

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 изменением 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

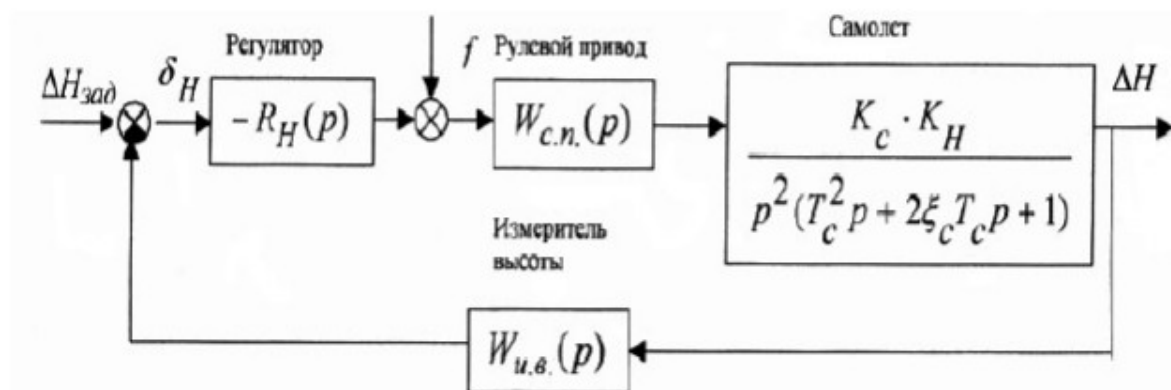


Рис. 1: Структурная схема системы стабилизации высоты

Устойчивость такого контура может быть обеспечена двумя путями:

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

2) введением в закон управления $R_H(p)$ сигнал 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 изотропную обратную связь.

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

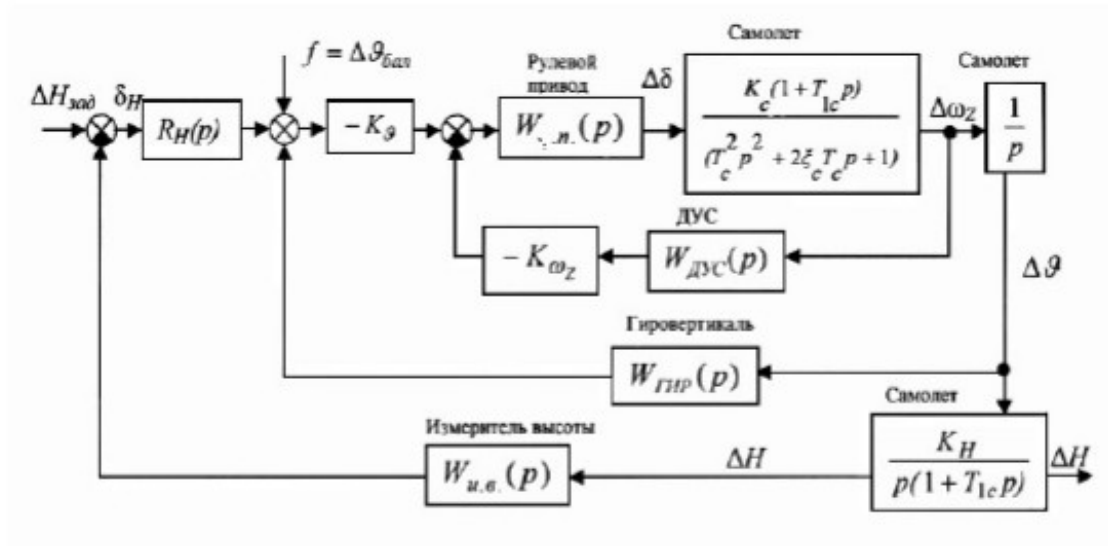


Рис. 2: Структурная схема системы стабилизации высоты

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.

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

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

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

2 Исходные данные

Таблица 1: Исходные данные

m_0	25000 кг
S	50 м ²
b_a	5м
J_z	50000 кг м ²
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
$V_0 = a_{46}, \text{м}/c$	168
$n_y^\alpha = a_{51}$	11.0
K_{ω_z}, c	0.4
K_ϑ	0.5, 1, 2
i_H рад/м	0.000875 0.00175 0.002625
i_p рад/м	0.0000875 0.000175 0.0002625
\hat{t}_{cp}, c	8
$\hat{\sigma}_{\Delta H}, \%$	30
$\hat{n}_{y_{max}}, c$	1.2
$\hat{H}_{cm}, \text{м}$	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 $f = -0.035$ рад:

- статическую ошибку регулирования .

Результаты расчетов оформить в виде таблица 4.

Таблица 3: Нестандартные болты для левой резьбы.

Нестандартные болты	Диаметр	
	Норма	Разброс
Размеры	10 мм	1 мм

Таблица 4: Нестандартные болты для левой резьбы.

K_{ϑ}	Показатель	i_H , рад/м		
		0.000875	0.00175	0.002625
0.5	t_{cp}, c	15.82	9.5	7.3
	ΔH_{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
	ΔH , м	40	20	13.3
1	t_{cp}, c	15.4	8.25	6.2
	ΔH_{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
	ΔH , м	40	20	13.3
2	t_{cp}, c	17.1	7.7	5.55
	ΔH_{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
	ΔH , м	40	20	13.3

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

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

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

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

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

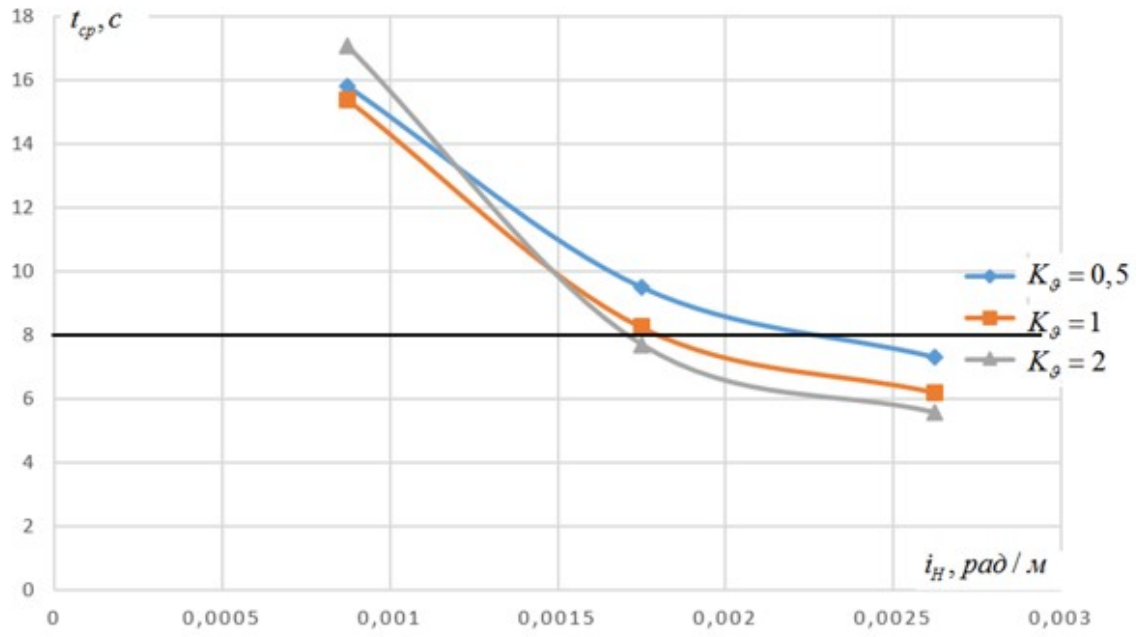


Рис. 3: Время срабатывания t_{cp}

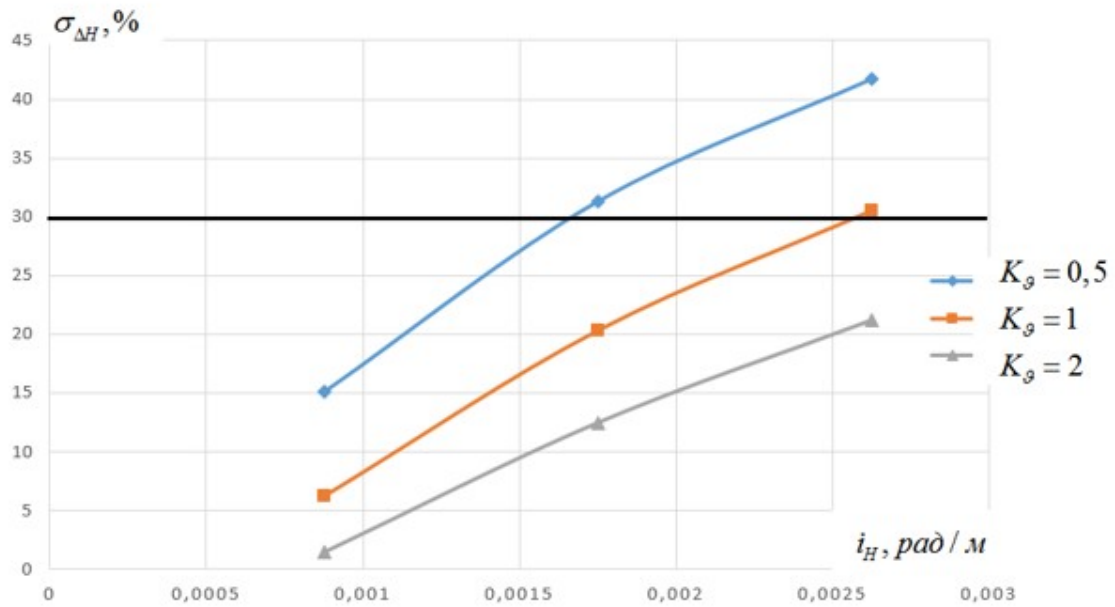


Рис. 4: Относительное перерегулирование $\sigma_{\Delta H}$

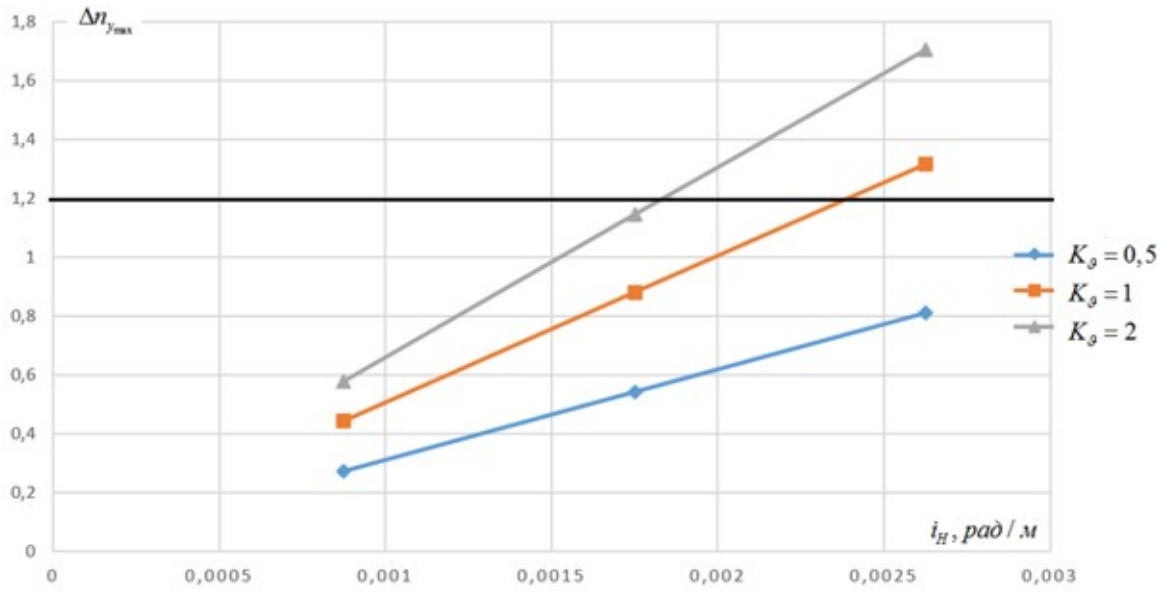


Рис. 5: Максимальное значение нормальной перегрузки $\Delta n_{y_{max}}$

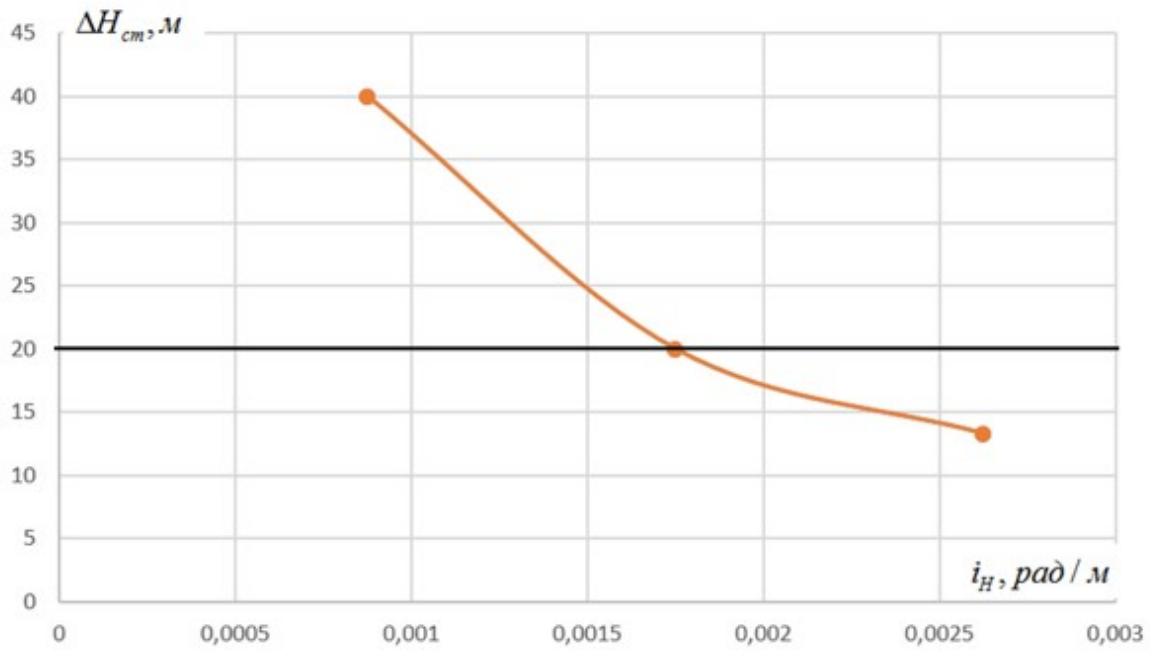


Рис. 6: Статистическая ошибка по высоте ΔH_{cm}

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

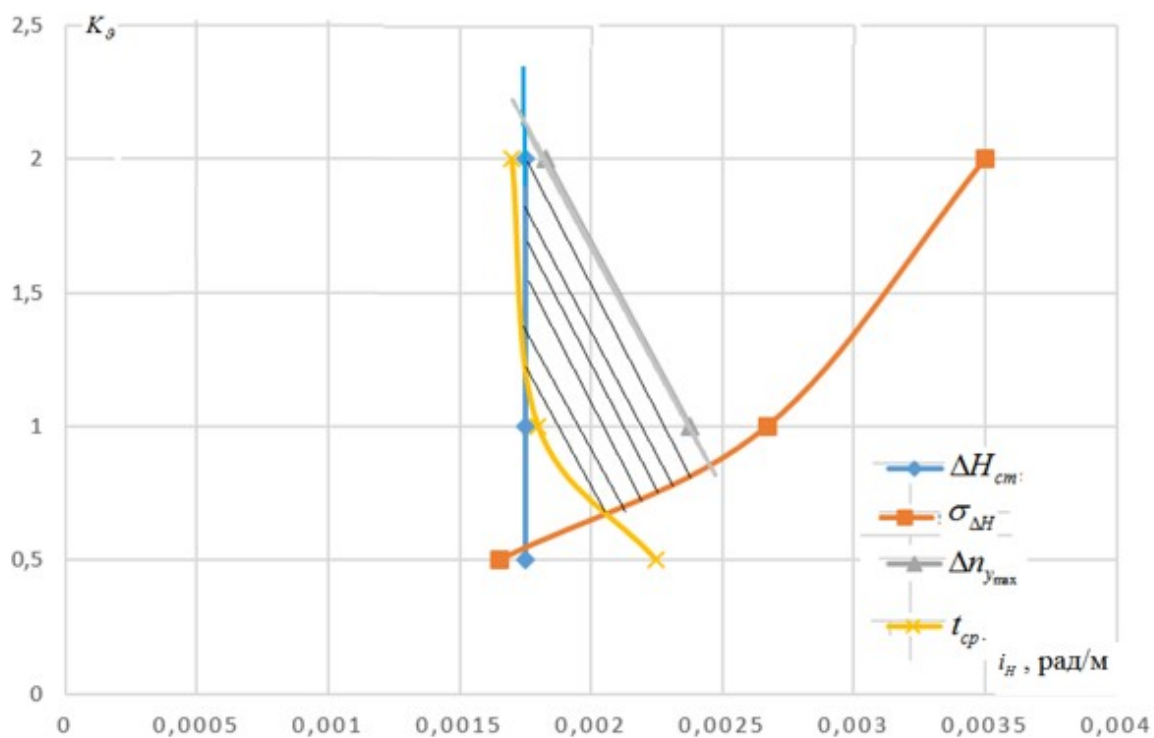


Рис. 7: Область изменения коэффициента усиления

3.1.2 Переходные процессы

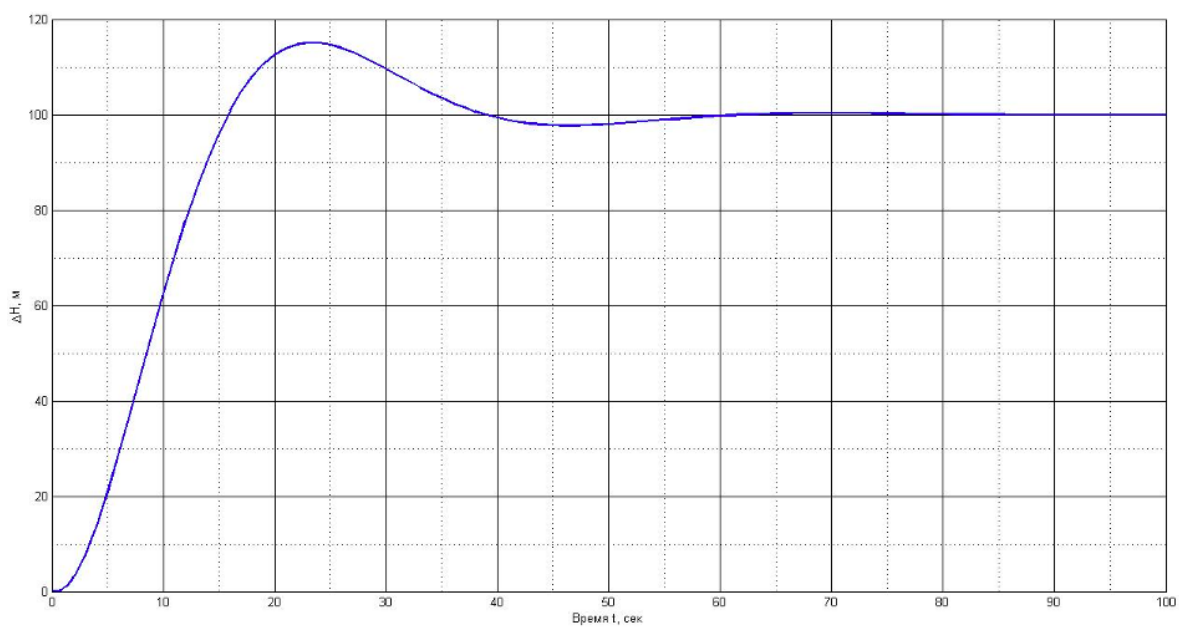


Рис. 8: График переходного процесса при $K_\theta = 0.5$, $i_H = 0,000875$ [рад/м], $f = 0$

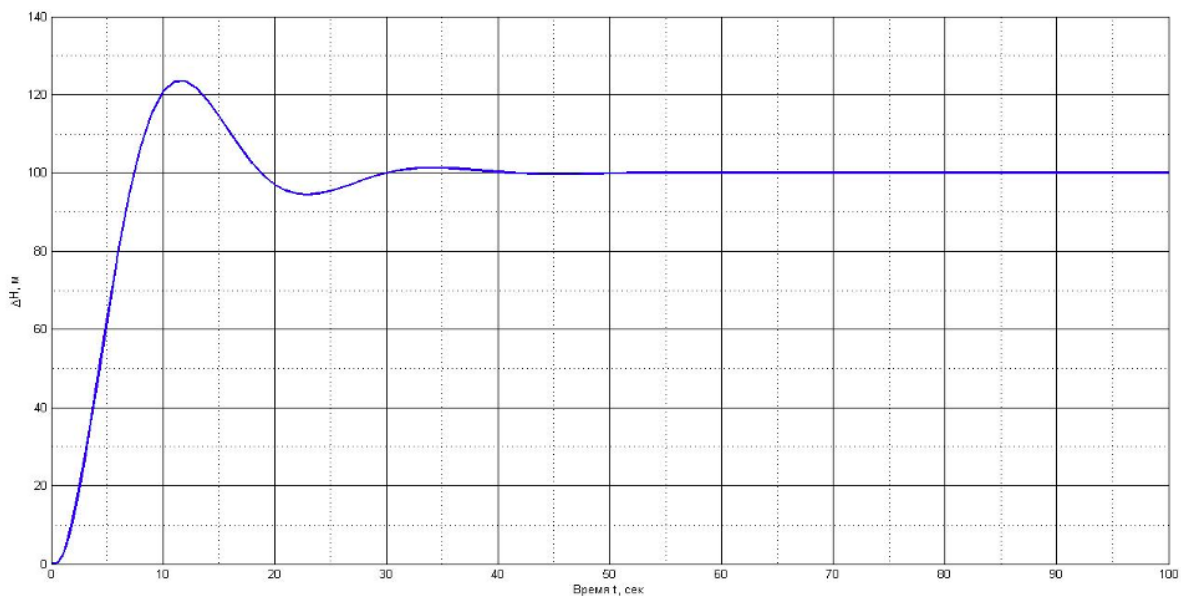


Рис. 9: График переходного процесса при $K_{\vartheta} = 1, i_H = 0,002[\text{рад/м}], f = 0$

3.1.3 Выводы

1. Статическая ошибка, возникающая при наличии возмущений, уменьшается с увеличением коэффициентов стабилизации.
2. При увеличении K_{ϑ} и i_H , рад/м время срабатывания системы уменьшается.
3. При увеличении коэффициентов K_{ϑ} и i_H $\Delta n_{y_{max}}$ возрастает.
4. Относительное перерегулирование при увеличении коэффициента K_{ϑ} 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_{ϑ}, i_H соответствующие центру допустимой области изменения коэффициентов усиления $K_{\vartheta} = f(H)$. Далее в цикле для каждого значения коэффициента i_p (см. табл. 2) определяются:
 - а) при отработке управляющего воздействия $\Delta H = 100\text{м}$: максимальное значение высоты ;
 - б) при отработке постоянного возмущения $f = -0.035$ рад: время регулирования (время, по истечению которого переходный процесс входит в 5относительно).

Результаты расчетов приведены в виде таблицы 5.

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

Таблица 5: Результаты расчётов при $K_{\vartheta} = 2, i_H = 0.00175, \text{ рад/с}$

2. Построить по данным табл. 5 графики следующих зависимостей:

- $\sigma_H(i_p)$ при отработке управляющего воздействия ΔH ;
- $t(i_p)$ при отработке возмущения

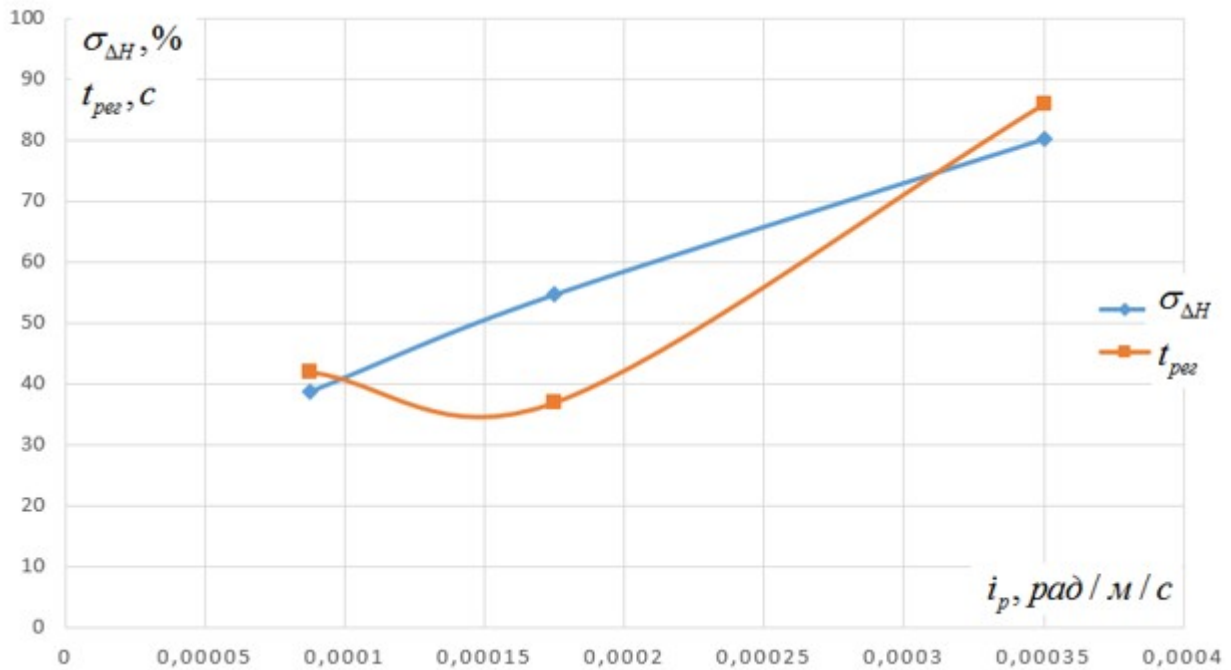


Рис. 10: График зависимостей $\sigma_H(i_p)$ и $t(i_p)$

4.1.2 Выводы

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