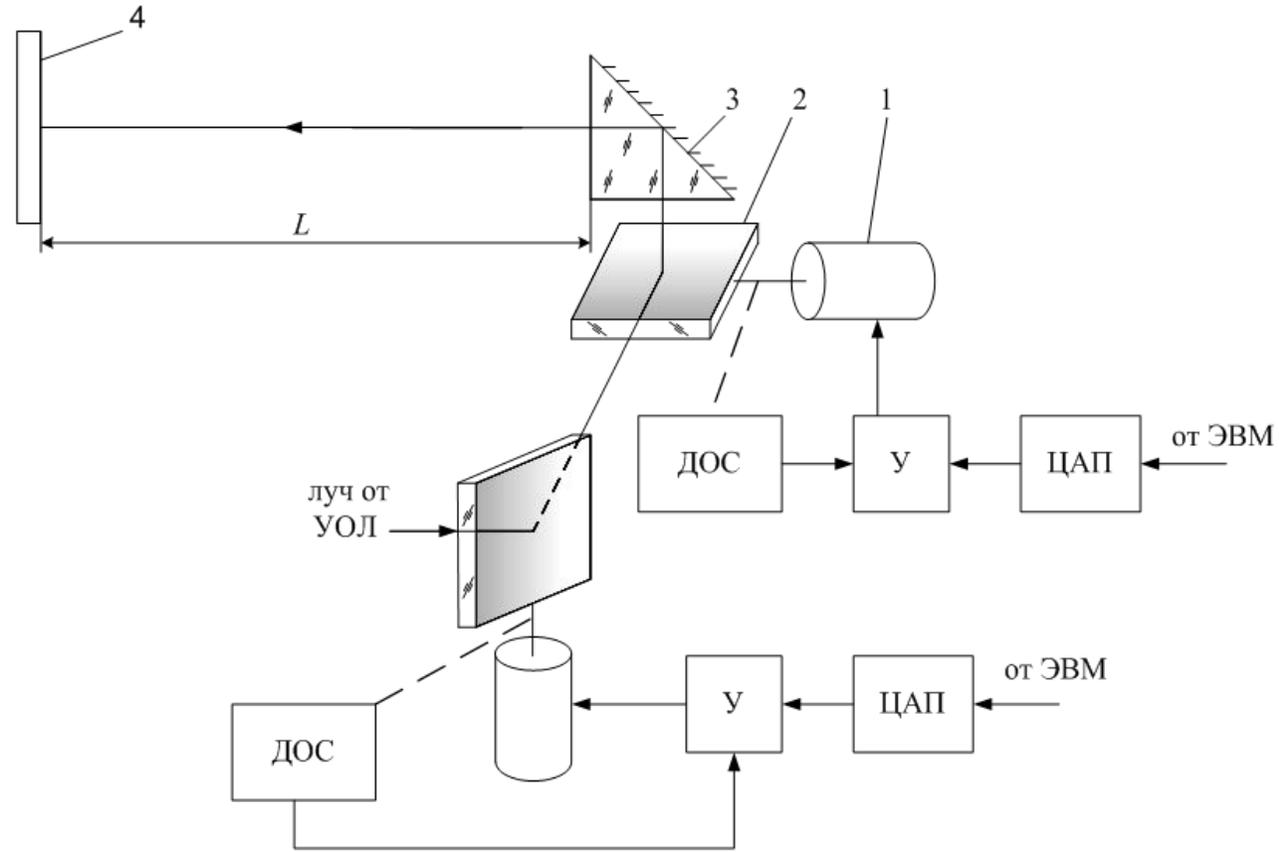
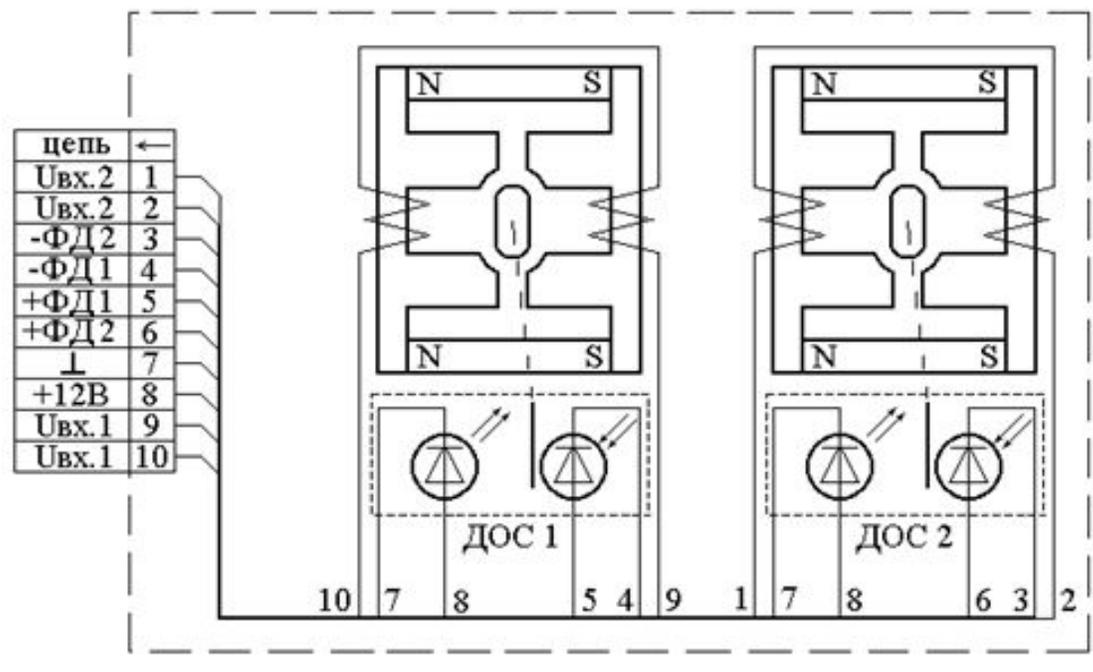


Рис. 9. Принципиальная схема ЗОС:
 1 - электромеханический преобразователь;
 2 - зеркальный отражатель;
 3 – призма; 4 – экран

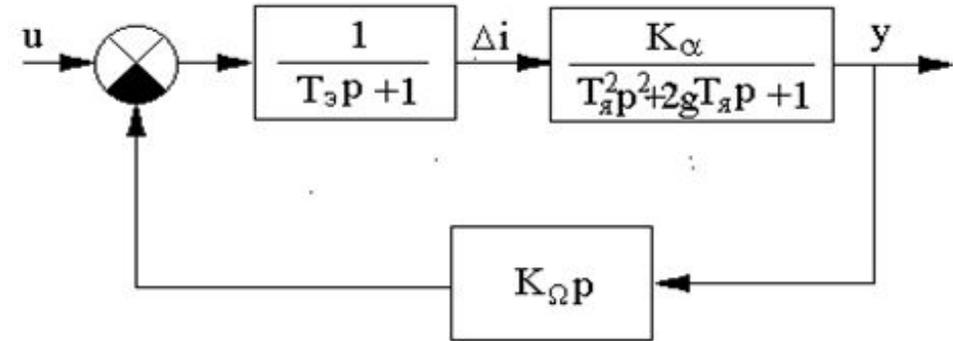


Лист 9	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Принципиальная электрическая схема ЭМП с датчиками угла



Структурная схема ЭМП

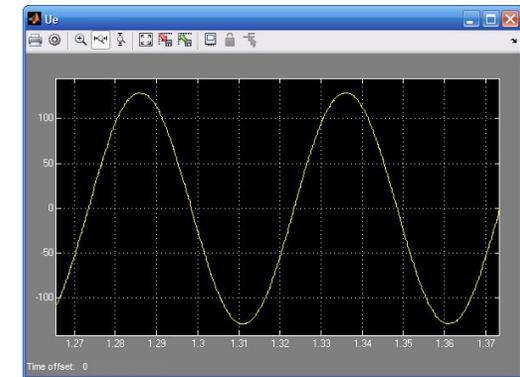
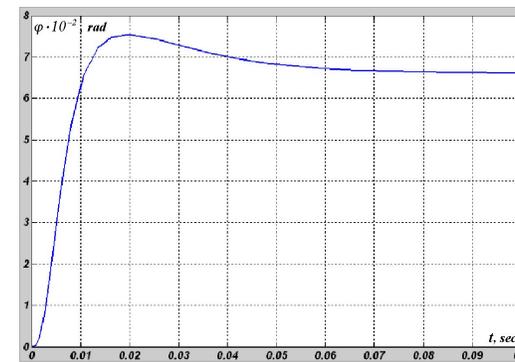
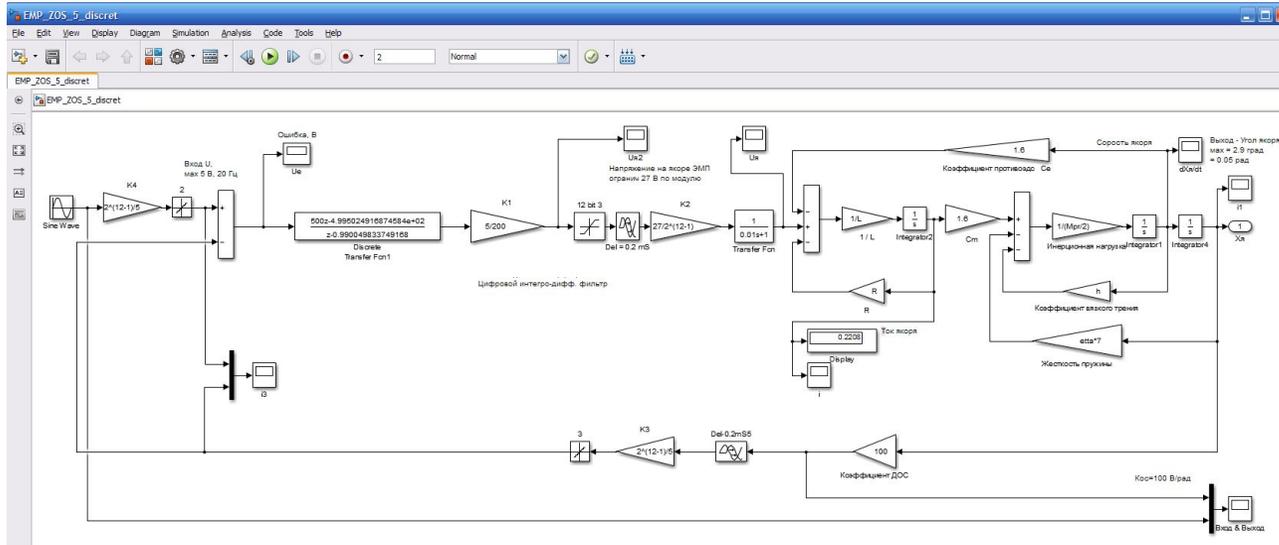
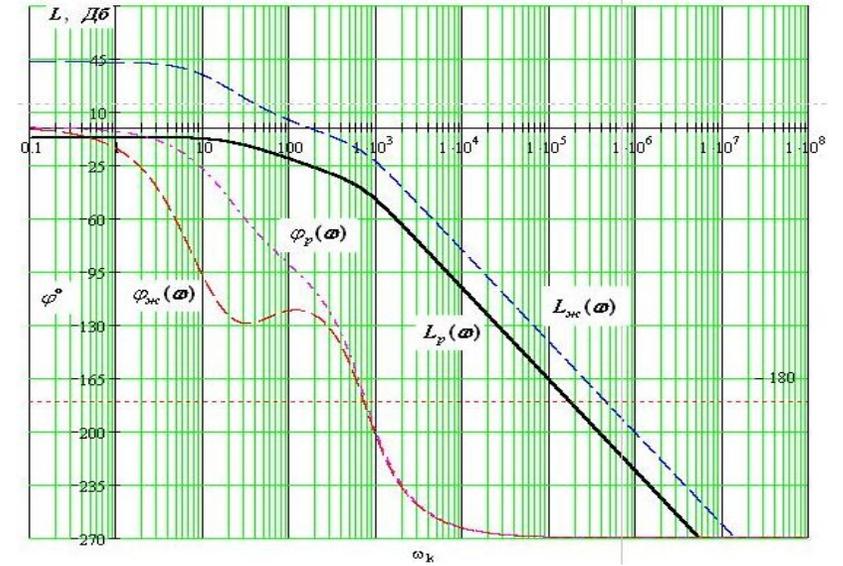
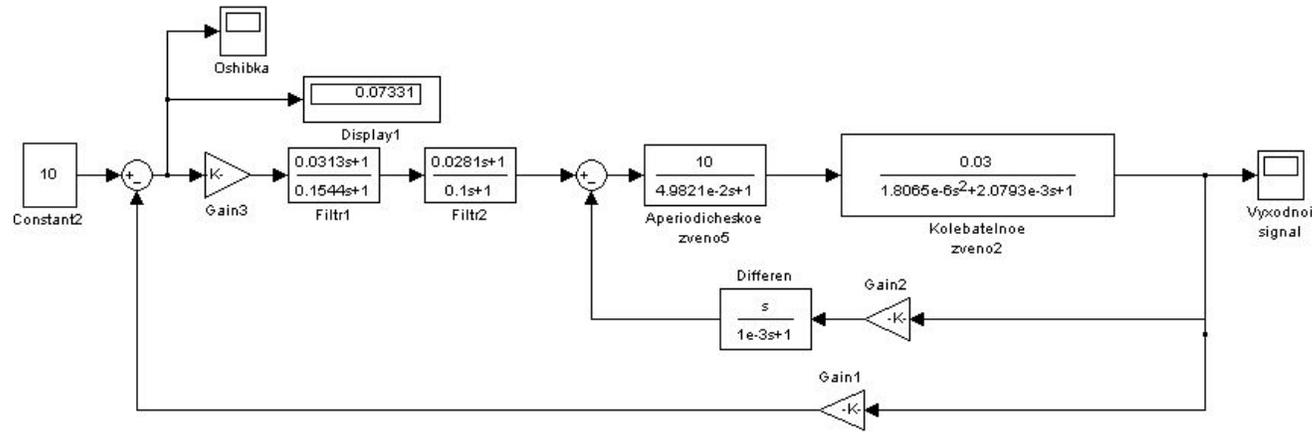


Проектирование ЗОС сводится к синтезу закона управления ЭМП, который обеспечивает высокую точность режима слежения при обеспечении его устойчивости.



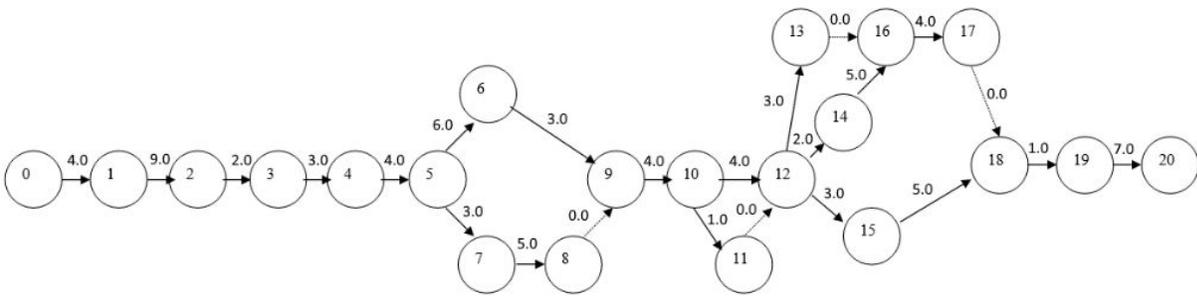
Лист 10	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Синтез управления зеркально-отклоняющей системы



СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

1
1



№ события	Перечень событий
1	Выдача ТЗ на проектирование системы
2	ТЗ проработано
3	Литература подобрана
4	Литература изучена
5	Анализ типов систем управления проведен
6	Вариант систем управления выбран
7	Энергетический расчет проведен
8	Элементы систем управления выбраны
9	Математическая модель построена
10	Функциональная схема построена
11	Изучены результаты моделирования
12	Выбор микроконтроллера осуществлен
13	Эскизный проект выпущен
14	ТЗ скорректировано
15	Аналитические расчеты проведены
16	Макетирование проведено
17	Принципиальная схема разработана
18	Создан работоспособный макет
19	Испытание систем управления проведено
20	Техническая документация разработана и выпущена

№ работы	Наименование работы	Продолжительность, дни		Затраты на выполнение работ, руб	
		T _{min}	T _{max}	C _{min}	C _{max}
0-1	Разработка ТЗ	30	36	3333	4000
1-2	Анализ ТЗ	10	15	2300	3200
2-3	Подбор литературы	30	45	4000	5250
3-4	Изучение литературы	25	34	3200	3900
2-5	Анализ типов систем управления	30	45	2000	2600
2-6	Выбор варианта	60	80	3800	4600
4-7	Фиктивная работа	0	0	0	0
5-7	Фиктивная работа	0	0	0	0
6-7	Энергетический расчет	10	15	1900	2400
7-8	Выбор элементов систем управления	25	36	2500	3600
8-9	Построение мат. модели	10	17	1000	2833
8-10	Построение функциональной модели	10	15	1333	2000
8-11	Синтез	15	28	2250	4200
11-12	Выбор микроконтроллера	80	100	25333	31666
12-13	Выпуск эскизного проекта	20	30	2000	3000
12-14	Корректировка ТЗ	30	45	50000	70000
11-15	Выпуск инструкций по сборке и настройке	30	40	3500	4666
11-16	Выпуск ТУ	20	30	2333	3500
14-17	Аналитический расчет	120	150	96000	120000
9-18	Фиктивная работа	0	0	0	0
10-18	Фиктивная работа	0	0	0	0
13-18	Фиктивная работа	0	0	0	0
15-18	Фиктивная работа	0	0	0	0
18-19	Макетирование систем управления	15	20	4000	5200
11-19	Разработка принципиальной схемы	5	9	250	450
18-20	Испытание систем управления	35	45	4416	5450
19-20	Разработка технической документации по результатам испытания	35	44	4166	5666



Лист 11	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	

Рассмотрены вопросы разработки стенда для динамических испытаний системы телеуправления (СТУ) подвижным объектом. В результате проектирования получены следующие результаты:

- Проведен патентно-информационный поиск по проблеме моделирования динамических испытаний командной оптико-электронной двухканальной СТУ;
- Построены математическое описание и Simulink-схема контура телеуправления;
- В соответствии с требованиями ТЗ методом желаемых ЛАЧХ выполнен синтез последовательного дифференцирующего фильтра в составе контура;
- В пакете Simulink выполнено моделирование СТУ. Проведен анализ динамики и точности системы.
- Проведена экспериментальная отработка алгоритма управления;
- Выбран исполнительный элемент для устройства сопряжения в составе стенда для испытаний СТУ.
- Рассмотрена конструкция зеркально-отклоняющей системы (ЗОС), реализованной на базе двух электромеханических преобразователей.
- Выполнен синтез управления ЗОС по непрерывной и дискретной моделям.
- Проведена экспериментальная отработка алгоритма управления ЗОС с контролем показателей динамики и точности;



Лист 12	Листов 12	РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ
Студент	Бакурский С.С.	