

## Расчет системы автоматического регулирования наклона отвала автогрейдера

### Цель работы:

1. Изучить и дать описание принципа действия САР.
2. Изучить структуру САР.
3. Вывести выражения, для передаточных функций всех звеньев используя уравнение звеньев и указать тип звеньев.
4. Найти, передаточную функцию используя данные своего варианта.
5. Вывести передаточную функцию разомкнутой САР по данным своего варианта.
6. Вывести передаточную функцию замкнутой САР по данным своего варианта.
7. Найти корни характеристического уравнения.
8. Вывести переходную функцию по данным своего варианта.
9. Задаться интервалом времени и рассчитать значения переходной функции  $\Delta^t = \frac{T_{кз}}{3\xi}$ .

10. По результатам расчета переходной функции строим график переходного процесса.

11. По кривой переходного процесса найти

$$h_{д \max} = h_{уст} + 0,03$$

$$h_{д \min} = h_{уст} - 0,03$$

12. По кривой переходного процесса найти время регулирования

$$t_p = 10 \cdot \Delta^t$$

где:  $\Delta^t$  – интервал времени.

13. Определить максимальное превышение выходной величины.

14. Рассчитать перерегулирование по формуле:

$$\sigma = \frac{A}{h_{уст}} \cdot 100\%$$

15. Определить период колебаний выходного параметра

$$T_0 = \frac{2\pi \cdot T_{кз}}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}$$

16. Определить число колебаний регулируемого параметра

$$N = \frac{t_p}{T_0}$$

17. Определить величину динамической ошибки для тех же интервалов времени  $\Delta^t$ .

$$\theta = h(t)_{уст} - h(h)$$

18. По результатам расчета строим график динамической ошибки.

### Порядок выполнения работы

Воспользовавшись таб. №1 выведем выражения для передаточных функций всех звеньев.

Таблица 1.

Название звена САР	Входная величина		Выходная величина		Уравнение звена	Передаточная функция
		а				
Задатчик	$\varphi$	рад	$U_3$	В	$U_3 = K_3 \cdot \varphi$	$W_3(p) = K_3 = 0,96$
Усилитель	$\frac{\Delta V}{V}$	В	$V$	В	$V = K_y \cdot (V_3 - V_{oc})$	$W_y(p) = K_y = 9,1$
Электромагнитный золотник	$U$	В	$q$	ати	$T_{\text{зз}} \frac{dq}{dt} + q = K_{\text{зз}} \cdot V$	$W_{\text{зз}}(p) = \frac{K_{\text{зз}}}{T_{\text{зз}} p + 1} = \frac{2}{0,092 p + 1}$
Гидроцилиндр	$q$	ати	$h$	м	$h = K_{\text{гц}} \cdot \int q dt$	$W_{\text{гц}}(p) = \frac{K_{\text{гц}}}{p} = \frac{0,99}{p}$
Отвал	$h$	м	$\alpha$	рад	$\alpha = K_{om} \cdot h$	$W_{ot}(p) = K_{ot} = 0,5$
Датчик наклона отвала	$\alpha$	рад	$U_{oc}$	В	$U_{oc} = K_{ot} \cdot \alpha$	$W_d(p) = K_d = 0,96$

Воспользовавшись таб. № 3 выведем переходные и передаточные функции.

Таблица № 3

Наименование х-ка и ее обозначения	Математическое описание х-ки
Передаточная функция замкнутой САР $W(p)$	$W(p) = W_3(p) \cdot W_y \cdot W_{\text{зз}}(p) \cdot W_{\text{гц}}(p) \cdot W_{ot}(p)$
Передаточная функция замкнутой САР $W_o(p)$	$W_o(p) = \frac{W(p)}{1 + W_d(p) \cdot W(p)}$
Передаточная функция Колебательного САР $W_{кз}(p)$	$W_{кз}(p) = \frac{K}{T_{кз}^2(p) + 2\zeta T_{кз} p + 1}$
Переходная функция замкнутой САР	$\alpha(t) = \frac{K_3}{K_d} \left[ 1 - e^{-\frac{\zeta}{T_{кз}} t} \left( \cos \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T_{кз}} t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \sin \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T_{кз}} t \right) \right]$

где:  $T_{кз}$  – постоянная времени

$\zeta$  - коэффициент затухания

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА САР

Исходными данными для расчета исследуемой САР является коэффициент передачи (усиления) и постоянная времени отдельных звеньев. Их значения, принятые по справочным данным приведены в таб. № 4.

Таблица № 4

№	Наименование звена САР	Значение параметра	
		Коэффициент усиления	Постоянная времени
1	Задатчик	0,92	
2	Датчик	0,92	
3	Усилитель	9,12	
4	Электромагнитный золотник	1,84	0,084
5	Гидроцилиндр	0,93	
6	Объект (отвал)	0,52	

### СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ РАЗОМКНУТОЙ И ЗАМКНУТОЙ САР. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ

Передаточную функцию разомкнутой САР определяем по выражению:

$$W(p) = W_3(p) \cdot W_y(p) \cdot W_{33}(p) \cdot W_{гy}(p) \cdot W_{от}(p) = K_3 \cdot K_y \cdot \frac{K_{33}}{T_{33}p + 1} \cdot K_{от} =$$

$$= 0.99 \cdot 9.1 \cdot \frac{2}{0.092p^2 + p} \cdot 0.5$$

$$W(p) = \frac{9.01}{0.092p^2 + p}$$

$$W_0(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot W_g(p)} = \frac{\frac{9.12}{0.084p^2 + p}}{1 + \frac{9.12}{0.084p^2 + p} \cdot 0.92}$$

$$W_0(p) = \frac{9.12}{0.084p^2 + p + 8.3904}$$

$$W_0(p) = \frac{1.08696}{0.01p^2 + 0.1192p + 1}$$

### ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ. ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Переходной процесс в системе регулирования может быть либо колебательным, либо протекать аperiodически, стремясь к установившемуся значению. Чтобы определить характер переходного процесса, для этого исследуют характеристическое уравнение и определяют его корни.

$$0,01p^2 + 0,1192p + 1 = 0$$

Если корни характеристического уравнения комплексно – сопряженные, то переходной процесс будет носить колебательный характер. Если корни характеристического уравнения действительные. То переходной процесс будет аperiodическим /1,2/

Исследуем уравнение

$$0,01p^2 + 0,1192p + 1 = 0$$

Его корни

$$P_{1,2} = \frac{-0,1192 \pm \sqrt{(0,1192)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 0,01}}{2 \cdot 0,01}$$

$D = \sqrt{0,011 - 0,04} < 0$ , следовательно, корни  $P_{1,2} = \alpha \pm i\omega$ , т. е. комплексно – сопряженные, следовательно переходной процесс будет колебательным и переходная функция будет описываться уравнением /1,2/,

$$\alpha(t) = K \left[ 1 - e^{-\frac{t}{T_{кз}}} \left( \cos \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T_{кз}} \cdot t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T_{кз}} \cdot t \right) \right]$$

а передаточная функция замкнутой САР по характеру будет соответствовать колебательному звену

$$W_{кз}(p) = W_0(p) = \frac{K}{T_{кз}^2 p^2 + 2\zeta T_{кз} p + 1} = \frac{1,08696}{0,01p^2 + 0,1192p + 1}$$

Здесь  $K = 1,04$

$$T_{кз} = \sqrt{0,01} = 0,1; \quad \zeta = \frac{0,1192}{2 \cdot 0,1} = 0,596;$$

$$\frac{1}{T_{кз}} = \frac{1}{0,1} = 10; \quad \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T_{кз}} = \frac{\sqrt{1-0,596^2}}{0,1} = 8,0298;$$

$$\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{0,596}{0,80298} = 0,74223;$$

$$\alpha(t) = 1,08696 [1 - e^{-10t} (\cos 8,0298t + 0,74223 \sin 8,0298t)].$$



$\Delta t$	0,126	0,14	0,154	0,168	0,182	0,196	0,21	0,224	0,238
e	0,28212	0,24511	0,21296	0,18503	0,16076	0,139675	0,121355	0,105437	0,091607
	08	64	56	2	22	8	2	6	9
	0,53037	0,43192	0,32802	0,21997	0,10915	0,003044	0,115205	0,225911	0,333766
cos	39	34	03	61	48	5	3	7	2
	0,62923	0,66942	0,70116	0,72404	0,73779	0,742226		0,723041	0,699667
sin	58	49	29	93	5	6	0,737288	7	5
	0,73132	0,79348	0,84867	0,89704	0,93891	0,974682	1,004846	1,029928	1,050467
$\alpha(t)$	07	21	26	59	04	1	7	8	7
	0,35557	0,29341	0,23822	0,18985	0,14798	0,112217	0,082053	0,056971	0,036432
$\theta(t)$	93	79	74	41	96	9	3	2	3
Yc									
$\tau$	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429				
n	3	3	3	3	3	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293
ma	1,11950	1,11950	1,11950	1,11950	1,11950				
x	7	7	7	7	7	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507

$\Delta t$	0,252	0,266	0,28	0,294	0,308	0,322	0,336	0,35	0,364
e	0,079592	0,06915		0,0522010	0,0453540	0,0394050	0,0342360	0,0297460	0,025844
	1	240,060082		4	4	4	8	1	5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,437407	0,535520	0,6268840	0,7103280	0,7848050	0,8493740	0,903221		-0,976170
cos	1	6	3	5	4	6	10,945665		5
	0,667460	0,626820	0,5782800	0,5224330	0,4599910	0,391741		0,2413300	0,161067
sin	4	71	6	6	3	90,318547		7	7
$\alpha(t)$	1,066998	1,08003		1,0975601	1,1029111	1,1065001	1,1086561	1,1096711	1,109796
)	4	761,090074		7	9	3	9	9	5
				-	-	-	-	-	-
	0,019901	0,00686		-0,0106600	0,0160110	0,0196000	0,0217560	0,0227710	0,022896
$\theta(t)$	6	240,003174		7	9	3	9	9	5
Yc									
$\tau$	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi		1,05429							
n	1,054293		31,054293	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293
ma		1,11950							
x	1,119507		71,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,119507

$\Delta t$	0,378	0,392	0,406	0,42	0,434	0,448	0,462	0,476	0,49
e	0,0224540	0,0195090	0,0169500	0,0147270	0,0127950	0,0111170	0,009658		0,007291
	6	3	4	1	4	1	90,008392		3
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,9943520	0,9999810	0,9929860	0,9734550	0,9416350	0,8979270	0,8428840	0,7772000	0,701704
cos	5	5	4	5	4	8	4	2	4
	0,078771								
sin		40,0045190	0,0877530	0,1698790	0,2498600	0,326687	-0,399390	0,4670500	0,528815

		4	1		3	2		7	2
$\alpha(t)$	1,1092451,1082001,1068101,1052011,1034701,1016971,0999411,0982491,096651								
)	6	1	9	2	5	2	7	2	7
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\theta(t)$	0,0223450,0213000,0199100,0183010,0165700,0147970,0130410,0113490,009751								
$Y_c$	6	1	9	2	5	2	7	2	7
$\tau$	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi									
n	1,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,054293								
ma									
x	1,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,119507								
$\Delta t$	0,504	0,518	0,532	0,546	0,56	0,574	0,588	0,602	0,616
e	0,006334		0,0047820,0041540,0036090,003136				0,002367		
	90,005504		1	8	9		40,002725		60,002057
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cos	0,6173500,5252020,4264230,3222620,2140320,1031000,0091330,1212510,231839								
	1	1	8	2	2	2	3	5	1
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sin	0,5839030,6316210,6713640,702632				0,738274		-0,7367530,722007		
$\alpha(t)$	1,0951711,0938201,0926051,0915281,0905841,0897681,0890711,0884831,087995								
)	1	4	9	3	5	2	2	9	9
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\theta(t)$	0,0082710,0069200,0057050,0046280,0036840,0028680,0021710,0015830,001095								
$Y_c$	1	4	9	3	5	2	2	9	9
$\tau$	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi									
n	1,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,0542931,054293								
ma									
x	1,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,1195071,119507								
$\Delta t$	0,63	0,644	0,658	0,672	0,686	0,7	0,714	0,728	0,742
e	0,0017870,0015520,0013490,0011720,0010180,000884					0,000760,0006670,000580			
	2	8	1	2	4	8	88	9	3
cos	0,3394990,4428740,5406580,6316160,7146010,788564					0,852570,9058170,947627			
	8	5	3	6	2	4	25	5	2
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sin	0,6981460,6654710,6243950,5754360,5192130,456435					0,387890,3144590,237052			
$\alpha(t)$	1,0875961,0872751,0870221,0868281,0866831,086580					1,086511,0864701,086451			
)	7	7	8	4	7	6	17	7	8
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\theta(t)$	0,0006960,0003750,000122		7,157E-0,0002160,000319		0,000380,0004290,000448				
	7	7	8	05	3	4	83	3	2

Yc									
τ	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi							1,05429		
n	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293	1,054293		31,054293	1,054293
ma							1,11950		
x	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507		71,119507	1,119507

Δt	0,756	0,77	0,784	0,798	0,812	0,826	0,84	0,854	0,868
e	0,000504	0,000438	0,00038	0,00033	0,00028	0,00024	0,00021	0,00018	0,00016
cos	2	1	06	07	73	96	69	84	37
	0,977473	0,994980	0,99992	0,99224	0,97204	0,93956	0,89523	0,83959	0,77335
	7	2	59	81	38	82	11	24	44
	-	-							
sin	0,156653	0,074276	0,00903	0,09223	0,17427	0,25411	0,33073	0,40319	0,47055
	1	1	86	91	52	12	92	19	45
α(t)	1,086450	1,086461	1,08648	1,08651	1,08654	1,08657	1,08661	1,08664	1,08667
	2	6	26	02	2	61	1	55	86
θ(t)	0,000449	0,000438	0,00041	0,00038	0,00035	0,00032	0,00028	0,00025	0,00022
	8	4	74	98	8	39	9	45	14

Yc									
τ	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi			1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429
n	1,054293	1,054293	3	3	3	3	3	3	3
ma			1,11950	1,11950	1,11950	1,11950	1,11950	1,11950	1,11950
x	1,119507	1,119507	7	7	7	7	7	7	7

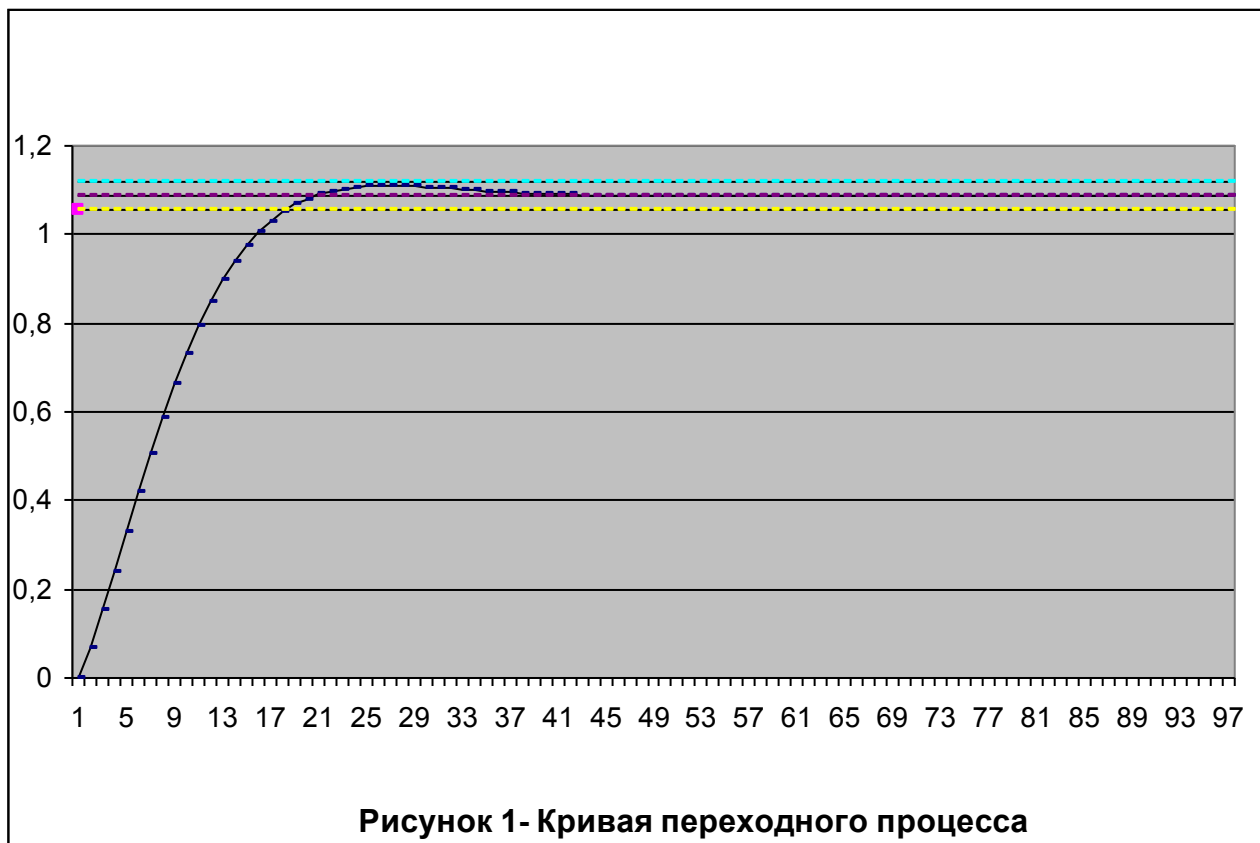
Δt	0,882	0,896	0,91	0,924	0,938	0,952	0,966	0,98	0,994
e	0,00014	0,00012	0,00010	9,329E-	8,106E-	7,043E-	6,119E-	5,316E-	4,619E-
	22	36	74	05	05	05	05	05	05
								-	-
cos	0,69735	0,61254	0,52001	0,42090	0,31649	0,20808	0,09704	0,015221	0,127293
	33	86	08	83	21	04	19	8	3
sin	0,53197	0,58668	0,63398	0,67327	0,70407	0,72598	0,73872		0,736192
	67	31	29	92	58	39	69	0,742144	1
α(t)	1,08670	1,08673	1,08676	1,08678	1,08681	1,08682	1,08684		1,086869
	99	89	53	9	01	85	44	1,086858	4
θ(t)	0,00019	0,00016	0,00013	0,00011	8,991E-		5,558E-		3,057E-
	01	11	47	1	057,15E-05		05	4,2E-05	05

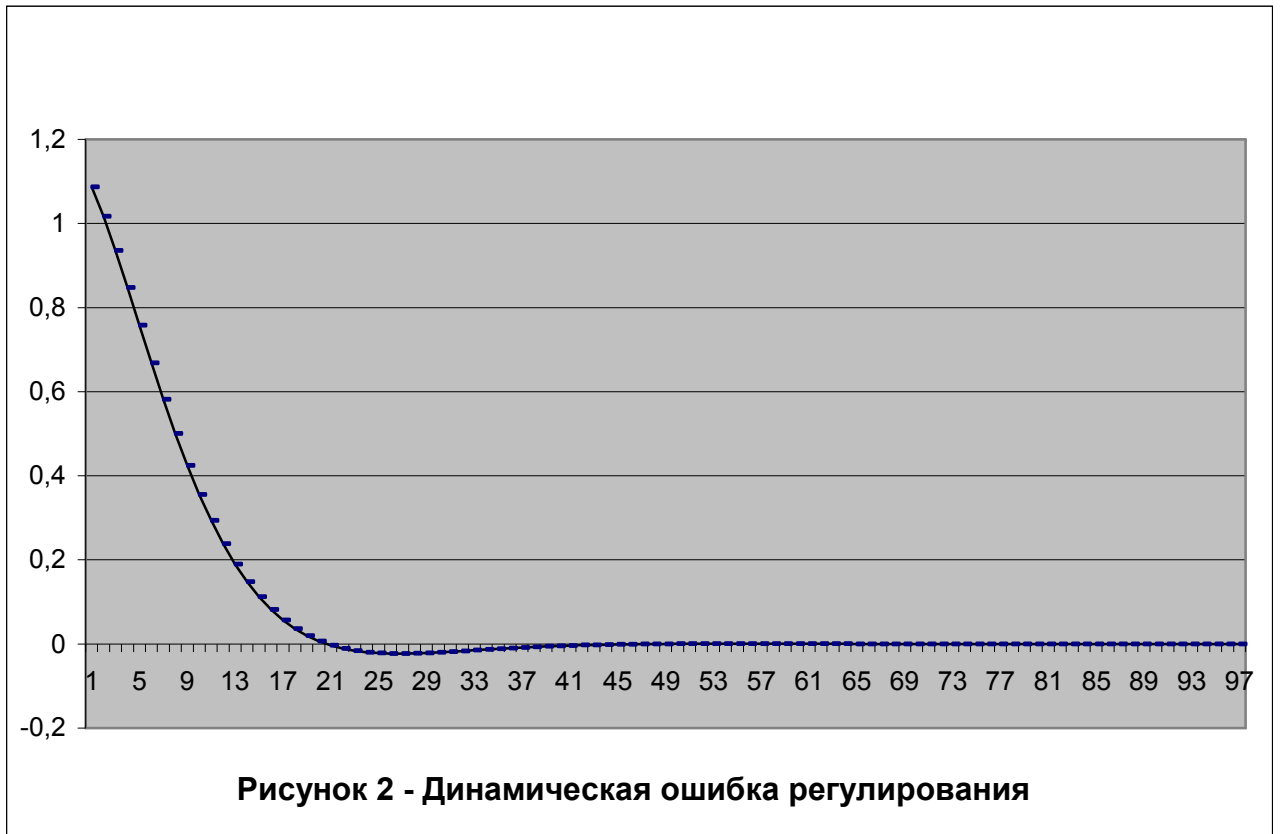
Yc									
τ	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
mi	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429	1,05429		
n	3	3	3	3	3	3	3	1,054293	1,054293



max	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507	1,119507
$\Delta t$	1,008	1,022	1,036	1,05	1,064	1,078	1,092	1,106	1,12
$e$	4,013E-05	3,487E-05	3,029E-05	2,632E-05	2,287E-05	1,987E-05	1,726E-05	1,5E-05	1,303E-05
cos	0,23775708	0,34522007	0,44832505	0,54577005	0,63632505	0,71884703	0,79229402	0,85573809	0,9083804
sin	0,72094602	0,69659808	0,66345704	0,62194003	0,57257106	0,51597405	0,45286307	0,38403509	0,3103596
$\alpha(t)$	1,08687819	1,08688617	1,08689219	1,08689718	1,08690116	1,08690414	1,08690614	1,08690717	1,0869085
$\theta(t)$	2,108E-05	1,332E-05	7,084E-06	2,179E-06	-1,585E-06	-4,381E-06	-6,369E-06	-7,69E-06	-8,47E-06
$Y_c$	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
min	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931
max	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071
$\Delta t$	1,134	1,148	1,162	1,176	1,19	1,204	1,218	1,232	1,246
$e$	1,132E-05	9,837E-06	8,547E-06	7,426E-06	6,452E-06	5,605E-06	4,87E-06	4,231E-06	3,676E-06
cos	0,94955403	0,97874007	0,99557101	0,999833	-0,97059601	0,93746602	0,89250101	0,836269	
sin	0,23276503	0,152232	0,01355704	0,096721	-0,258352	-0,406978			
$\alpha(t)$	1,08690818	1,08690818	1,08690816	1,08690812	1,08690761	1,08690613	1,086905		
$\theta(t)$	-8,821E-06	-8,837E-06	-8,6E-06	-8,179E-06	-7,631E-06	-7,002E-06	-6,33E-06	-5,644E-06	-4,968E-06
$Y_c$	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869	1,0869
min	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931	1,0542931
max	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071	1,1195071
$\Delta t$	1,26	1,274	1,288	1,302	1,316	1,33	1,344		
$e$	3,194E-06	2,775E-06	2,411E-06	2,095E-06	1,82E-06	1,581E-06	1,374E-06		
cos	-0,7694798	-0,6929763	-0,6077243	-0,5148003	-0,4153773	-0,3107104	-0,202121		
sin	-0,4740409	-0,5351184	-0,5894405	-0,6363213	-0,675169	-0,7054931	-0,7269108		
$\alpha(t)$	1,0869043	1,0869037	1,0869031	1,0869026	1,0869022	1,0869017	1,0869014		

$\theta(t)$  -4,317E-06-3,704E-06-3,137E-06-2,621E-06-2,157E-06-1,747E-06-1,387E-06  
 $Y_{ст}$  1,0869 1,0869 1,0869 1,0869 1,0869 1,0869 1,0869  
min 1,054293 1,054293 1,054293 1,054293 1,054293 1,054293 1,054293  
max 1,119507 1,119507 1,119507 1,119507 1,119507 1,119507 1,119507





## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЙ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Основным параметрами кривой переходного процесса являются: перерегулирование, время регулирования, колебательность переходного процесса.

### 1. Перерегулирование

$$\sigma = \frac{0,103}{1,0869} \cdot 100 = 9,5\%$$

2. Время регулирования и период колебаний определить по графику:  $t = 0,56$  сек.,  $T_0 = 0,28$  сек..

3. Число колебаний  $N = 1$  совершив, одно колебание регулируемый параметр входит в зону  $\pm 3\%$ .

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Автоматизация производственных процессов в дорожном строительстве / под ред. Л. Я. Цикермана. – М: Транспорт, 1972 г.
- 2 Колышев В. И. и др. основы автоматизации производственных процессов в дорожном строительстве. – М: Транспорт, 1979 г.
- 3 Васильев Д. В., Чуин В. Г. Системы автоматического управления. – М: Высшая школа, 1967 г.