

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

---

А.П. Григорьев

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

«Исследование человека-оператора в контуре управления ЛА»  
по дисциплине: СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛА И ИХ  
СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Санкт-Петербург

2014

Цель работы: изучение человека-оператора и влияние параметров математической модели человека-оператора на характеристики переходного процесса контура управления ЛА.

### Методические указания

На человека-оператора (ЧО) возлагаются функции принятия решения сложных и непредвиденных ситуаций в управлении летательным аппаратом (ЛА). Оптимальное распределение функций между ЧО и системой автоматического управления (САУ) позволяет реализовать надежную работу систем.

Рассмотрим ЧО как одноканальную систему переработки информации с ограниченной пропускной способностью (летчик может достаточно хорошо управлять процессами со спектрами от 0 до 0,5 Гц) и дадим математическую трактовку его передаточных характеристик.

При работе в замкнутом контуре ЧО является одним из его звеньев (рис.1), при этом процессы в контуре управления определяются динамическими параметрами технической части и характеристиками самого ЧО.

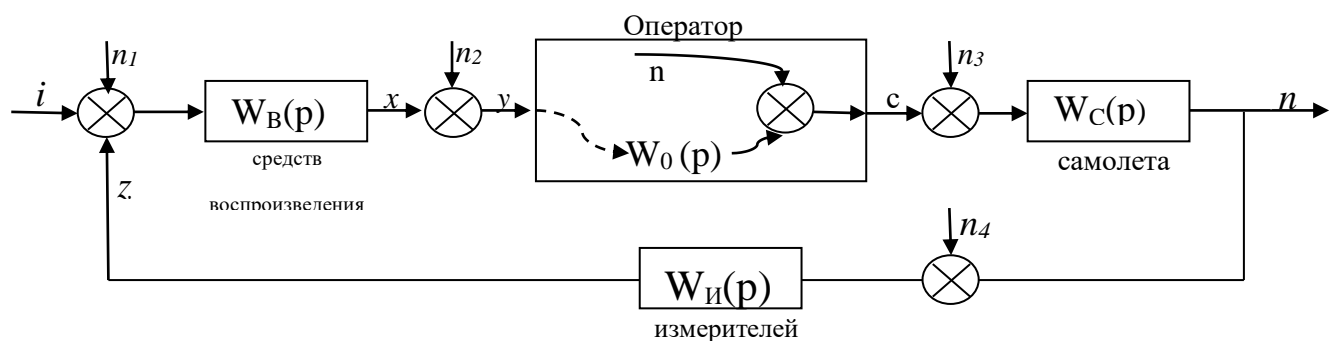


Рис.1 Структурная схема контура управления с ЧО.

На рисунке 1 ЧО представлен простейшим линейным самонастраиваемым звеном.  $W_0$  – линейная передаточная функция ЧО.  $n_1-n_n$  – приведенные ко входу шумы в системе.  $i$  – полезный входной сигнал. Выходной сигнал ЧО складывается из линейной части  $W_0$  и аддитивной добавки  $n$ . ЧО работает в режиме слежения. Нелинейная характеристика ЧО (типа зоны нечувствительности) представлена белым шумом  $n$ .  $W_C, W_B, W_U$  являются необходимыми условиями адекватности передаточной функции  $W_0$ :

$$W_0(p) = \frac{C(p)}{y(p)} = \frac{K \cdot e^{-\tau p} \cdot (a \cdot \tau_1 p + 1)}{(\tau_1 p + 1) \cdot (\tau_2 p + 1)}$$

где  $W_0(p)$  – передаточная функция ЧО, представленная в виде простейшего нелинейного самонастраиваемого звена

*В числителе:*

$K$  – коэффициент пропорциональности (от 15 до 100);

$e^{-\tau p}$  – чистое запаздывание ЧО, вызванное его мозговой деятельностью (0,1-0,2с интервал, в течении которого человек никак не реагирует на сигнал);

$a\tau_1 p + 1$  – характеризует степень натренированности человека

$\tau_1$  – коэффициент учитывающий степень натренированности

*В знаменателе:*

$a\tau_1 p + 1$  – механистическое запаздывание при отработке управляющих сигналов, обусловленная временем прохождения нелинейных сигналов и инерционного движения человека.

$a\tau_2 p + 1$  – запаздывание механистическое, связанное с работой самого исполнительного механизма.

## Задание

Построить график переходного процесса передаточной функции ЧО с коэффициентами, указанными в варианте задания. Затем включить в контур управления передаточную функцию ЛА (рис.2). Построить графики и добиться наименьшего времени переходного процесса. Сделать выводы как влияет изменение параметров  $K$ ,  $\tau$ , и  $a$  на характеристики переходного процесса.

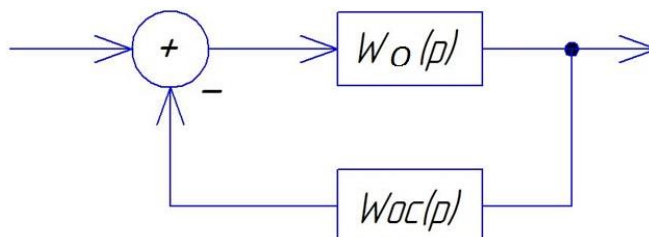


Рис.2 Структурная схема контура управления

## Исходные данные

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau_1$	5,1	5,05	5,6	5	5,42	5,2	5,34	5,8	5,25	5,7
$\tau_2$	0,0900	0,0902	0,0921	0,0912	0,0908	0,0906	0,0909	0,0905	0,0910	0,0915
$\tau$	0,10	0,17	0,25	0,45	0,2	0,18	0,22	0,43	0,19	0,30
$a$	0,067	0,051	0,055	0,078	0,08	0,067	0,035	0,062	0,067	0,070
$K$	17	53	78	20	15	31	18	42	90	16

## Пример выполнения задания в пакете Matlab Simulink.

По условию задания:

$$\tau_1=5$$

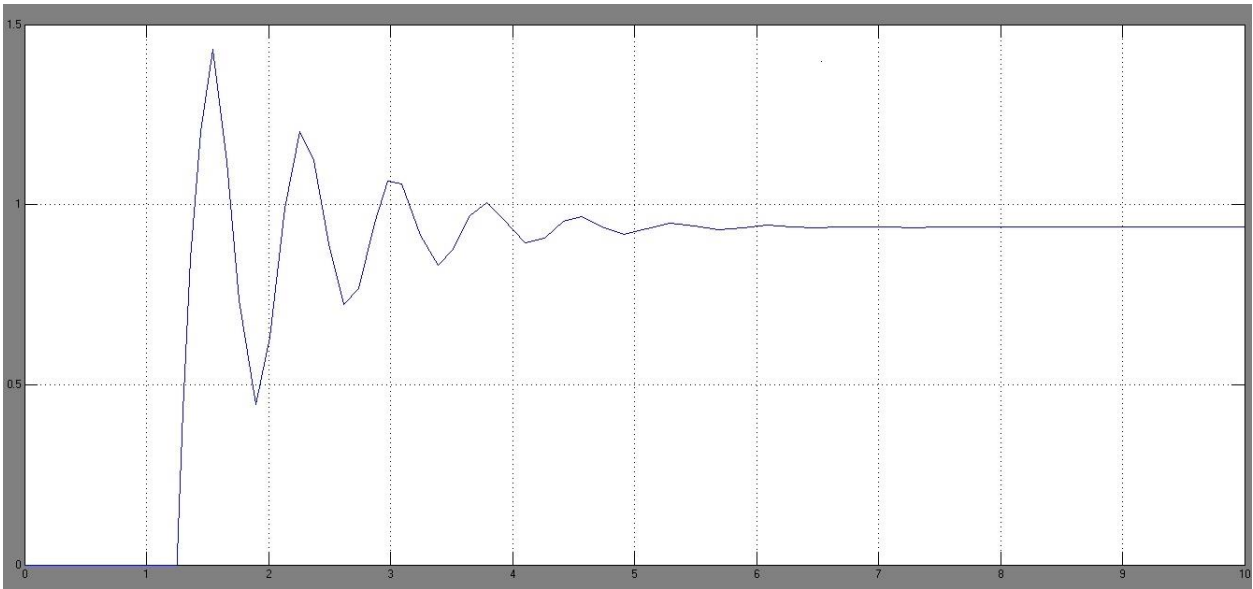
$$\tau_2=0.0909$$

$$\tau=0.25$$

$$a=0.067$$

$$K=15$$

Построим график переходного процесса передаточной функции с коэффициентами, указанными выше.



Введем в схему передаточную функцию ЛА.

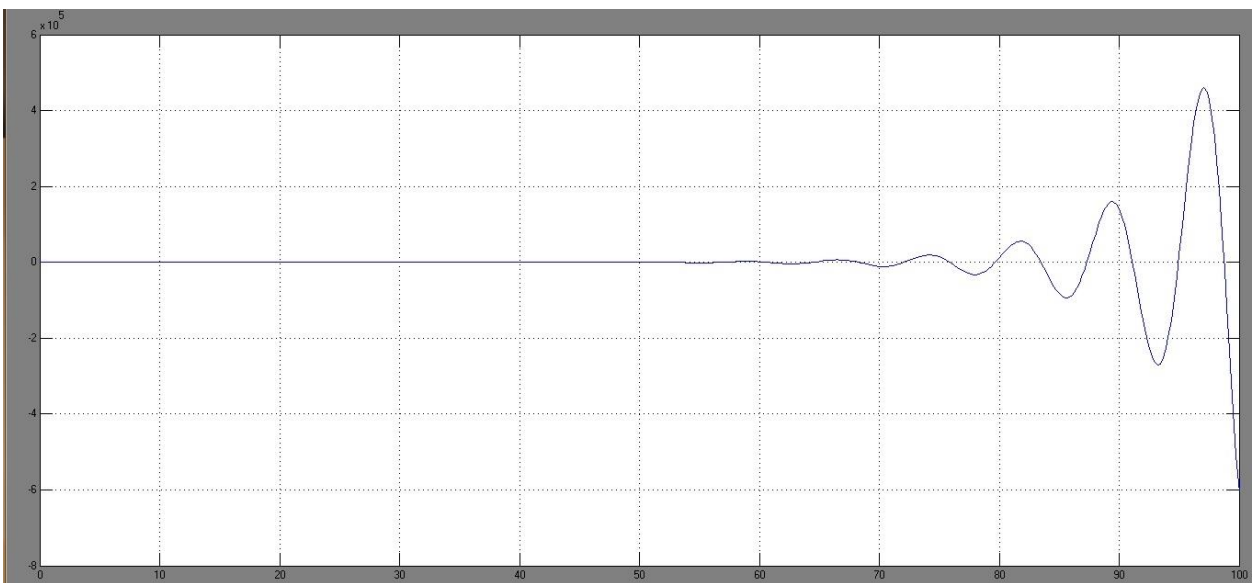
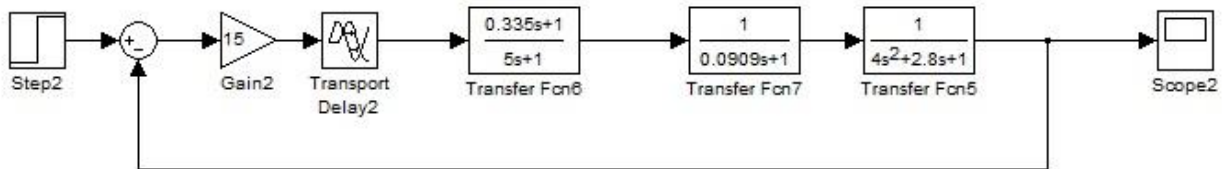
$$W_c(p) = \frac{1}{t^2 p^2 + 2t\xi p + 1}$$

где  $W_c(p)$  – передаточная функция ЛА

$t=2$

$\xi=0.7$

Тогда график переходного процесса будет иметь следующий вид:



Как видно из графика, процесс неустойчивый и незатухающий, что

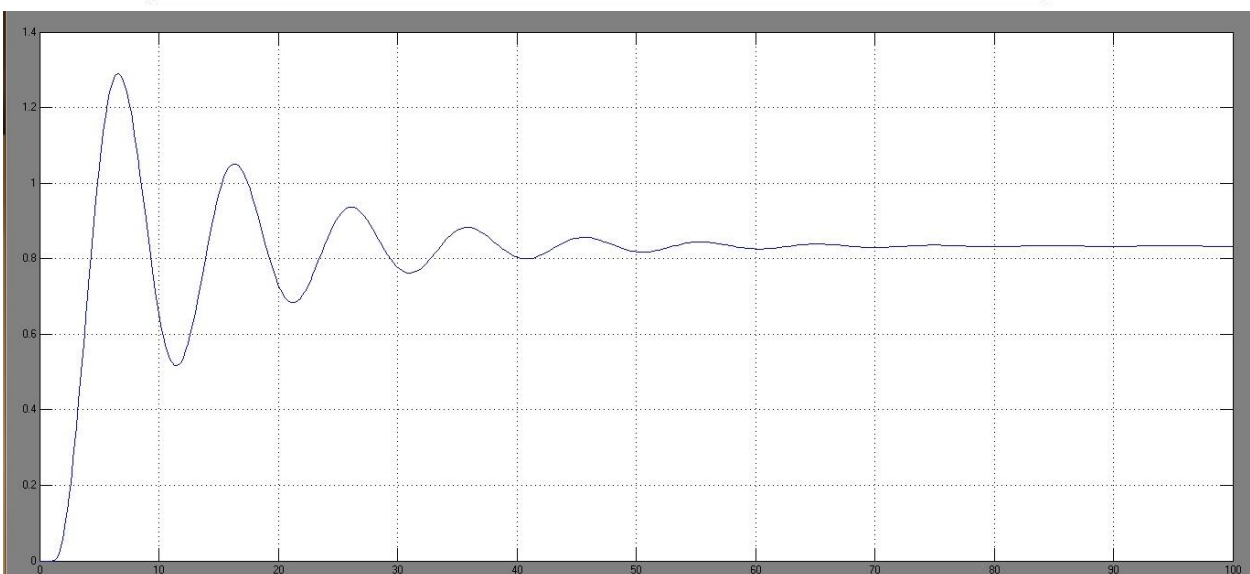
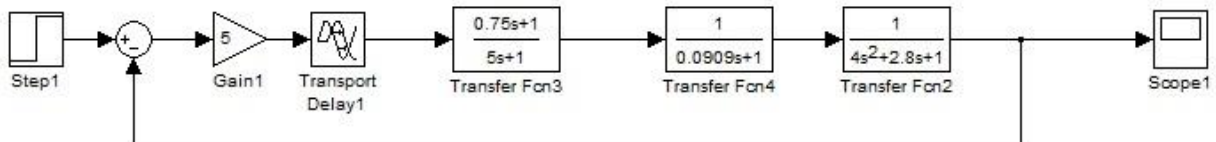
неприемлемо при управлении ЛА.

Попробуем устранить этот недостаток уменьшив коэффициент пропорциональности  $K$ , и сделаем его равным 5,8. Тогда график переходного процесса станет затухающим.



Устранить изначальный недостаток при введении передаточной функции ЛА путем увеличения только степени натренированности человека-оператора не удастся.

При  $K=5$ ,  $a=0.15$ ,  $\tau=0.1$  график переходного процесса будет выглядеть следующим образом:



Таким образом, при изменении коэффициентов  $K$ ,  $\tau$  и  $a$  ...

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Боднер, Системы управления летательными аппаратами – Москва: «Машиностроение», 1973. – 503с.
2. А.Н. Синяков, Ф.А. Шаймарданов Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками – Москва: «Машиностроение», 1991. – 320с.