



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Выполнил: ст. гр. 4/36 Коптева Мария

Руководитель:

к.т.н., доц. Невиницын В. Ю.

Иваново, 2020

Цель и задачи, решаемые в работе

Цель: анализ теплообменника как объекта управления и автоматизации;
синтез системы управления аппаратом.

Задачи:

- Описать технологический процесс как объект управления;
- Разработать математическую модель объекта управления;
- Исследовать статические и динамические характеристики объекта управления, определить каналы регулирования и каналы возмущения
- Разработать структурные схемы системы управления: одноконтурной САР и каскадно-связанной САР;
- Провести алгоритмический и параметрический синтез систем управления;
- Разработать программные средства моделирования в среде MathCad;
- Провести моделирование системы управления с целью исследования системы управления на наличие таких свойств как устойчивость, инвариантность, ковариантность

Объект управления

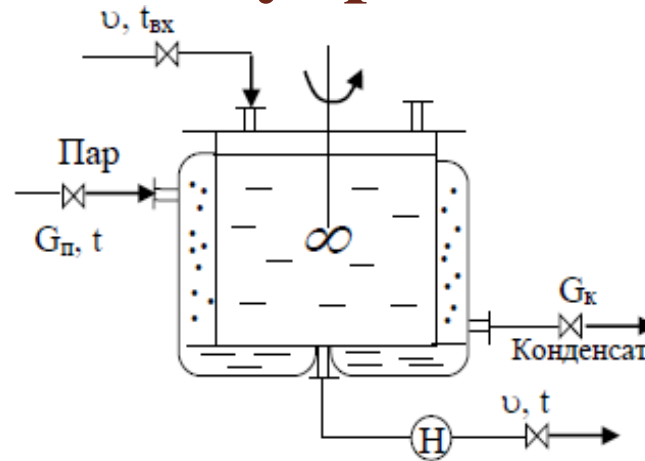


Рис.1 Принципиальная схема теплообменника с рубашкой (п-ж).

Система уравнений, описывающая динамические условия работы емкостного теплообменника

$$\frac{d(V)}{d\tau} = v_{\text{ex}} - v$$

$$\frac{d(Vt)}{d\tau} = v_{\text{ex}} t_{\text{ex}} - vt + \frac{\alpha_2 F_T}{c_p \rho} (t_{\text{cm}} - t)$$

$$m_{\text{cm}} c_{\text{cm}} \frac{dt_{\text{cm}}}{d\tau} = G_n r^* - \alpha_2 F_T (t_{\text{cm}} - t)$$

Обозначения:

1. Расход первого потока на входе в аппарат v [л/мин];
2. Объем аппарата V [л];
3. Температура входного потока $t_{\text{вх}}$ [°C];
4. Поверхность теплообмена F_T [м²];
5. Расход насыщенного греющего пара $G_{\text{п}}$ [кг/мин];
6. Температура стенки $t_{\text{ст}}$ [°C];
7. Плотность жидкости ρ [кг/л];

Начальные условия: $t|_{\tau=0} = t^0$ $t_{\text{cm}}|_{\tau=0} = t_{\text{cm}}^0$ $V|_{\tau=0} = V^0$

Статические характеристики

Перейдем к отдельным каналам:

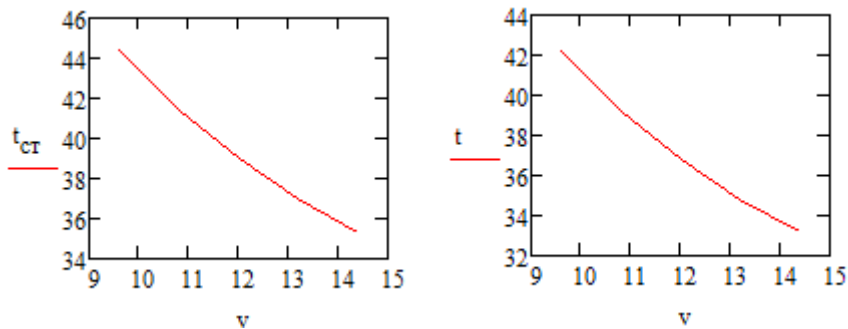


Рис.2. Статические характеристики по каналам
 $v \rightarrow t_{cr}$ и $v \rightarrow t$

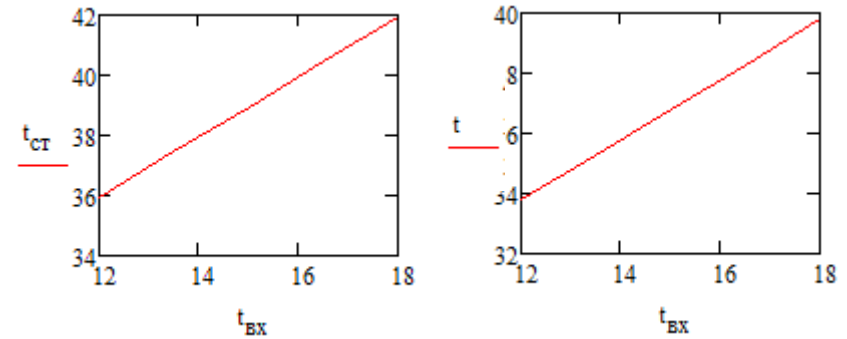


Рис.3. Статические характеристики по каналам
 $t_{BX} \rightarrow t_{cr}$ и $t_{BX} \rightarrow t$

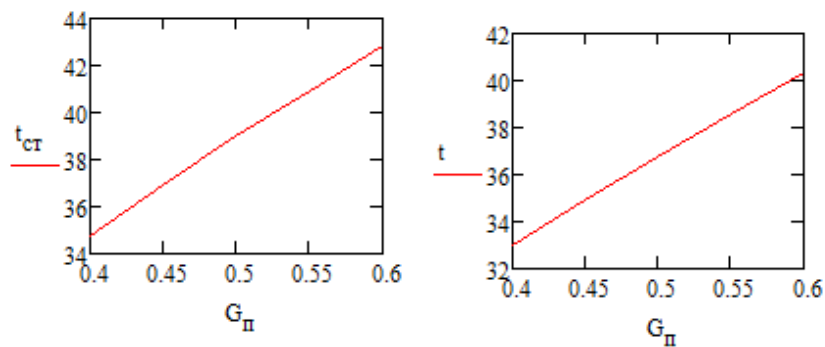


Рис.4. Статические характеристики по каналам
 $G_{II} \rightarrow t_{cr}$ и $G_{II} \rightarrow t$

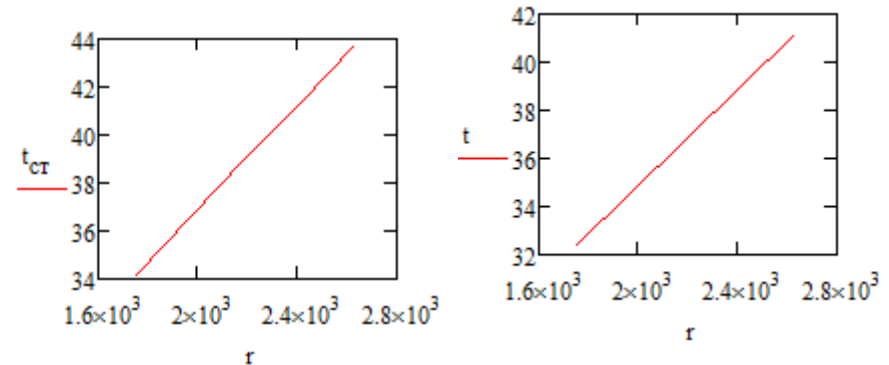


Рис.5. Статические характеристики по каналам
 $r \rightarrow t_{cr}$ и $r \rightarrow t$

Динамические характеристики

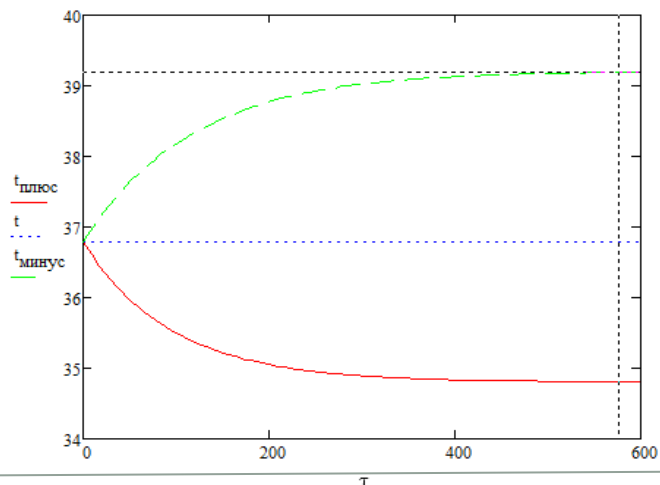


Рис.5. Динамическая характеристика по каналу $v \rightarrow t$ при $\Delta v = \pm 1,2$ л/мин

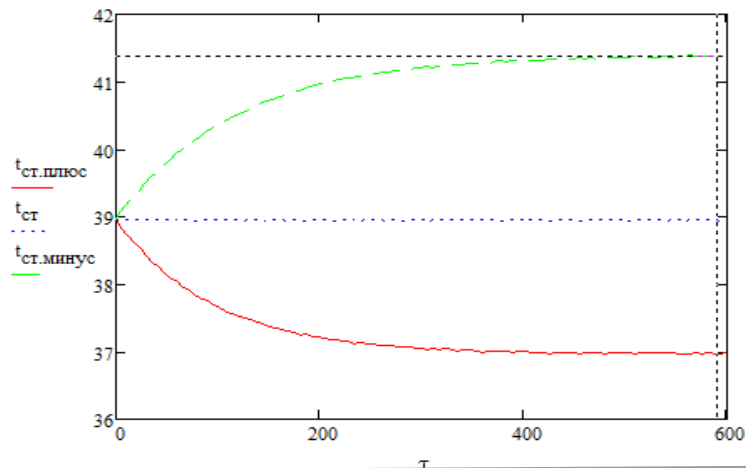


Рис.6. Динамическая характеристика по каналу $v \rightarrow t_{ст}$ при $\Delta v = \pm 1,2$ л/мин

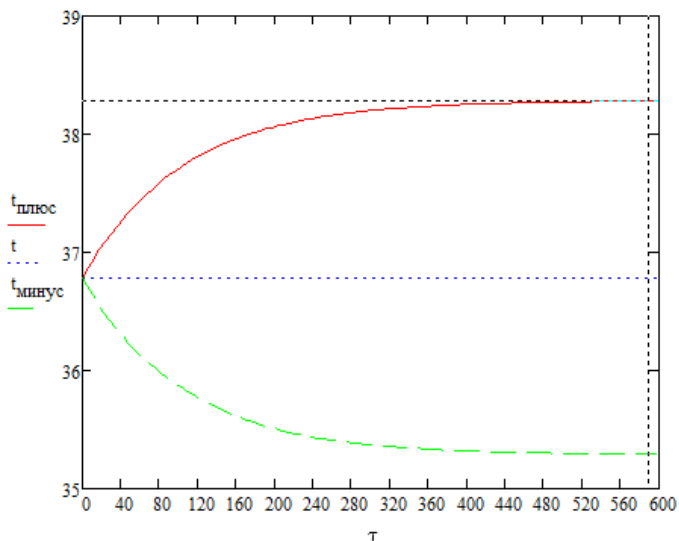


Рис.7. Динамическая характеристика по каналу $t_{вх} \rightarrow t$ при $\Delta t_{вх} = \pm 1,5$ °C

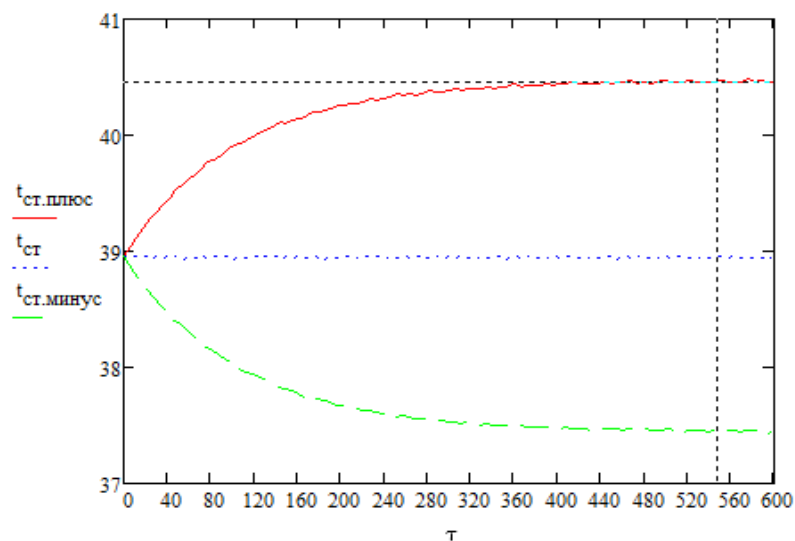


Рис.8. Динамическая характеристика по каналу $t_{вх} \rightarrow t_{ст}$ при $\Delta t_{вх} = \pm 1,5$ °C

Динамические характеристики

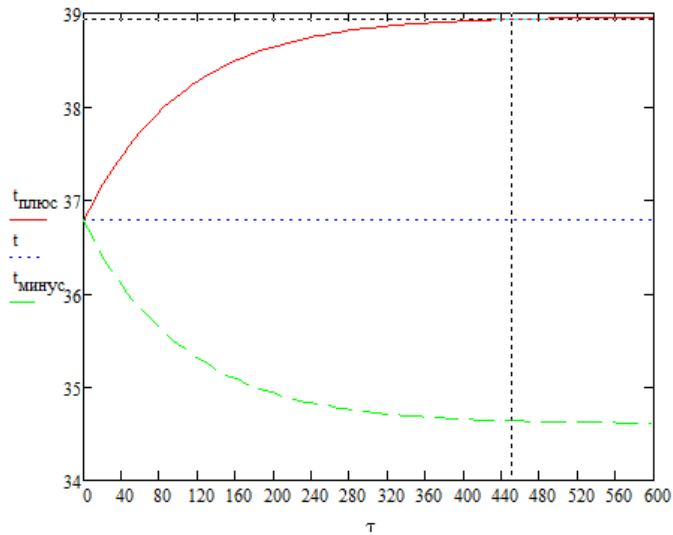


Рис.9. Динамическая характеристика по каналу $G_{\text{II}} \rightarrow t$ при $\Delta G_{\text{II}} = \pm 0,05$ кг/мин

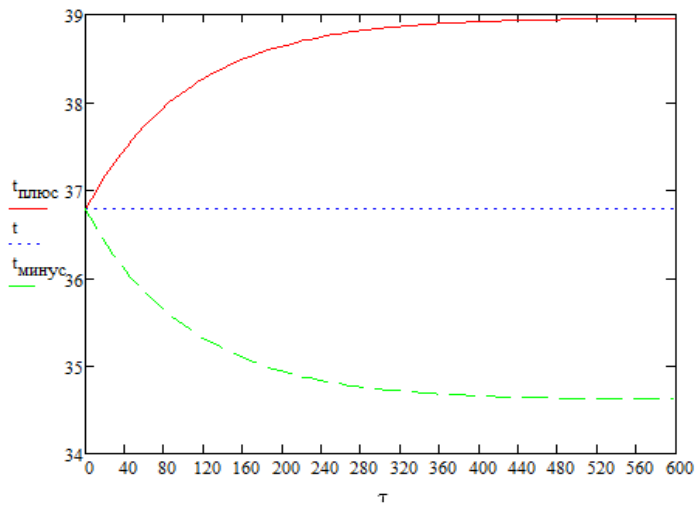


Рис.11. Динамическая характеристика по каналу $r \rightarrow t$ при $\Delta r = \pm 216.884$ кДж/кг

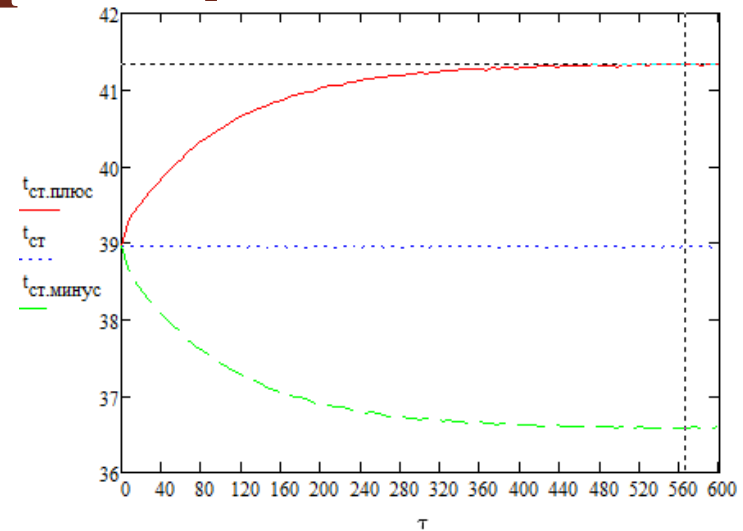


Рис.10. Динамическая характеристика по каналу $G_{\text{II}} \rightarrow t_{\text{ст}}$ при $\Delta G_{\text{II}} = \pm 0,05$ кг/мин

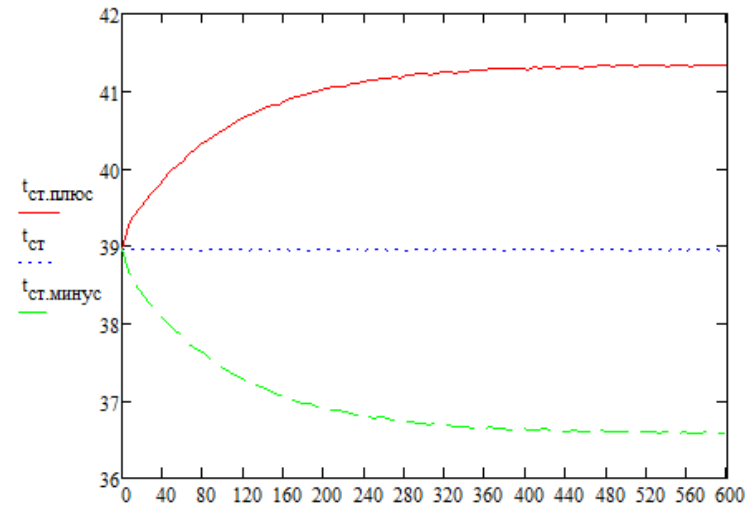


Рис.12. Динамическая характеристика по каналу $r \rightarrow t_{\text{ст}}$ при $\Delta r = \pm 216.884$ кДж/кг

Сводная таблица результатов по исследованию статических и динамических свойств объекта управления

Таблица 1

Канал	Статика		Динамика				Средние результаты		
	$K_{\text{пер}}^{\text{разм}}$	$K_{\text{пер}}^{\text{безр}}$	$K_{\text{разм}}^+$	$K_{\text{разм}}^-$	$K_{\text{разм}}^{\text{ср}}$	$K_{\text{безр}}^{\text{ср}}$	$T, \text{ мин}$	$K_{\text{об}}^{\text{разм}}$	$K_{\text{об}}^{\text{безр}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v \rightarrow t$	-1,891	-0,617	-1,647	-2,003	-1,825	-0,591	125	-1,858	-0,604
$t_{\text{вх}} \rightarrow t$	1	0,408	0,995	0,996	0,996	0,406	110	0,998	0,407
$G_{\text{II}} \rightarrow t$	36,09	0,502	43,24	43,42	43,33	0,589	120	39,71	0,546
$r \rightarrow t$	9,945* 10^{-3}	0,593	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-3}$	0,59	100	$9,92 \cdot 10^{-3}$	0,592
$v \rightarrow t_{\text{ст}}$	-1,891	-0,581	-1,627	-2,027	-1,827	-0,563	115	-1,859	-0,572
$t_{\text{вх}} \rightarrow t_{\text{ст}}$	1	0,385	1,015	0,983	0,989	0,381	120	0,995	0,383
$G_{\text{II}} \rightarrow t_{\text{ст}}$	40,585	0,521	47,7	46,78	47,24	0,607	70	43,913	0,564
$r \rightarrow t_{\text{ст}}$	0,011	0,615	0,011	0,011	0,011	0,609	100	0,011	0,612

Синтез системы управления температурой

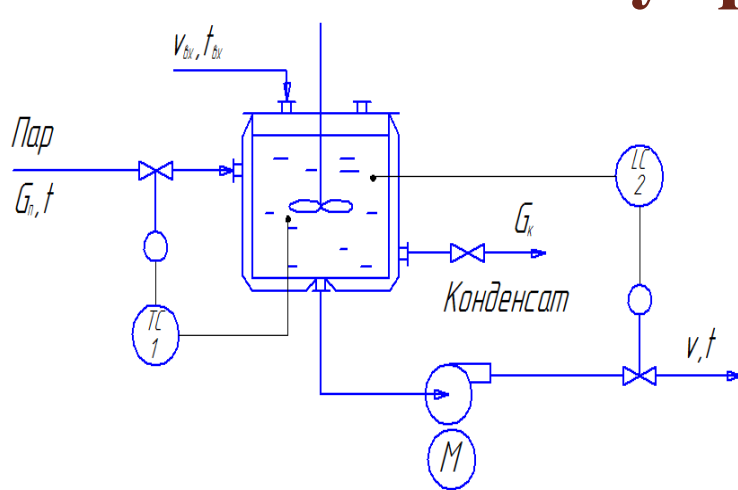


Рис. 13 Упрощенная схема автоматизации одноконтурной САУ регулирования температуры

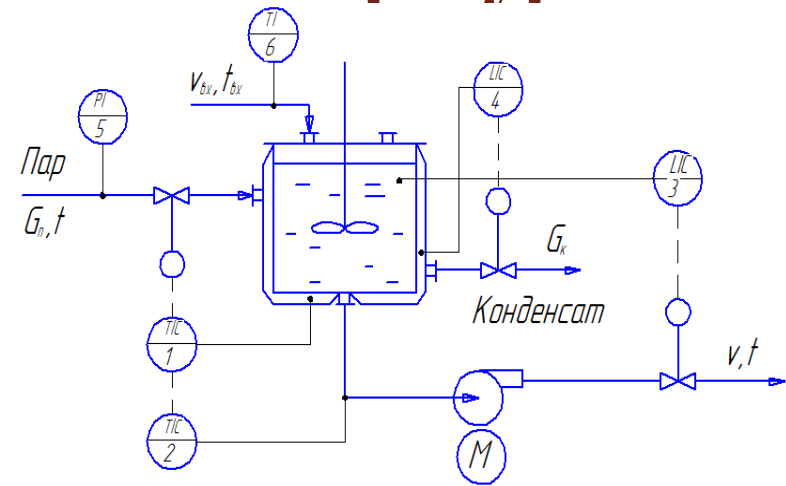


Рис. 14 Упрощенная схема автоматизации каскадно-связанной САУ регулирования температуры

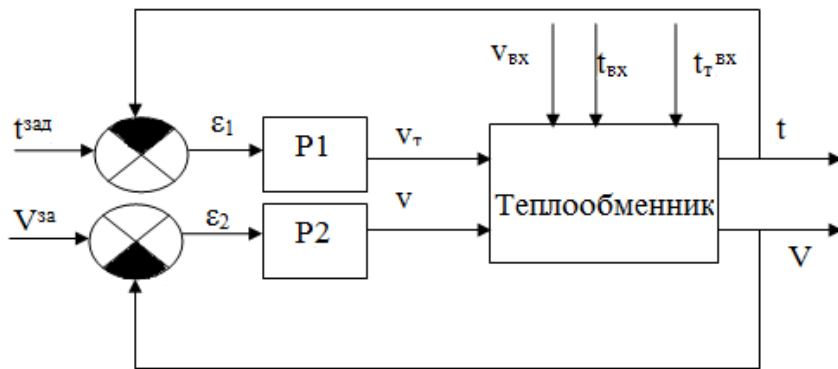


Рис. 15. Структурная схема одноконтурной САУ

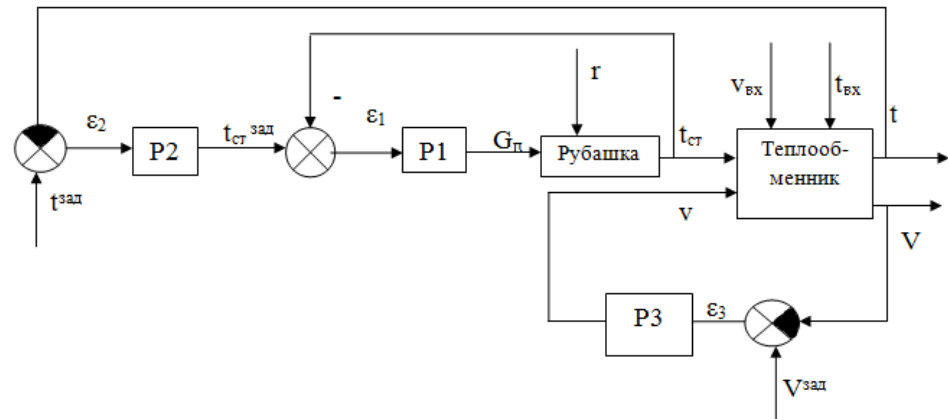


Рис. 16. Структурная схема каскадно-связанной САУ.

Полная математическая модель системы управления

Для одноконтурной системы управления

$$\frac{d(V)}{d\tau} = v_{\text{ex}} - v$$

$$\frac{d(Vt)}{d\tau} = v_{\text{ex}} t_{\text{ex}} - vt + \frac{\alpha_2 F_T}{c_p \rho} (t_{\text{cm}} - t)$$

$$m_{\text{cm}} c_{\text{cm}} \frac{dt_{\text{cm}}}{d\tau} = G_n r^* - \alpha_2 F_T (t_{\text{cm}} - t)$$

$$\frac{dG_n}{d\tau} = -Kp_1 \cdot \frac{dt}{d\tau} + \frac{Kp_1}{Tu_1} (t^{\text{зад}} - t)$$

$$\frac{dv}{d\tau} = -Kp_2 \cdot \frac{dV}{d\tau} + \frac{Kp_2}{Tu_2} (V^{\text{зад}} - V)$$

$$V|_{\tau=0} = V^0 \quad t|_{\tau=0} = t^0$$

$$t_{\text{cm}}|_{\tau=0} = t_{\text{cm}}^0 \quad G_n|_{\tau=0} = G_n^0$$

$$v|_{\tau=0} = v^0$$

Начальные условия:

Для каскадной системы управления

$$\frac{d(V)}{d\tau} = v_{\text{ex}} - v;$$

$$\frac{d(Vt)}{d\tau} = v_{\text{ex}} t_{\text{ex}} - vt + \frac{\alpha_2 F_T}{c_p \rho} (t_{\text{cm}} - t);$$

$$m_{\text{cm}} c_{\text{cm}} \frac{dt_{\text{cm}}}{d\tau} = G_n r^* - \alpha_2 F_T (t_{\text{cm}} - t);$$

$$\frac{dG_n}{d\tau} = -Kp_1 \cdot \frac{dt_{\text{cm}}}{d\tau} + \frac{Kp_1}{Tu_1} (t_{\text{cm}}^{\text{зад}} - t_{\text{cm}});$$

$$\frac{dt_{\text{cm}}^{\text{зад}}}{d\tau} = -Kp_2 \cdot \frac{dt}{d\tau} + \frac{Kp_2}{Tu_2} (t^{\text{зад}} - t);$$

$$\frac{dv}{d\tau} = -Kp_3 \cdot \frac{dV}{d\tau} + \frac{Kp_3}{Tu_3} (V^{\text{зад}} - V);$$

$$V|_{\tau=0} = V^0 \quad t|_{\tau=0} = t^0 \quad t_{\text{cm}}|_{\tau=0} = t_{\text{cm}}^0$$

$$G_n|_{\tau=0} = G_n^0 \quad t_{\text{cm}}^{\text{зад}}|_{\tau=0} = t_{\text{cm}}^{\text{зад}0} \quad v|_{\tau=0} = v^0$$

Начальные условия:

Моделирование одноконтурной системы управления

Исследование системы на инвариантность

Инвариантность – это независимость какой-либо системы от приложенных к ней внешних воздействий в системах автоматического регулирования.

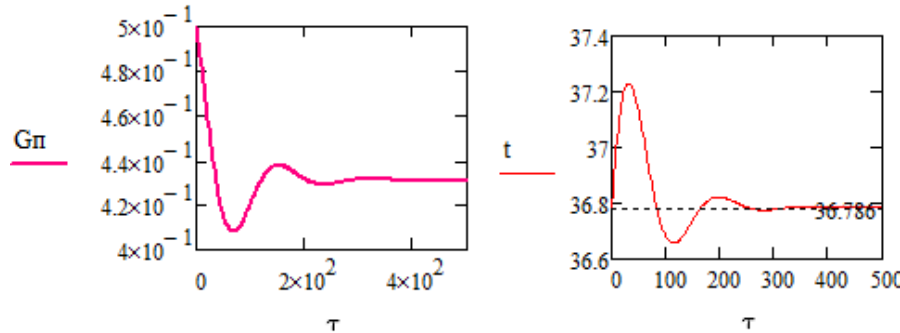


Рис. 17. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta t_{BX} = +3 \text{ }^\circ\text{C}$

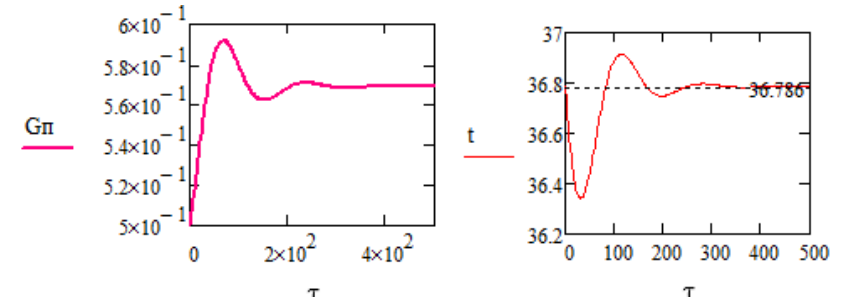


Рис.18. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta t_{BX} = -3 \text{ }^\circ\text{C}$

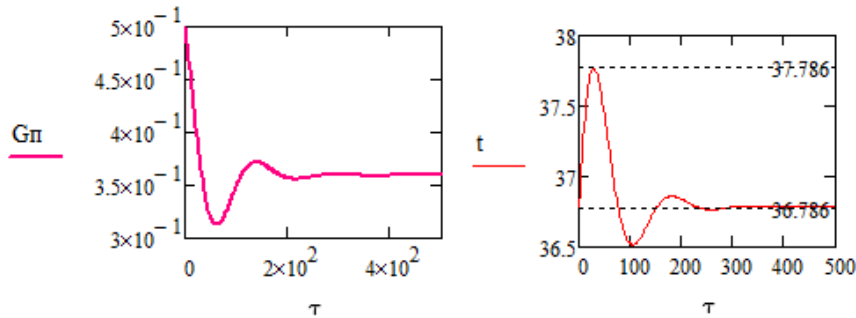


Рис. 19. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta r_n = +438,2 \text{ кДж/кг}$

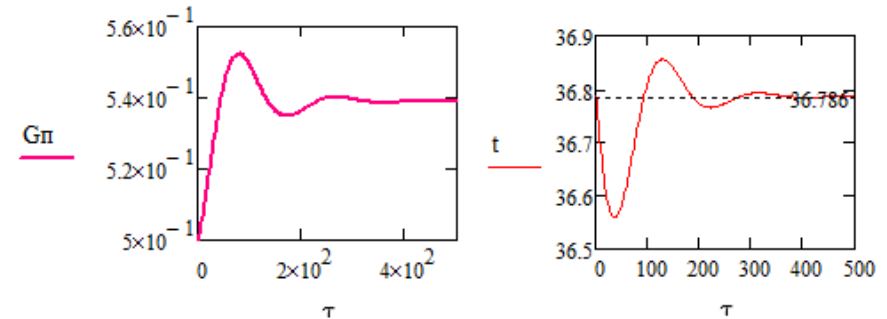


Рис. 20. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta r_n = -438,2 \text{ кДж/кг}$

Исследование системы на инвариантность

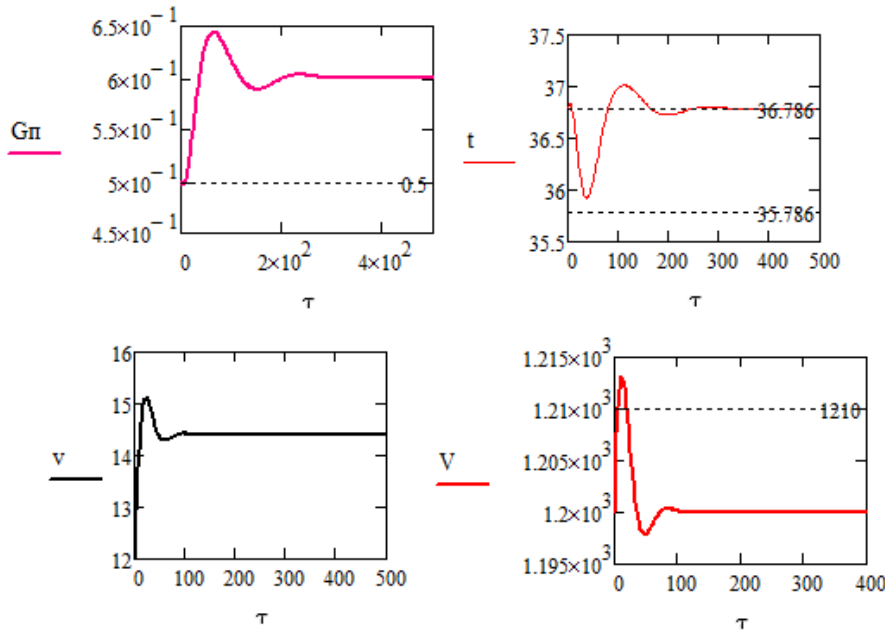


Рис. 21. Переходные процессы при действии ступенчатого возмущения величиной $\Delta v = +2,4$ л/мин

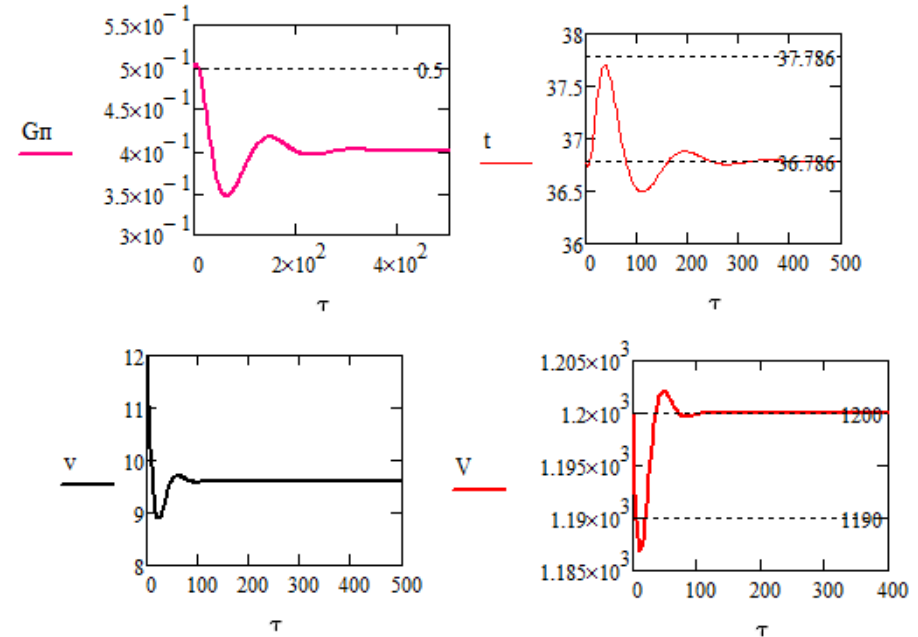


Рис. 22. Переходные процессы при действии ступенчатого возмущения величиной $\Delta v = -2,4$ л/мин

Исследование системы на ковариантность

Ковариантность с заданным возмущением означает способность системы отслеживать изменение задания в отсутствие других возмущений.

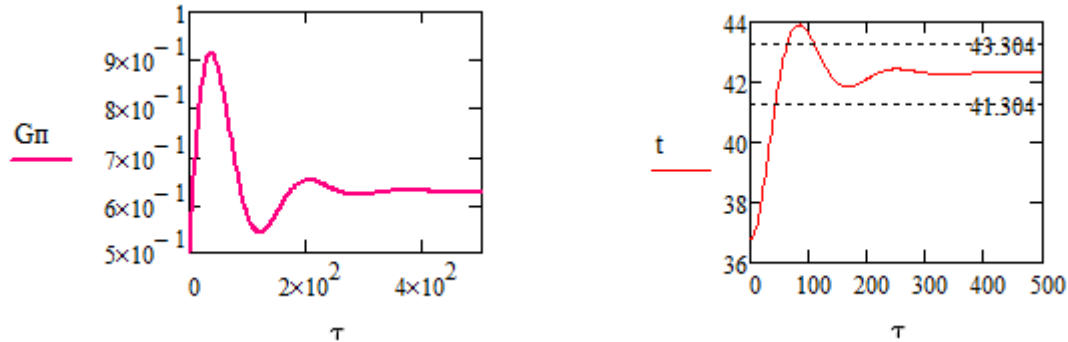


Рис. 23. Графики переходных процессов при изменении задания $\Delta t^{зад} = +5,518 \text{ } ^\circ\text{C}$

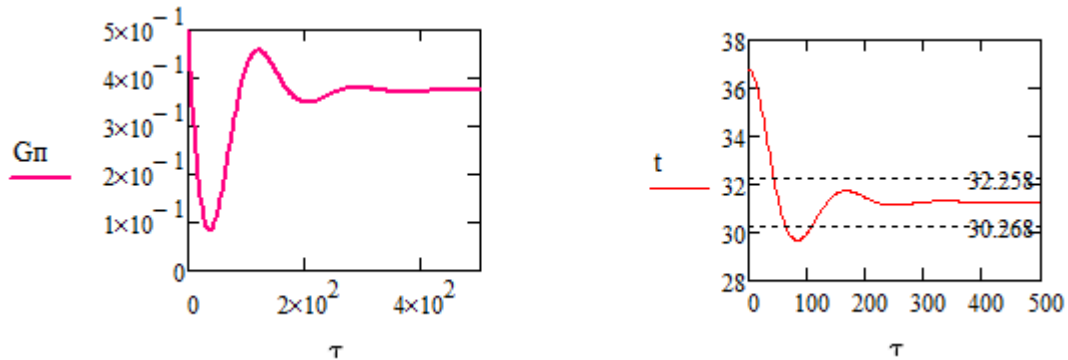


Рис. 23. Графики переходных процессов при изменении задания $\Delta t^{зад} = -5,518 \text{ } ^\circ\text{C}$

Моделирование каскадно-связанной системы управления

Исследование системы на инвариантность

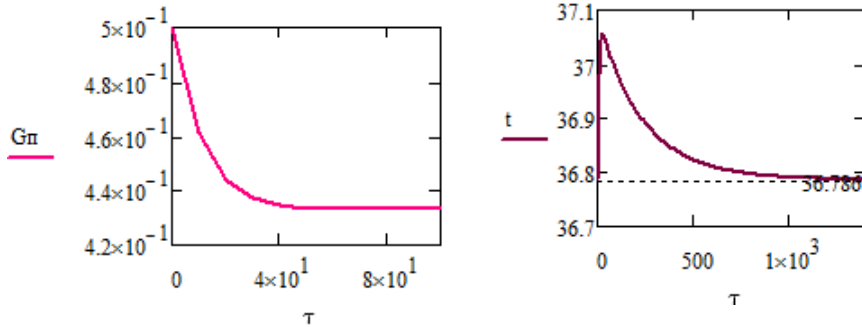


Рис. 25. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta t_{\text{вх}} = +3 \text{ }^\circ\text{C}$

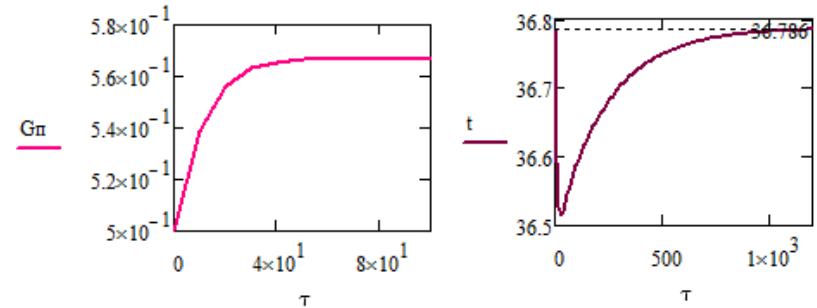


Рис.26. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta t_{\text{вх}} = -3 \text{ }^\circ\text{C}$

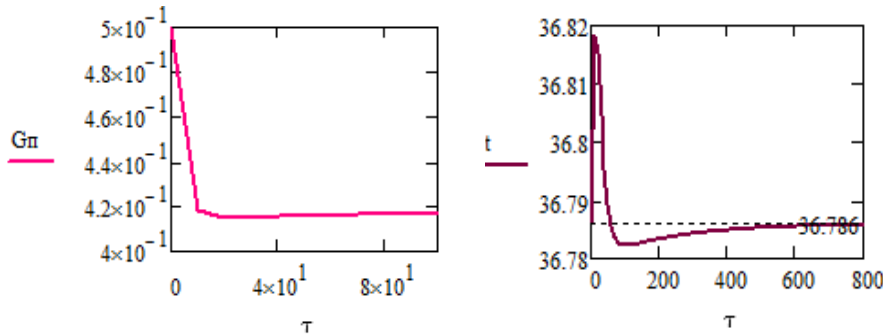


Рис. 27. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta r_n = +438,2 \text{ кДж/кг}$

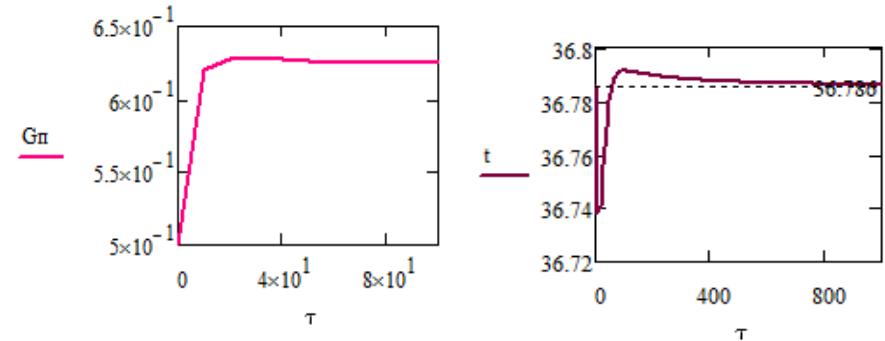


Рис. 28. Графики переходных процессов при действии ступенчатого возмущения $\Delta r_n = -438,2 \text{ кДж/кг}$

Исследование системы на инвариантность

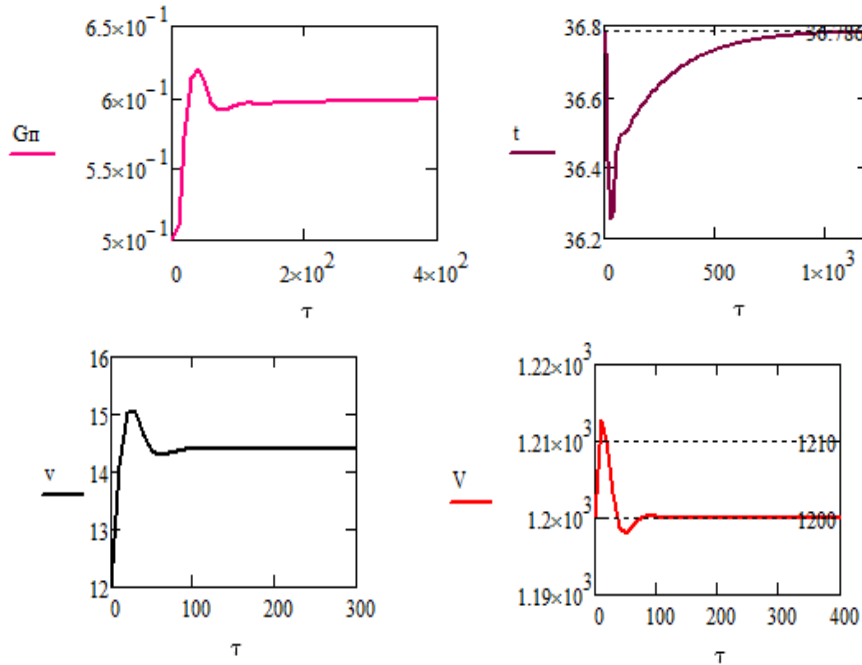


Рис. 29. Переходные процессы при действии ступенчатого возмущения величиной $\Delta v = +2,4$ л/мин

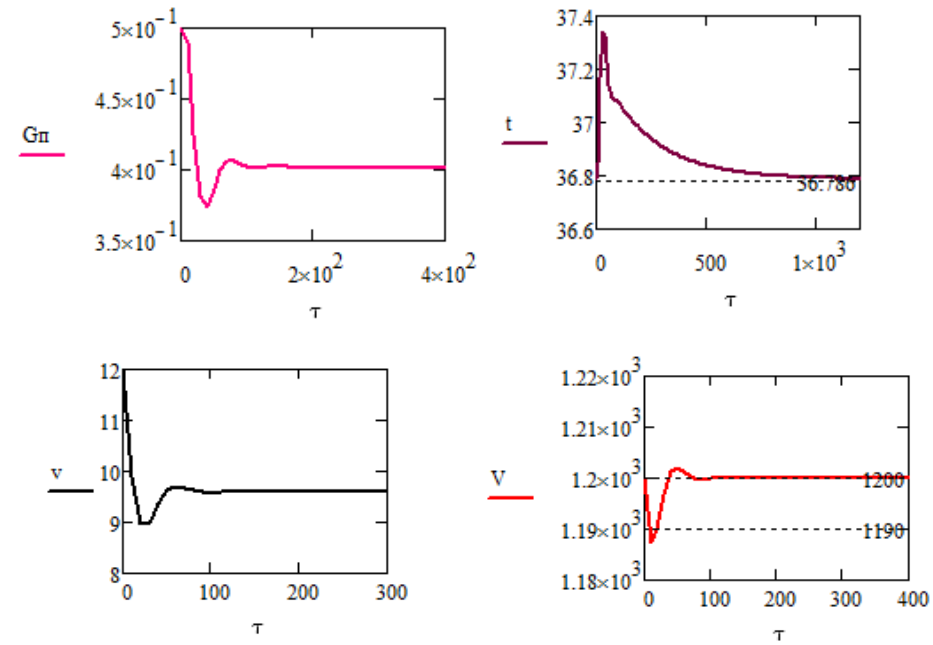


Рис. 30. Переходные процессы при действии ступенчатого возмущения величиной $\Delta v = -2,4$ л/мин

Исследование системы на ковариантность

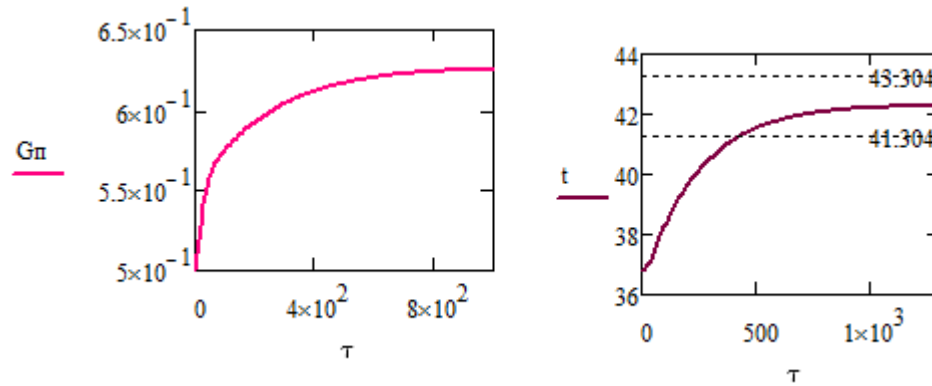


Рис. 23. Графики переходных процессов при изменении задания $\Delta t^{зад} = +5,518 \text{ } ^\circ\text{C}$

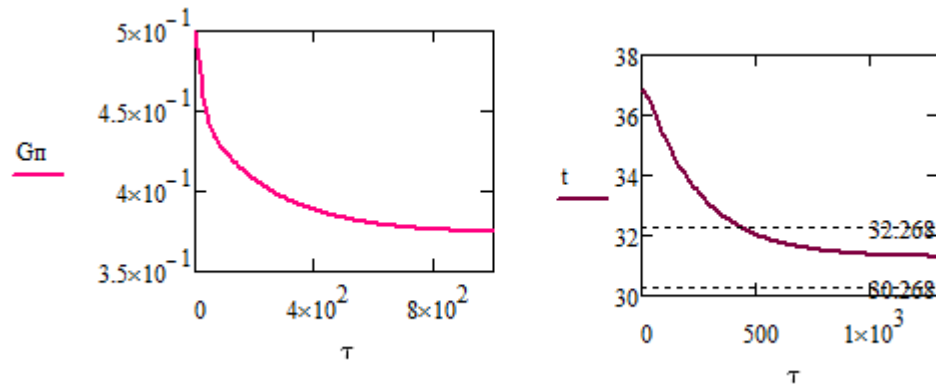


Рис. 23. Графики переходных процессов при изменении задания $\Delta t^{зад} = -5,518 \text{ } ^\circ\text{C}$

Анализ результатов моделирования

Таблица 2

	Одноконтурная система управления		Каскадная система управления	
	Динамическая ошибка	Время регулирования	Динамическая ошибка	Время регулирования
Инвариантность				
При возмущении $\Delta t_{\text{вх}} = \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	0,436 $^\circ\text{C}$ (8,72%)	0 мин	0,265 $^\circ\text{C}$ (5,3%)	0 мин
При возмущении $\Delta r_n = \pm 438 \text{ кДж/кг}$	0,97 $^\circ\text{C}$ (19,4%)	0 мин	0,034 $^\circ\text{C}$ (0,68%)	0 мин
При возмущении $\Delta v_{\text{вх}} = \pm 0,24 \text{ л/мин}$	0,893 $^\circ\text{C}$ (17,86%)	0 мин	0,532 $^\circ\text{C}$ (10,64%)	0 мин
Ковариантность				
При задающем воздействии $\Delta t_3 = \pm 5,518^\circ\text{C}$ (15% от t)	1,593 $^\circ\text{C}$ (31,88%)	112 мин	0 $^\circ\text{C}$ (0%)	430 мин

Вывод

В ходе проведения математического моделирования анализ результатов показал:

- обе системы управления являются устойчивыми;
- системы инвариантны к возмущениям, динамические ошибки по температуре очень малы и время регулирования равняется нулю;
- при изменении задания на 15 % от исходного значения, обе системы выходят на новые значения, значит они ковариантны с заданием.

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод, что одноконтурная и каскадно-связанная системы регулирования температуры являются работоспособными.

Кроме того, если сравнивать работу одноконтурной системы регулирования и каскадной, то очевидно, что у каскадной САР наблюдается меньшая инерционность, меньшая динамическая ошибка, поэтому в данном случае целесообразно использовать каскадно-связанную САР.