

# Лабораторная работа

## СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОТЫ ПОЛЁТА

Пащенко А.Е.  
Зарубин Р.А.  
Вариант 3

**Цель работы:** Исследование методов математического моделирования системы стабилизации высоты на персональном компьютере.

### 1 Теоретический минимум

Стабилизация высоты полёта может быть достигнута как воздействием на руль высоты, так и посредством изменения тяги. Будем рассматривать наиболее распространённый случай, когда скорость полёта постоянна, а высота стабилизируется рулём высоты.

В общем виде при постоянной скорости полёта структурная схема высоты показана на рис. 1

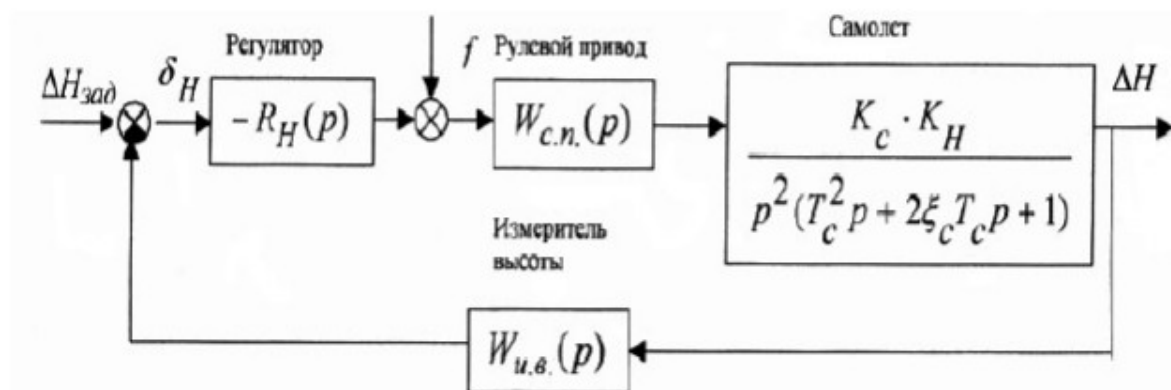


Рис. 1: Структурная схема системы стабилизации высоты

Устойчивость такого контура может быть обеспечена двумя путями:

1) введением внутренней стабилизирующей обратной связи по сигналу угла тангажа  $\vartheta$ , т.е. введением автопилота угла тангажа;

2) введением в закон управления  $R_H(p)$  сигнала первой производной отклонения высоты для случая, если сервопривод имеет жёсткую обратную связь, и суммы сигналов первой и второй производных от сигнала отклонения высоты для случая, когда

сервопривод имеет скоростную или издромную обратную связь.

На рис. 2 приведена структурная схема системы стабилизации высоты, содержащей автопилот угла тангажа.

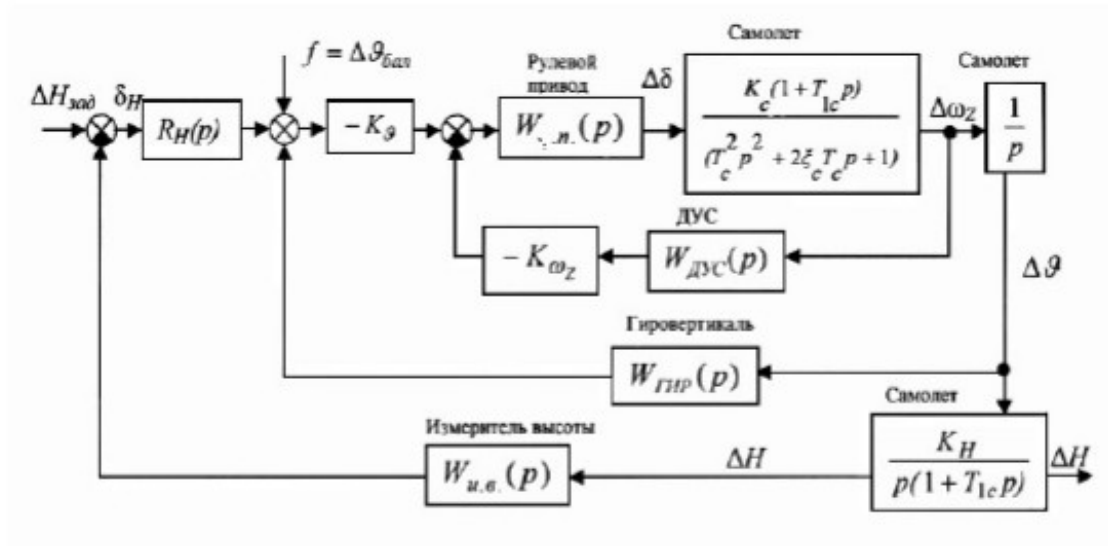


Рис. 2: Структурная схема системы стабилизации высоты

Основным преимуществом такой системы является то, что устойчивость траекторного контура обеспечивается регулятором  $R_H(p) = i_H$  за счёт сигнала угла тангажа, снимаемого с надёжного датчика – гировертикали, практически лишённого запаздывания. Система содержащая регулятор  $R_H(p) = i_H$ , называется статической системой т.к. этот регулятор не обеспечивает астатизм регулирования в отношении других возмущений.

$$\begin{cases} \Delta \dot{\alpha} = \Delta \omega_z - \bar{Y}_a^\alpha \Delta \alpha \\ \Delta \dot{\omega}_z = \bar{M}_z^\alpha \Delta \alpha + \bar{M}_z^{\omega_z} \Delta \omega_z + \bar{M}_z^{\delta_B} \Delta \delta_B \\ \Delta \dot{\vartheta} = \Delta \omega_z \\ \Delta \dot{V}_y = V_0 \bar{Y}_a^\alpha \Delta \alpha \\ \Delta \dot{H} = \Delta V_y \\ \Delta n_y = n_y^\alpha \Delta \alpha, \end{cases} \quad (1)$$

где система (1) – это система дифференциальных уравнений, используемая для моделирования движения самолёта в короткопериодическом движении.

$$\begin{cases} \Delta \delta_B = K_{\omega_z} \Delta \omega_z + K_{\vartheta} (\Delta \vartheta - \Delta \vartheta_{зад} + f) \\ \Delta \vartheta_{зад} = i_H (\Delta H_{зад} - \Delta H) + i_p \int_0^t (\Delta H_{зад} - \Delta H) dt \end{cases} \quad (2)$$

## 2 Исходные данные

Таблица 1: Исходные данные

$m_0$	25000 кг
$S$	50 м <sup>2</sup>
$b_a$	5м
$J_z$	50000 кг м <sup>2</sup>
$H$	1000 м
$M$	0.5

Таблица 2: Исходные данные

$Y_a^\alpha = a_{11}, 1/c$	0.642
$M_z^\alpha = a_{21}, 1/c^2$	5.65
$M_z^{\omega_z} = a_{22}, 1/c$	0.468
$M_z^{\delta_B} = b_2$	4.5
$V_0 = a_{46}, \text{м/с}$	168
$n_y^\alpha = a_{51}, 1/\text{рад}$	11.0
$K_{\omega_z}, c$	0.4
$K_\vartheta$	0.5, 1, 2
$i_H \text{ рад/м}$	0.000875 0.00175 0.002625
$i_p \text{ рад/м/с}$	0.0000875 0.000175 0.0002625
$\hat{t}_{cp}, c$	8
$\hat{\sigma}_{\Delta H}, \%$	30
$\hat{n}_{y_{max}}$	1.2
$\hat{H}_{ст}, \text{м}$	20

## 3 Лабораторная работа №1. Исследование статической системы стабилизации высоты полета.

### 3.1 Выполнение работы

#### 3.1.1 Ход работы

1. На персональном компьютере установить задачу 1, после чего в цикле для каждой пары коэффициентов заданных в табл. 1, определяются:

а) при отработке управляющего воздействия  $= 100\text{м}$ :

- время срабатывания
- максимальное значение высоты
- максимальное значение перегрузки.

б) при отработке постоянного возмущения  $f = -0.035 \text{ рад}$ :

- статическую ошибку регулирования .

Результаты расчетов оформить в виде таблица 3.

Таблица 3: Результаты расчётов

$K_{\vartheta}$	Показатель	$i_H$ , рад/м		
		0.000875	0.00175	0.002625
0.5	$t_{cp}, c$	15.82	9.5	7.3
	$\Delta H_{max}$ , м	115.1	131.3	141.5
	$\sigma_{\Delta H}$ , %	15.1	31.3	41.7
	$\Delta n_{y_{max}}$	0.27	0.54	0.809
	$\Delta H_{ст}$ , м	40	20	13.3
1	$t_{cp}, c$	15.4	8.25	6.2
	$\Delta H_{max}$ , м	106.2	120.3	130.5
	$\sigma_{\Delta H}$ , %	6.2	20.3	30.5
	$\Delta n_{y_{max}}$	0.441	0.88	1.317
	$\Delta H_{ст}$ , м	40	20	13.3
2	$t_{cp}, c$	17.1	7.7	5.55
	$\Delta H_{max}$ , м	101.5	112.5	121.2
	$\sigma_{\Delta H}$ , %	1.5	12.5	21.2
	$\Delta n_{y_{max}}$	0.576	1.145	1.707
	$\Delta H_{ст}$ , м	40	20	13.3

2. Построить по данным табл. 3 графики следующих зависимостей:

$$t_{cp} = f_1(K_{\vartheta}, i_H); \sigma_{\Delta H} = f_2(K_{\vartheta}, i_H)$$

$$\Delta n_{y_{max}} = f_3(K_{\vartheta}, i_H); \Delta H_{ст} = f_4(K_{\vartheta}, i_H)$$

Нанести на графики прямые линии, соответствующие максимально допустимым величинам показателей качества переходных процессов  $t_{cp}$ .

$\hat{\sigma}_{\Delta H}; \Delta n_{y_{max}}; \Delta \hat{H}_{ст}$  (смотри табл. 2)

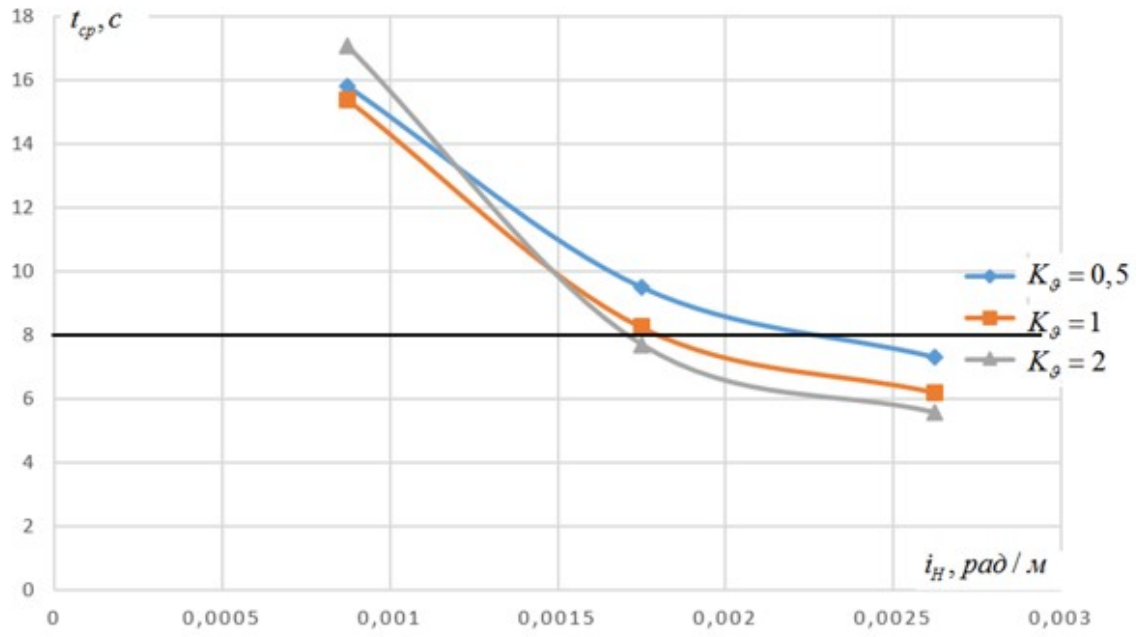


Рис. 3: Время срабатывания  $t_{cp}$ , с

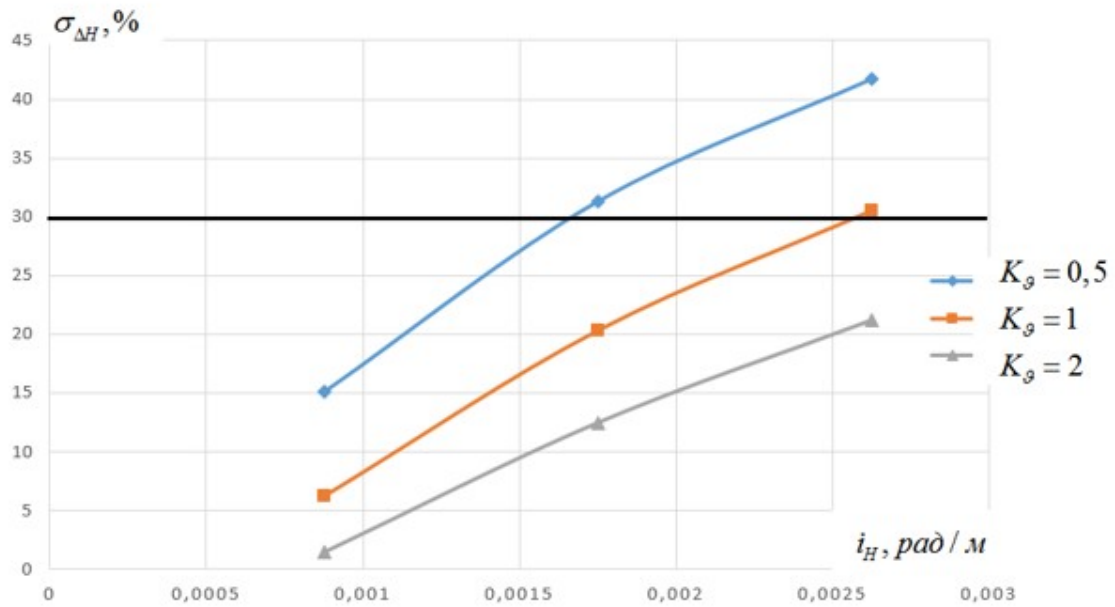


Рис. 4: Относительное перерегулирование  $\sigma_{dH}$ , %

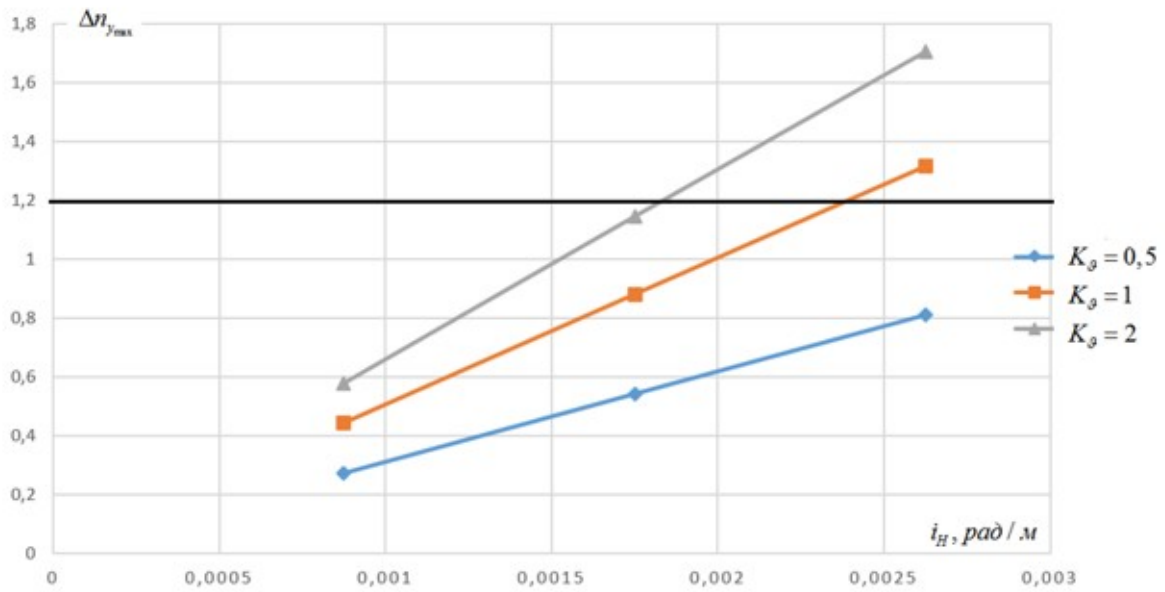


Рис. 5: Максимальное значение нормальной перегрузки  $\Delta n_{y_{max}}$

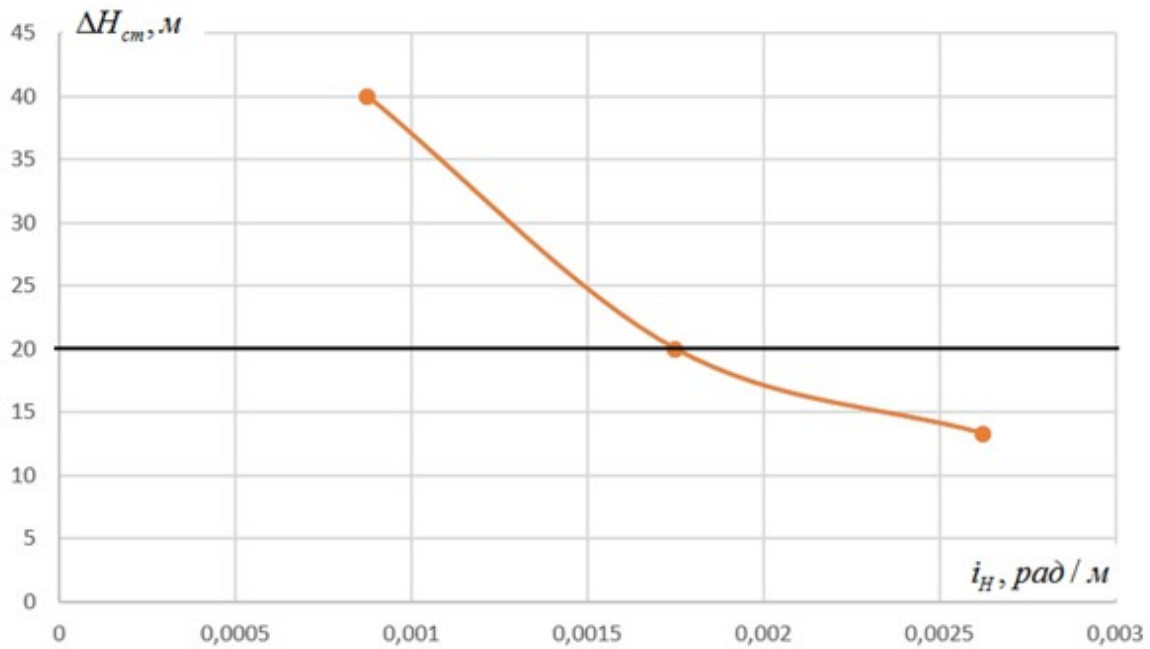


Рис. 6: Статистическая ошибка по высоте  $\Delta H_{ст}, \text{м}$

3. Построить, используя зависимости п. 2, допустимую область изменения коэффициентов усиления  $K_\phi = f(i_H)$  из условия
- $$t_{cp} \leq \hat{t}_{cp}; \sigma_{\Delta H} \leq \hat{\sigma}_{\Delta H}; \Delta n_{y_{max}} \leq \Delta \hat{n}_{y_{max}}; \Delta H_{ст} \leq \Delta \hat{H}_{ст}$$

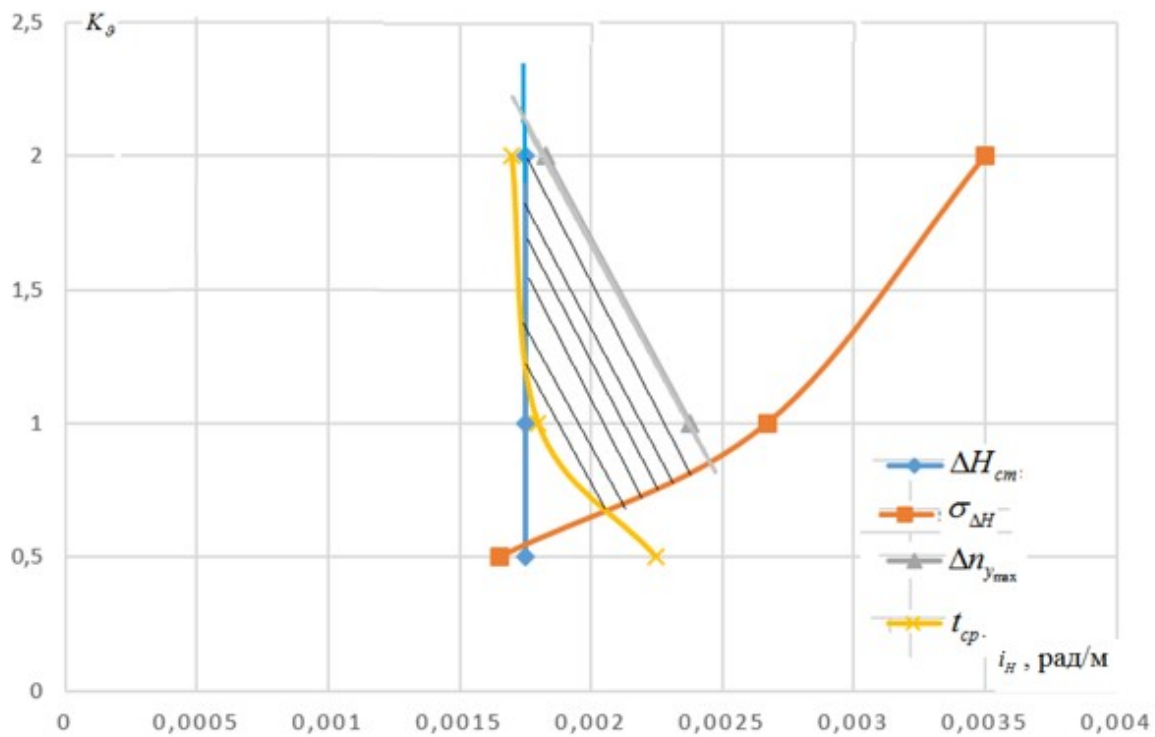


Рис. 7: Область изменения коэффициента усиления

### 3.1.2 Переходные процессы

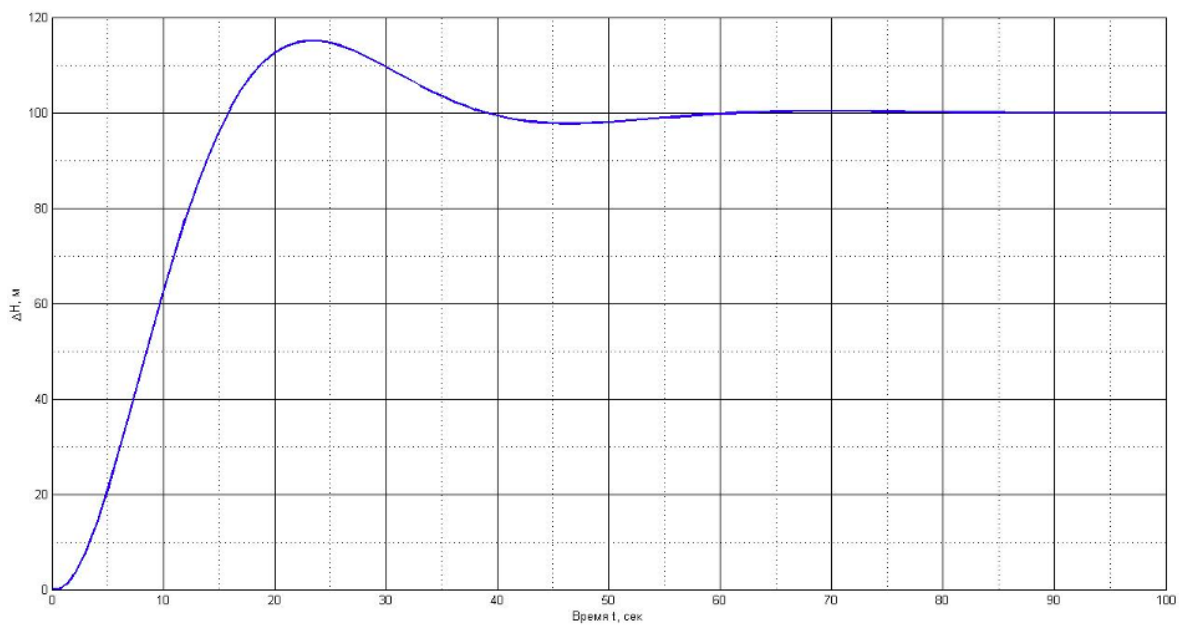


Рис. 8: График переходного процесса при  $K_\theta = 0.5$ ,  $i_H = 0,000875$  [рад/м],  $f = 0$

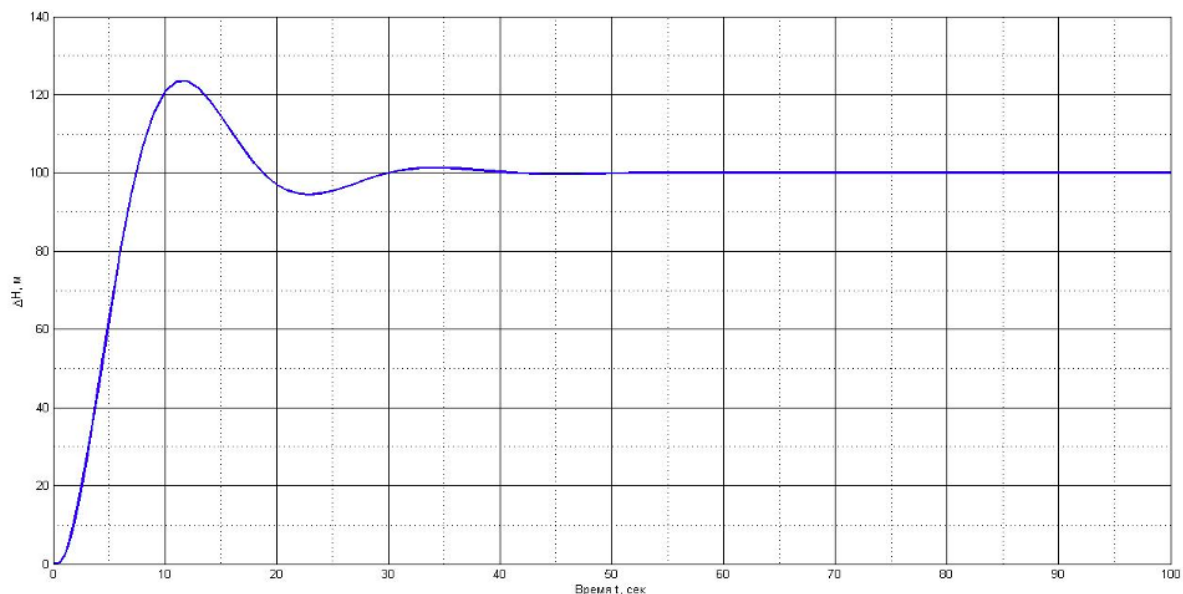


Рис. 9: График переходного процесса при  $K_\vartheta = 1$ ,  $i_H = 0,002$ [рад/м],  $f = 0$

### 3.1.3 Выводы

1. Статическая ошибка, возникающая при наличии возмущений, уменьшается с увеличением коэффициентов стабилизации.
2. При увеличении  $K_\vartheta$  и  $i_H$ , рад/м время срабатывания системы уменьшается.
3. При увеличении коэффициентов  $K_\vartheta$  и  $i_H$   $\Delta n_{y_{max}}$  возрастает.
4. Относительное перерегулирование при увеличении коэффициента  $K_\vartheta$  уменьшается, а при увеличении  $i_H$  увеличивается.

## 4 Лабораторная работа №2. Исследование астатической системы стабилизации высоты полета.

### 4.1 Выполнение работы

#### 4.1.1 Ход работы

1. Установить на персональном компьютере задачу 2, после чего выставить значения коэффициентов  $K_\vartheta$ ,  $i_H$ , соответствующие центру допустимой области изменения коэффициентов усиления  $K_\vartheta = f(i_H)$ . Далее в цикле для каждого значения коэффициента  $i_p$  (см. табл. 2) определяются:
  - а) при отработке управляющего воздействия  $\Delta H = 100$ м: максимальное значение высоты ;
  - б) при отработке постоянного возмущения  $f = -0.035$  рад: время регулирования (время, по истечению которого переходный процесс входит в 5%-ную трубку установившегося значения относительно  $\Delta H_{max}$ ).

Результаты расчетов приведены в виде таблицы 4.



Таблица 4: Результаты расчётов при  $K_\theta = 2, i_H = 0.00175$ , рад/с

$i_p$ рад/м/с	0.0000875	0.000175	0.00035
$t_{\text{рег}}, c$	42	37	86
$\Delta H_{\text{max}}, \text{м}$	138.7	154.6	180.1
$\sigma_{\Delta H}, \%$	38.7	154.6	80.1

2. Построить по данным табл. 4 графики следующих зависимостей:

- $\sigma_H(i_p)$  при отработке управляющего воздействия  $\Delta H_{\text{зад}}$ ;
- $t_{\text{рег}}(i_p)$  при отработке возмущения

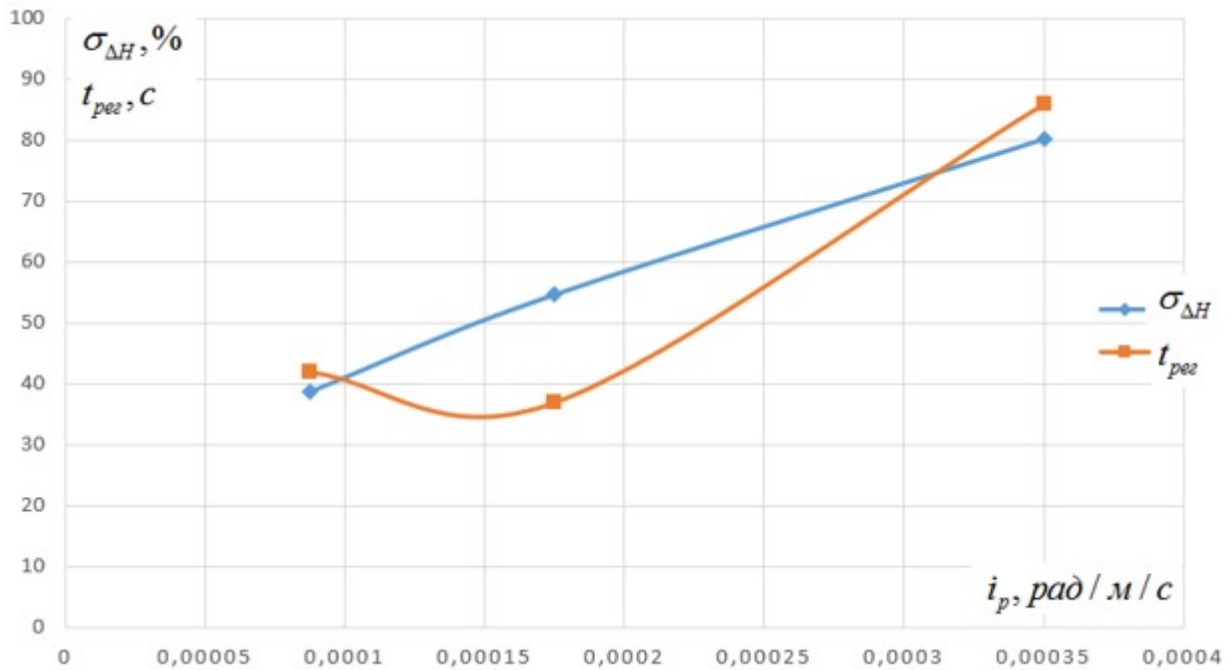


Рис. 10: График зависимостей  $\sigma_H(i_p)$  и  $t_{\text{рег}}(i_p)$

#### 4.1.2 Выводы

1. При увеличении  $i_p$  относительное перерегулирование возрастает.
2. Зависимость  $t_{\text{рег}}(i_p)$  имеет минимум  $i_p^*$  до которого время регулирования уменьшается, а далее возрастает. В данной работе  $i_p^* = 0.00015$