ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

Розробка таблиці регламентів

Назва парамет-рів	Позна-чення	Одиниці вимірю-вання	Номінальне значення параметру або ф-ція зміни номінальн-ого значення	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі ($t \to \infty$)	Короткочасні ($0 < t << \infty$)	
				величина	величина	час, с
Температура виноматеріалу	$\theta_{в1}$	^0C	–4	±0,2	±1	150
Температура холодоагенту	$\Theta_к$	^0C	–14	±0,2	±1	150

ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

Розробка регламентних зон

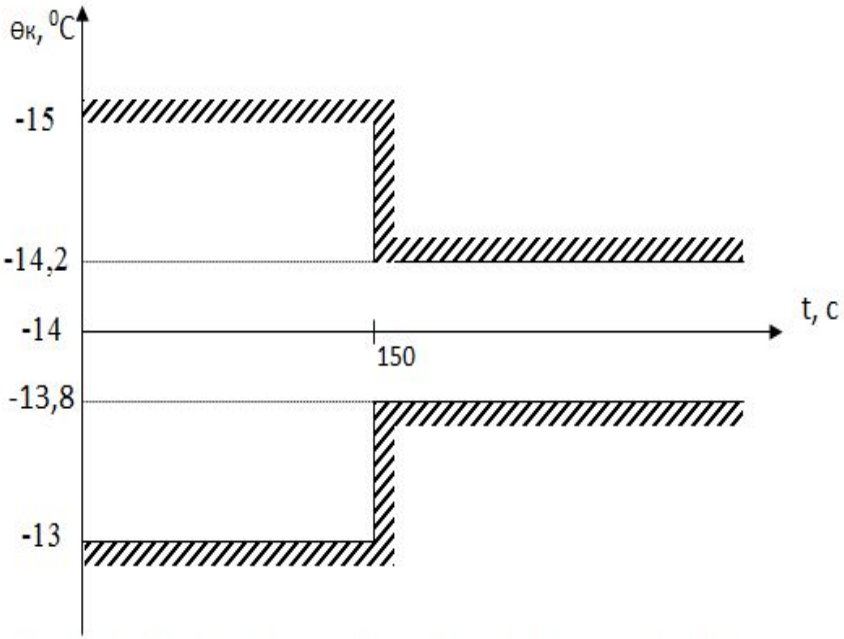


Рис. 1.1 – Регламентна зона для температури холодоагенту

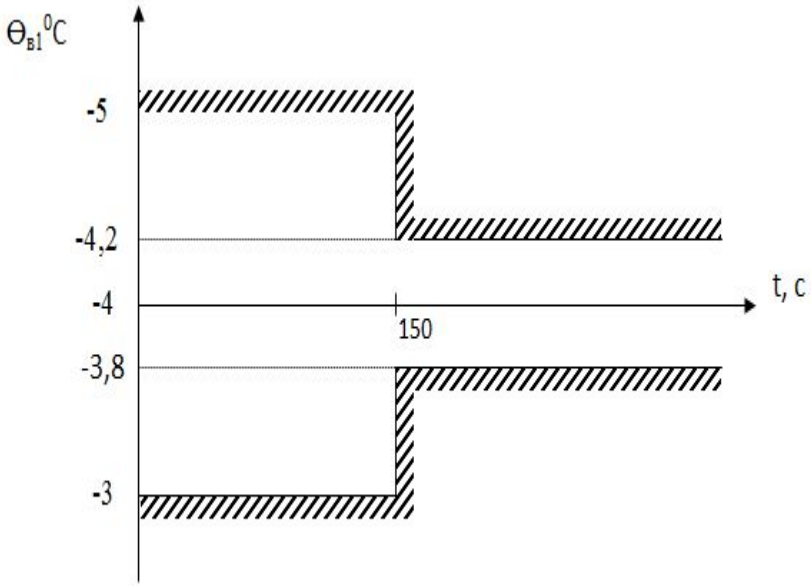


Рис. 1.2 – Регламентна зона для температури виноматеріалу $\Theta_{в1}$

ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

Вибір та обґрунтування узагальненої структурної схеми

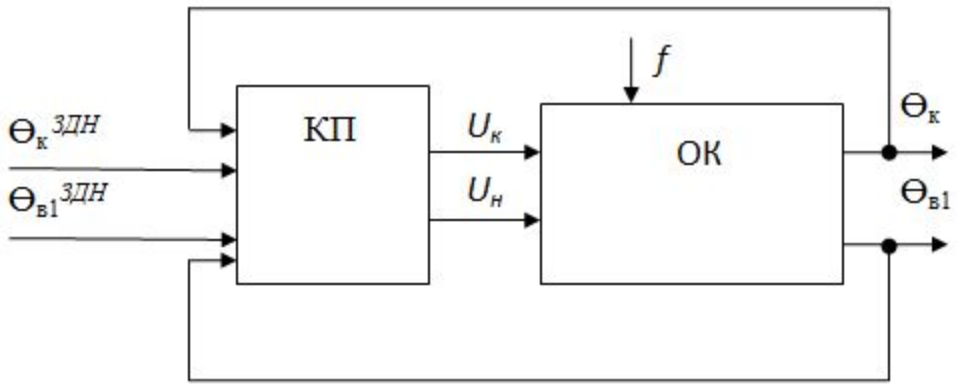


Рис.3 – Структурна схема САР у відповідності до замкненого принципу керування

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її найпростішої конкретної структури

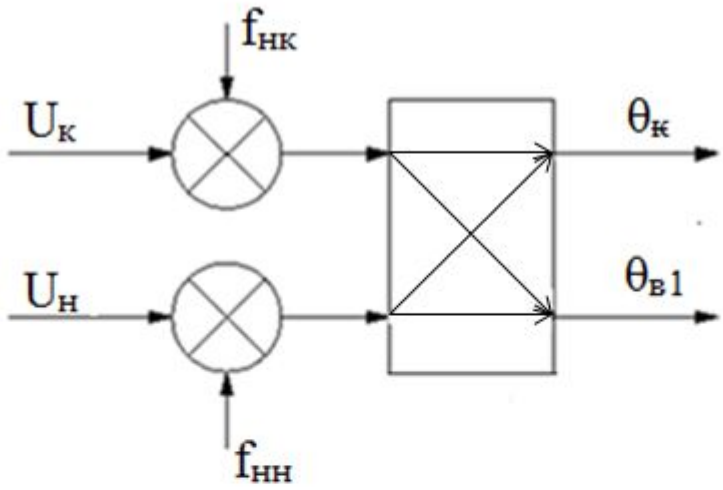


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу шампанізації вин як об'єкта регулювання

На рисунку:

$\Theta_к$ -Температура готхолодоагенту

$\Theta_{в1}$- Температура виноматеріалу

$U_к$-Частотне регулювання компрессора

$U_н$-Частотне регулювання насоса

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

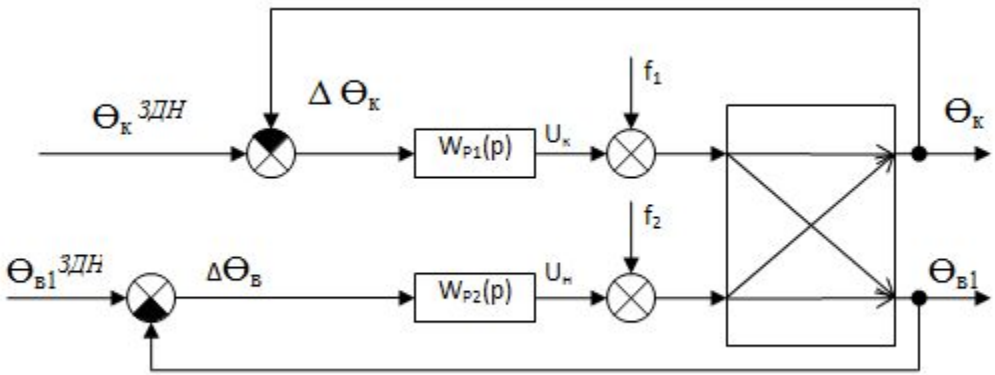


Рис. 5 – Структурна схема САР процесу підготовки охолодженої води базової структури

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Структурна схема моделювання САР в середовищі імітаційного моделювання Simulink

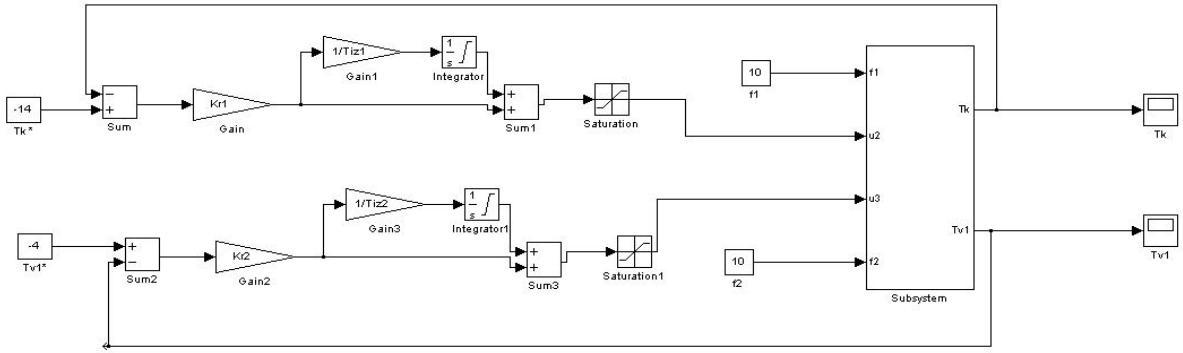


Рис. 6 – Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором.

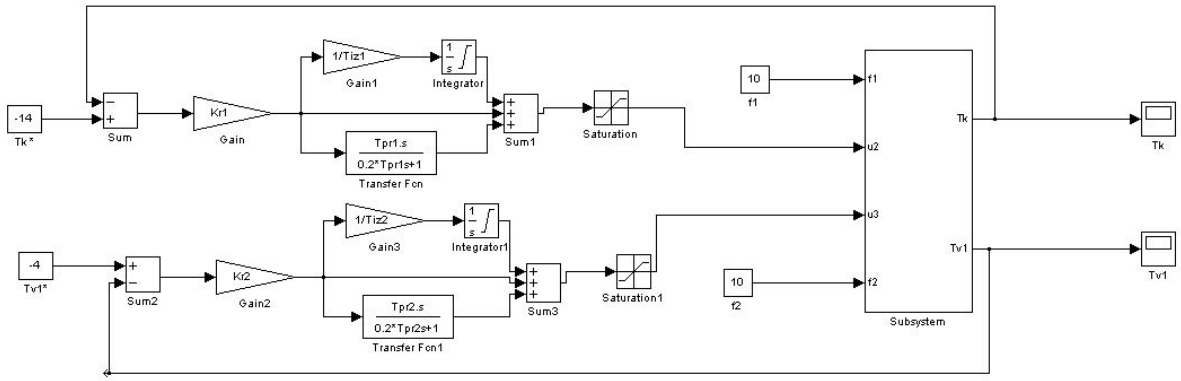


Рис. 7 – Структурна схема моделювання САР с ПІД-регулятором.

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Вибір початкових наближень настроювальних параметрів алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОУ каналу температури холодоагенту продукту буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0{,}1 \cdot e^{-14{,}7p}}{10{,}7p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0{,}8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0.8 \cdot 10{,}68}{-0{,}1 \cdot 14{,}73} = -5{,}8 \frac{\%x.p.o.}{°C}$$

$$T_{ИЗ} = 2{,}5 \cdot \tau_O = 2{,}5 \cdot 14{,}7 = 36{,}8c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1 \cdot 10{,}7}{-0{,}1 \cdot 14{,}7} = -7{,}25 \frac{\%x.p.o.}{°C}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_O = 2 \cdot 14{,}7 = 29{,}5c$$

$$T_{ПР} = \tau_O = 14{,}7c$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОУ каналу температури виноматеріалу буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0{,}1 \cdot e^{-29{,}3p}}{23{,}1p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0{,}8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0.8 \cdot 23{,}1}{-0{,}1 \cdot 29{,}3} = -6{,}3 \frac{\%x.p.o.}{°C}$$

$$T_{ИЗ} = 2{,}5 \cdot \tau_O = 2{,}5 \cdot 29{,}3 = 73{,}1c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

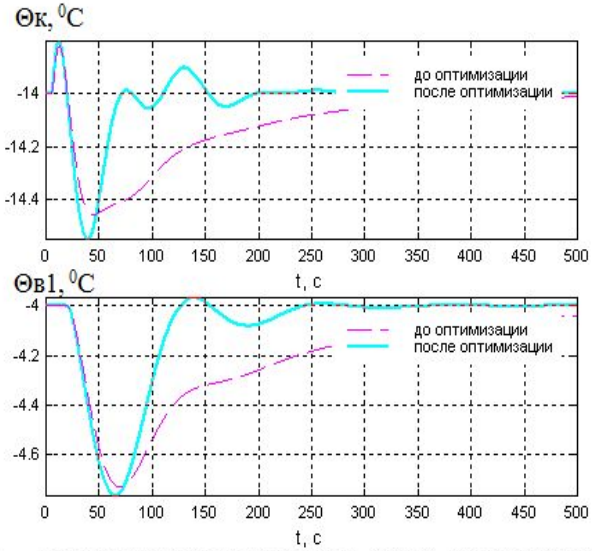
$$K_p = \frac{1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1 \cdot 23{,}1}{-0{,}1 \cdot 29{,}3} = -7{,}9 \frac{\%x.p.o.}{°C}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_O = 2 \cdot 29{,}3 = 58{,}5c$$

$$T_{ПР} = \tau_O = 29{,}3c$$

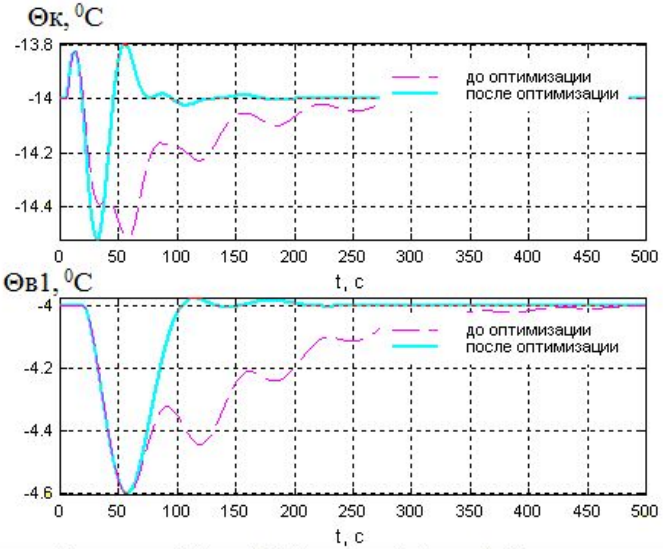
СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих вхідних впливів



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	-9.055	-20	-5.8	5	до - 174.6452
Tiz1	11.166	0.5	36.83	500	после - 71.854
Kr2	-8.597	-20	-6.3	20	оптимизации.
Tiz2	37.002	0.5	73.1	500	Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 290

Рис.8 – Результат оптимізації налаштувань ПІ – регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	-15.3942	-30	-7.25	5	до - 117.4963
Tiz1	6.2948	0.5	29.46	500	после - 41.6289
Tpr1	8.0822	0.5	14.73	500	оптимизации.
Kr2	-12.1778	-30	-7.9	5	Количество шагов
Tiz2	30.5436	0.5	58.5	500	процедуры оптимизации:
Tpr2	10.5966	0.5	29.25	500	максимальное - 1000
					фактическое - 837

Рис. 9 – Результат оптимізації налаштувань ПІД – регулятора

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах

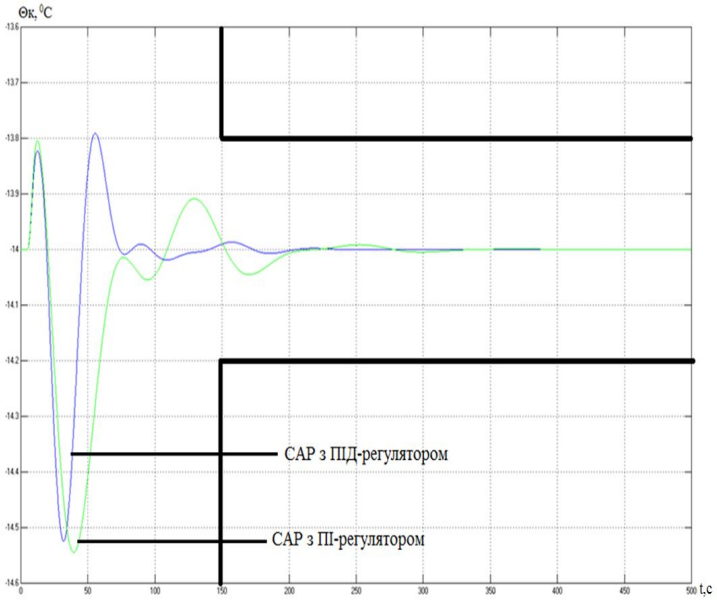


Рис. 10 – Результати порівняння варіантів САР для каналу температури холодоагенту

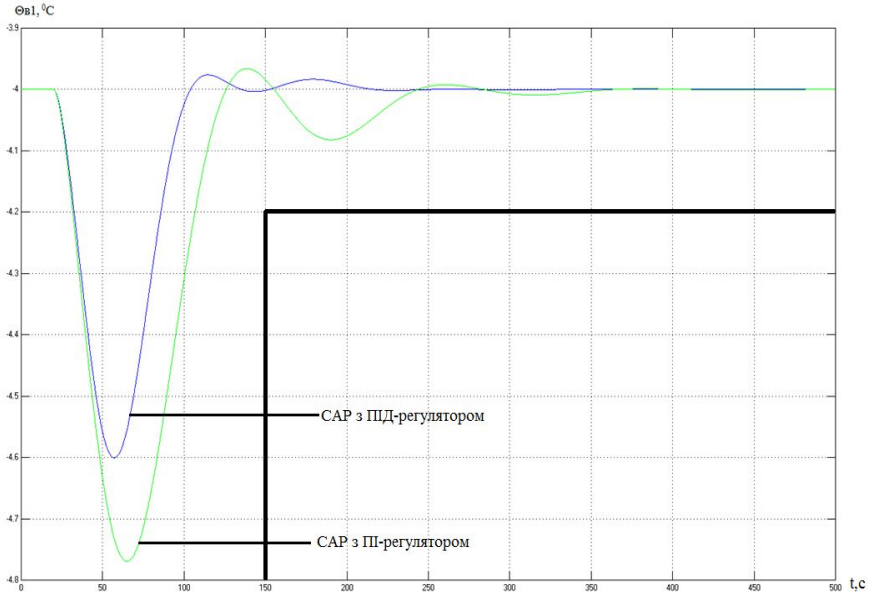


Рис. 11– Результати порівняння варіантів САР для каналу температури виноматеріалу

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОУ

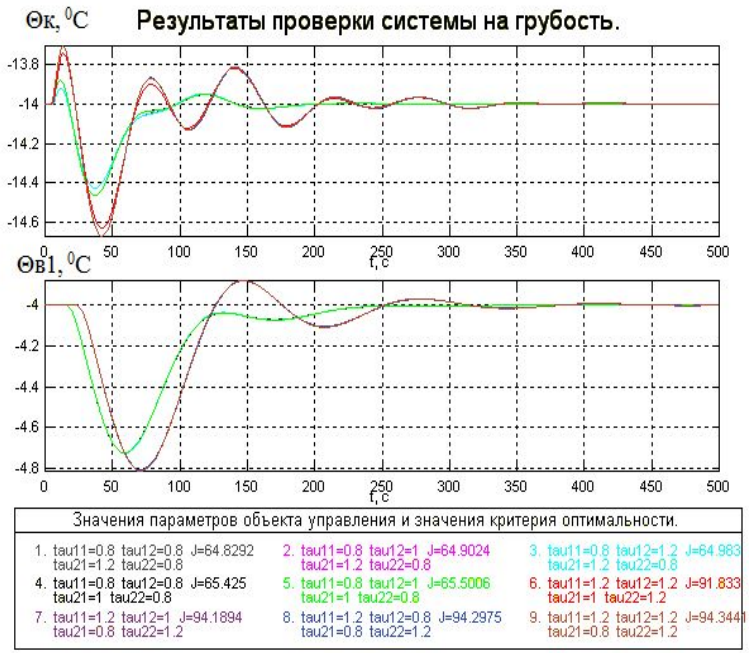


Рис. 12 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень.

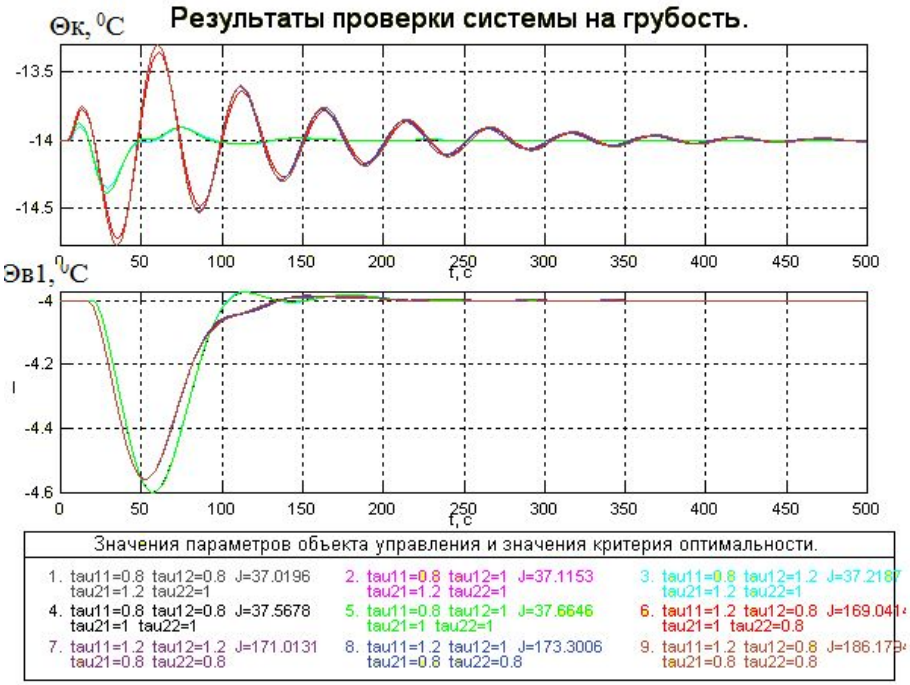


Рис. 13 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень.

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Вибір з розглянутих поєднань параметрів ОУ найбільш несприятливих» і «сприятливих» для управління

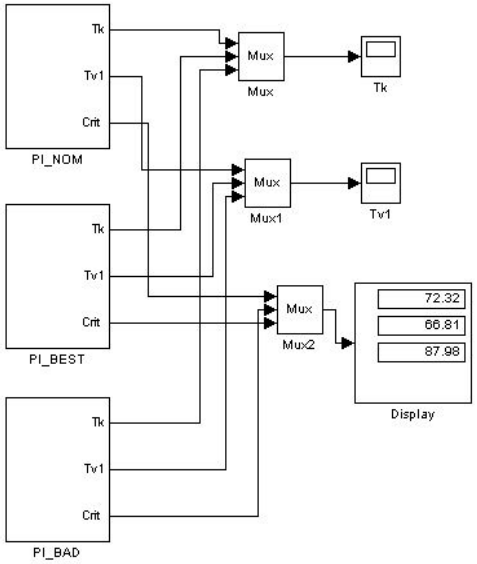


Рис. 14- Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів для управління параметрів ОУ.

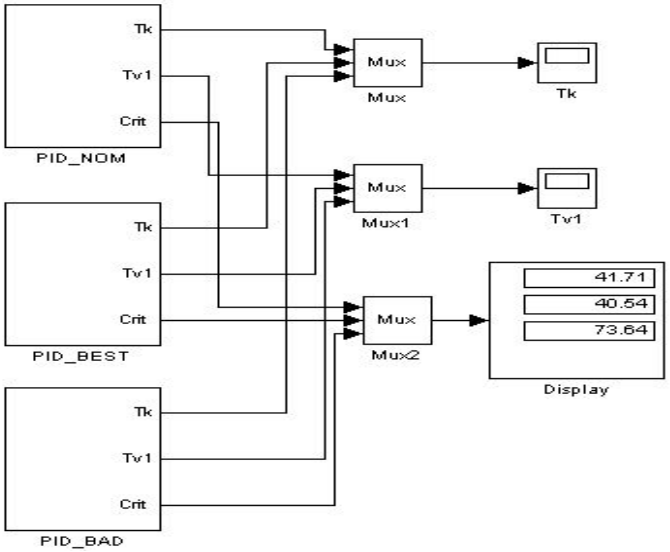
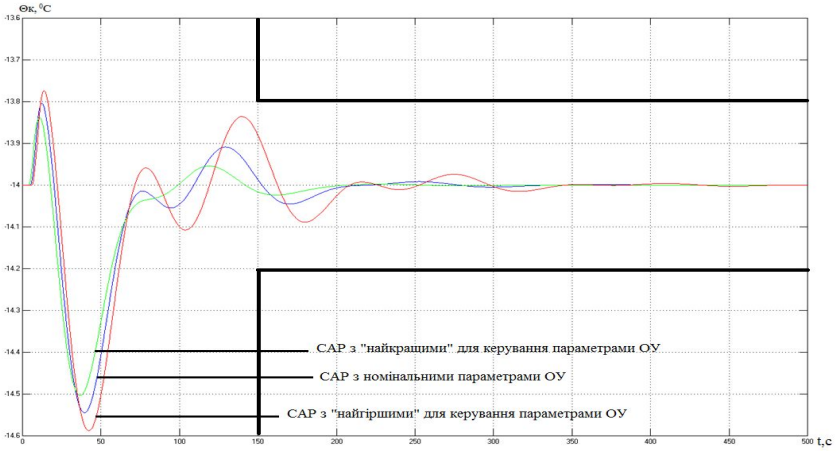
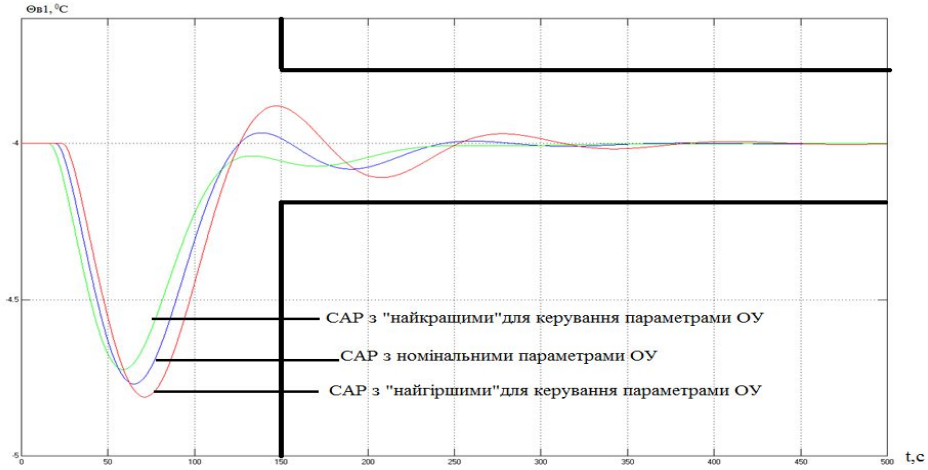


Рис. 15- Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів для управління параметрів ОУ.

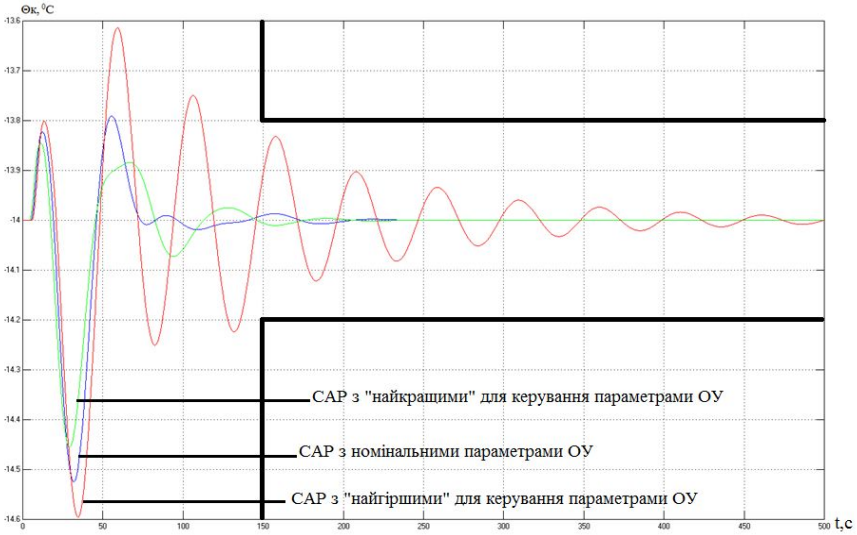
СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

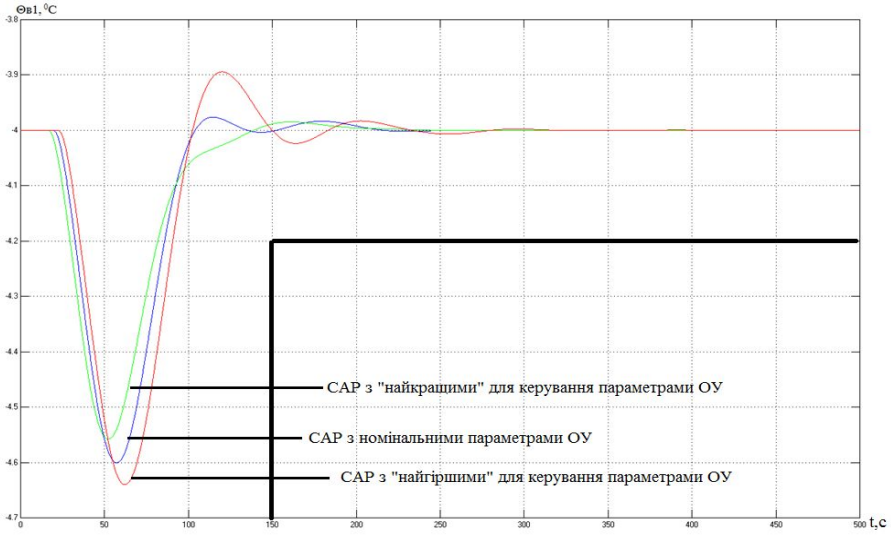
Результати порівняння варіантів САР з ПІ-регулятором





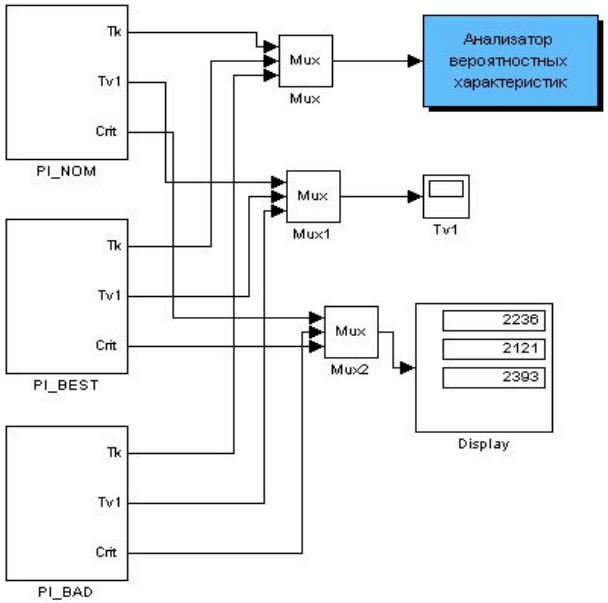
Результати порівняння варіантів САР з ПІД-регулятором





СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах



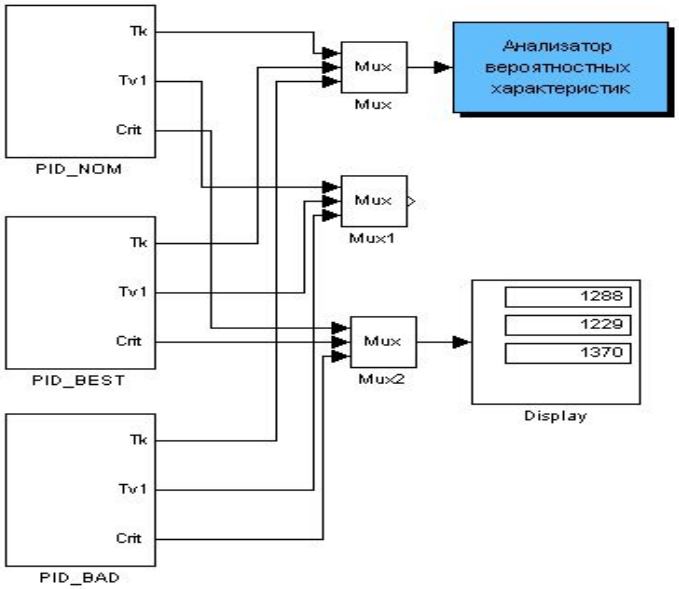
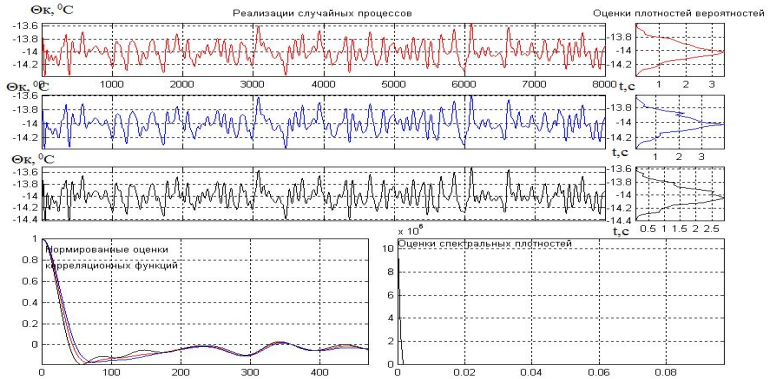


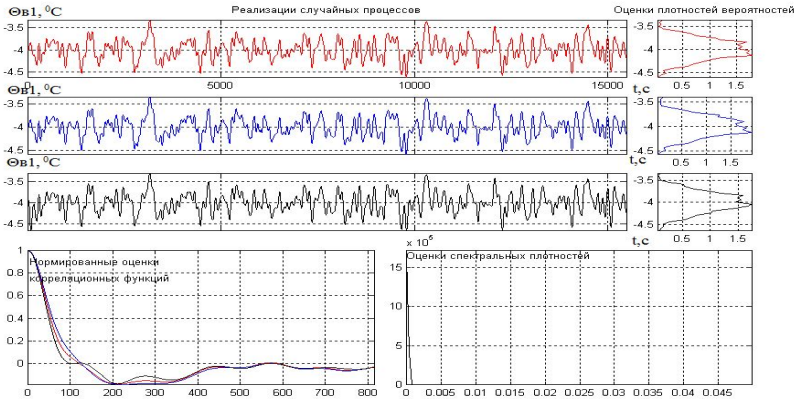
Рис.20-Структурна схема моделювання САР з ПІ та ПІД-регулятором для оцінки грубості в сталих режимах.

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Оцінка отримання статистично стійких результатів

Результати моделювання САР с ПІ-регулятором

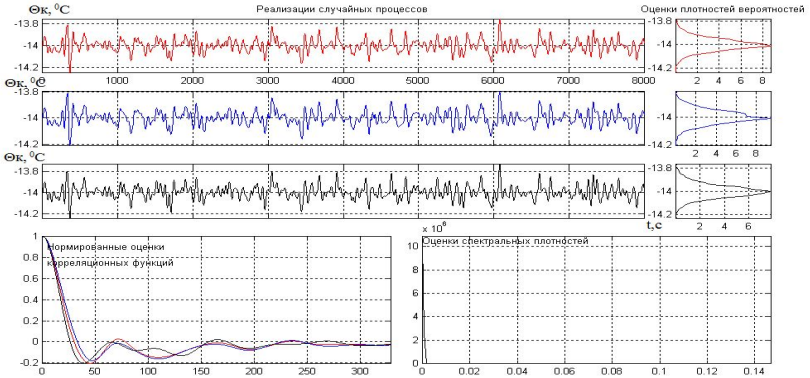


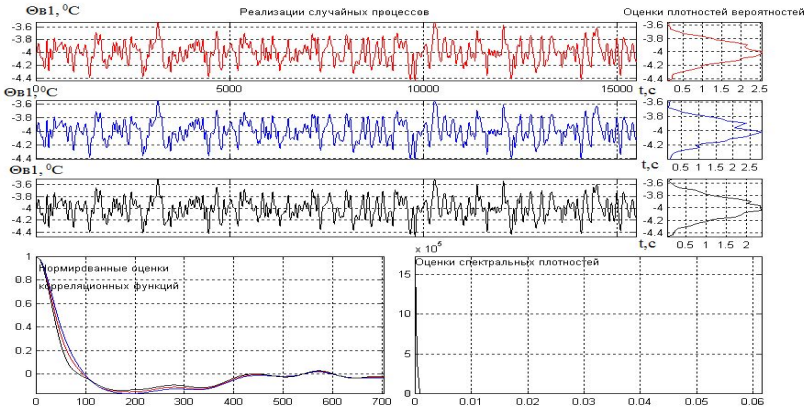


Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.14	0.13	0.15
Оценка среднеквадратического периода / частоты	148.2 / 0.042	156.9 / 0.04	129.0 / 0.049

Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.22	0.21	0.24
Оценка среднеквадратического периода / частоты	258.3 / 0.024	271.9 / 0.023	252.0 / 0.025

Результати моделювання САР с ПІД-регулятором





Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.057	0.053	0.062
Оценка среднеквадратического периода / частоты	98.8 / 0.064	109.6 / 0.057	95.6 / 0.073

Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.16	0.15	0.17
Оценка среднеквадратического периода / частоты	221.4 / 0.028	234.8 / 0.027	203.9 / 0.031

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності

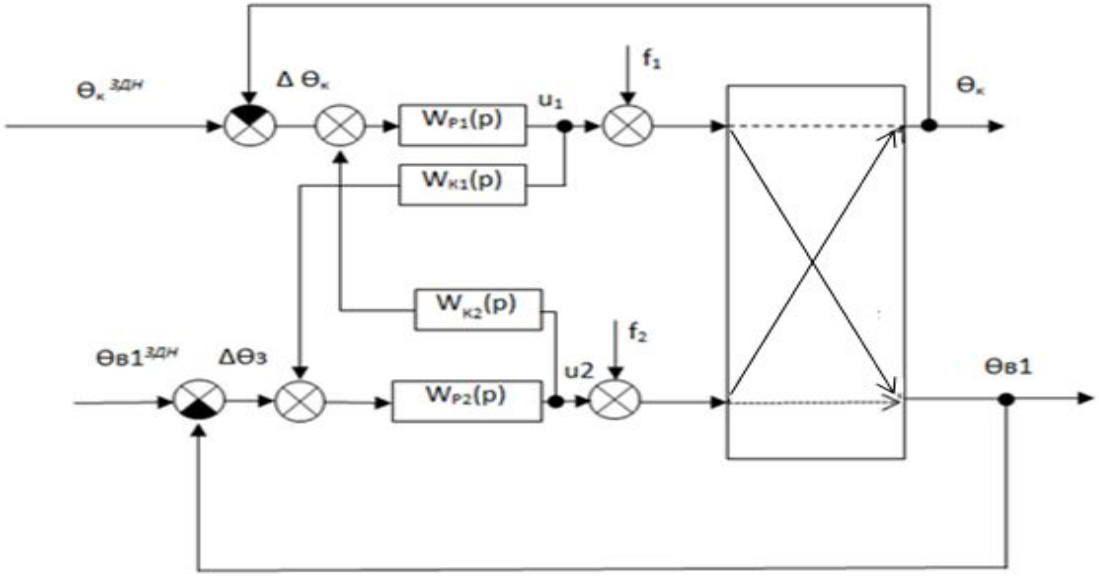


Рис. 23 - Структурна схема двомірної автономної САР, з міжрегуляторним корегуючим зв ’ язком

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Виведення передаточних функцій корегуючих зв'язків

$$W_{к_1}(p) = -\frac{W^{o}_{ик-тв1}(p)}{W^{p}_{2}(p)\cdot W^{o}_{и2-тв1}(p)}$$

$$W^{o}_{ик-тв1}(p) = \frac{-0{,}03\cdot e^{-43p}}{18{,}8p+1}$$

$$W^{o}_{ин-тв1}(p) = \frac{-0{,}1\cdot e^{-29{,}3p}}{23{,}1p+1}$$

$$W^{p}_{2}(p) = k_p\cdot\left(1+\frac{1}{T_{из}p}+Tпр\right) = -12{,}2\cdot\left(1+\frac{1}{30{,}5p}+10{,}6p\right)$$

$$W_{к_1}(p) = -\frac{W^{o}_{ик-тв1}(p)}{W^{p}_{2}(p)\cdot W^{o}_{и2-тв1}(p)} =$$

$$= -\frac{\frac{-0.03\cdot e^{-43p}}{18{,}8p+1}}{-12{,}2\cdot\left(1+\frac{1}{30{,}5p}+10{,}6p\right)\cdot\frac{-0.1\cdot e^{-29{,}3p}}{23{,}1p+1}} =$$

$$= -\frac{-0.03\cdot e^{-43p+29{,}3p}}{-12{,}2*(-0.1)}\cdot\frac{30{,}5p*(23{,}1p+1)}{(18{,}8p+1)(30{,}5*10{,}6p^2+30{,}5p+1)} =$$

$$= 0.025\,\frac{704{,}6p^2+30{,}5p}{6061{,}9p^3+895{,}2p^2+49{,}3p+1}\cdot e^{-13{,}8p}$$

$$W_{к_2}(p) = -\frac{W^{o}_{ик-тк}(p)}{W^{p}_{1}(p)\cdot W^{o}_{ик-тк}(p)}$$

$$W^{o}_{ин-тк}(p) = \frac{0{,}05\cdot e^{-7{,}9p}}{6{,}3p+1}$$

$$W^{o}_{ик-тк}(p) = \frac{-0{,}1\cdot e^{-14{,}7p}}{10{,}7p+1}$$

$$W^{p}_{1}(p) = k_p\cdot\left(1+\frac{1}{T_{из}p}+Tпр\right) = -15{,}4\cdot\left(1+\frac{1}{6{,}3p}+8p\right)$$

$$W_{к_2}(p) = -\frac{W^{o}_{ик-тк}(p)}{W^{p}_{1}(p)\cdot W^{o}_{ик-тк}(p)} =$$

$$= -\frac{\frac{0{,}05\cdot e^{-7{,}9p}}{6{,}3p+1}}{-15{,}4\cdot\left(1+\frac{1}{6{,}3p}+8p\right)\cdot\frac{-0.1\cdot e^{-14{,}7p}}{10{,}68p+1}} =$$

$$= -\frac{0{,}05\cdot e^{-7{,}9p+14{,}7p}}{-15{,}4*-0{,}1}\cdot\frac{6{,}3p*(10{,}68p+1)}{(6{,}3p+1)(6{,}3p*8p^2+6{,}3p+1)} =$$

$$= -0.03\,\frac{68p^2+6{,}3p}{317{,}5p^3+90p^2+12{,}6p+1}\cdot e^{6{,}8p}$$

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

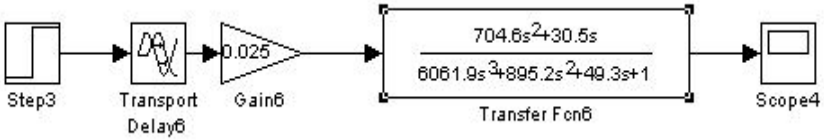


Рис. 24 - Структурна схема моделювання передатньої функції корегуючого зв'язку $W_{к_1}(p)$

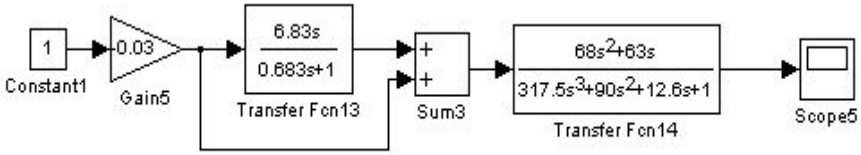


Рис. 25 - Структурна схема моделювання передатньої функції корегуючого зв'язку $W_{к_2}(p)$

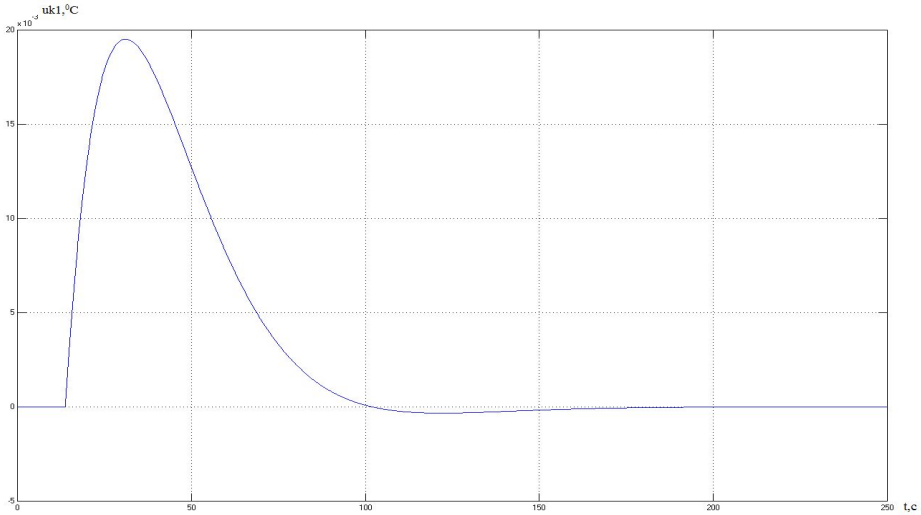


Рис.26- Перехідна характеристика корегуючого зв'язку $W_{к_1}(p)$

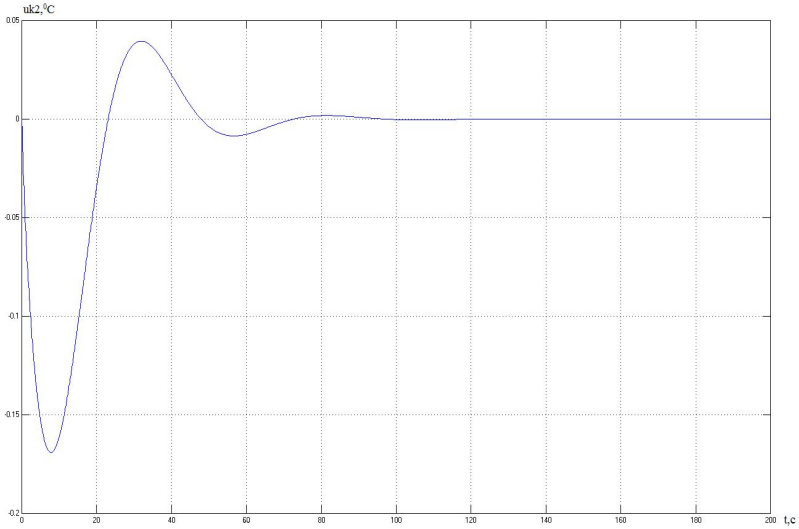


Рис. 27- Перехідна характеристика корегуючого зв'язку $W_{к_2}(p)$

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації

$$W_{к_1}(p) = 0{,}025\,\frac{704{,}6p^2+30{,}5p}{6061{,}9p^3+895{,}2p^2+49{,}3p+1}\cdot e^{-13{,}8p}$$

$$=0{,}025\,\frac{30{,}5p}{895{,}2p^2+49{,}25p+1}\cdot e^{-13{,}75p}$$

$$W_{к_2}(p) = -0{,}03*\left(1+\frac{6{,}8p}{0{,}68p+1}\right)*\frac{68p^2+6{,}3p}{317{,}5p^3+90p^2+12{,}6p+1} =$$

$$-0{,}03*\left(1+\frac{6{,}8p}{0{,}68p+1}\right)*\frac{6{,}3p}{90p^2+12{,}6p+1}$$

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації і параметричний синтез САР при детермінованих вхідних впливах

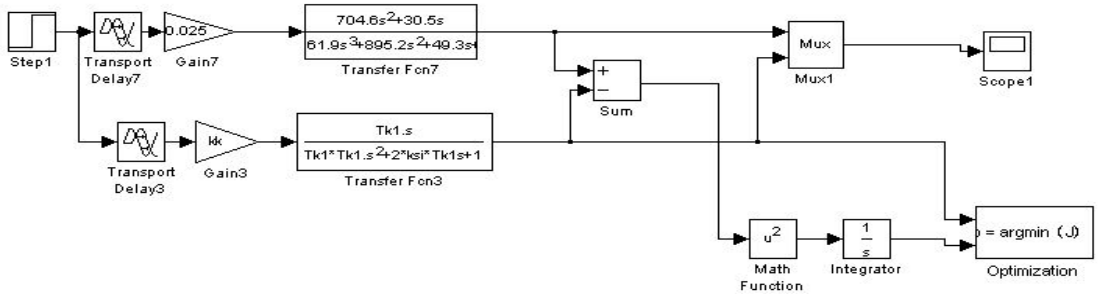
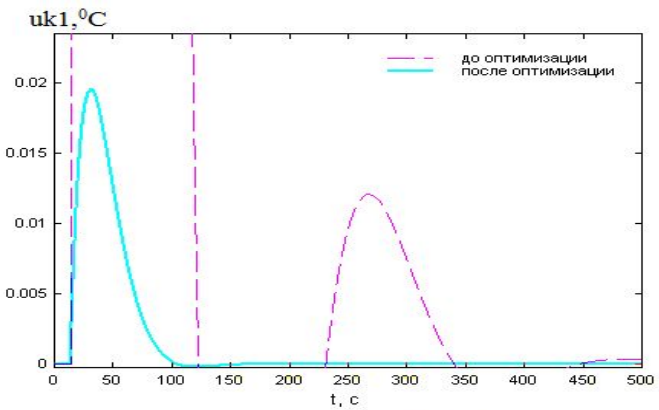


Рис. 28– Схема моделювання для уточнення начальних приближень параметрів корегуючого зв'язку $W_{К_1}(p)$



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
kk	0.046715	-10	0.82	10	до - 9.5833
Tk1	16.4474	0.1	30	200	после - 9.1144e-007
ksi	0.82118	0.1	0.5	10	оптимизации.
					Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 233

Рис.29– Результати розрахунку начальних приближень параметрів корегуючого зв'язку $W_{К_1}(p)$

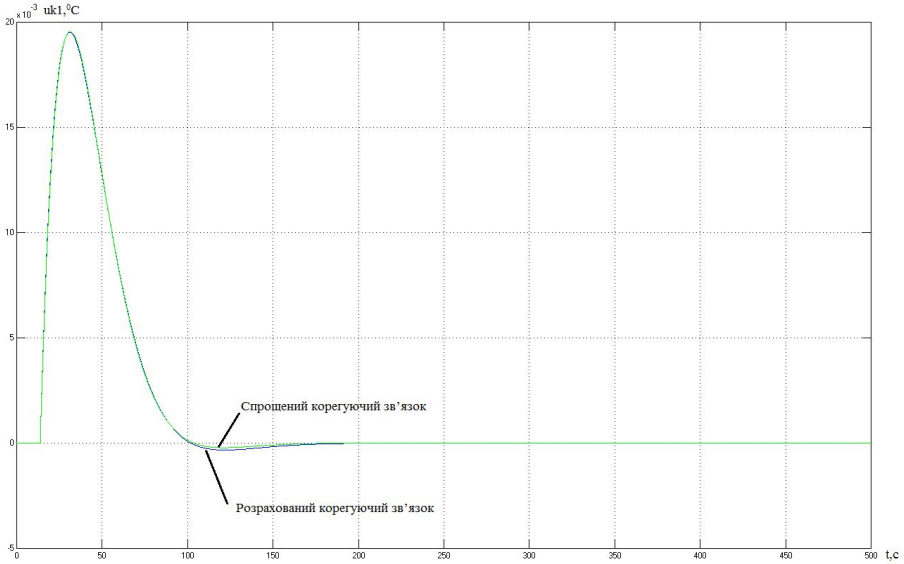


Рис. 30– Перехідна характеристика розрахункового та спрощеного корегуючого зв'язку $W_{К_1}(p)$

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації і параметричний синтез САР при детермінованих вхідних впливах

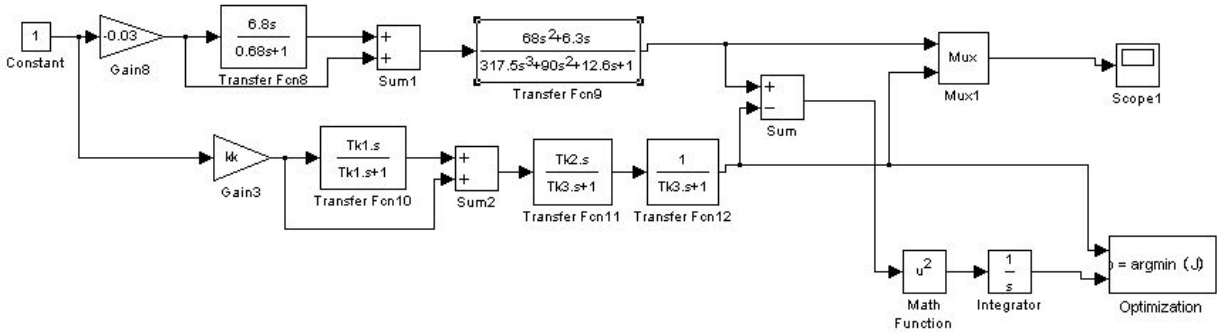
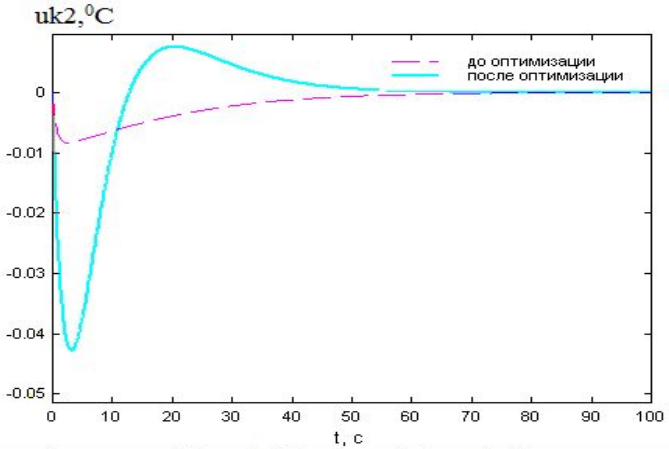


Рис. 31– Схема моделювання для уточнення начальних приближень параметрів корегуючого зв'язку $W_{K_2}(p)$



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
kk	-0.03647	-10	-0.03	10	до - 0.0080776
Tk1	30.6706	0.1	6.83	200	после - 0.00049856
Tk2	4.2139	0.1	6.3	200	оптимизации.
Tk3	7.0321	0.1	12.6	200	Количество шагов процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 273

Рис. 32– Результати розрахунку начальних приближень параметрів корегуючого зв'язку $W_{K_2}(p)$

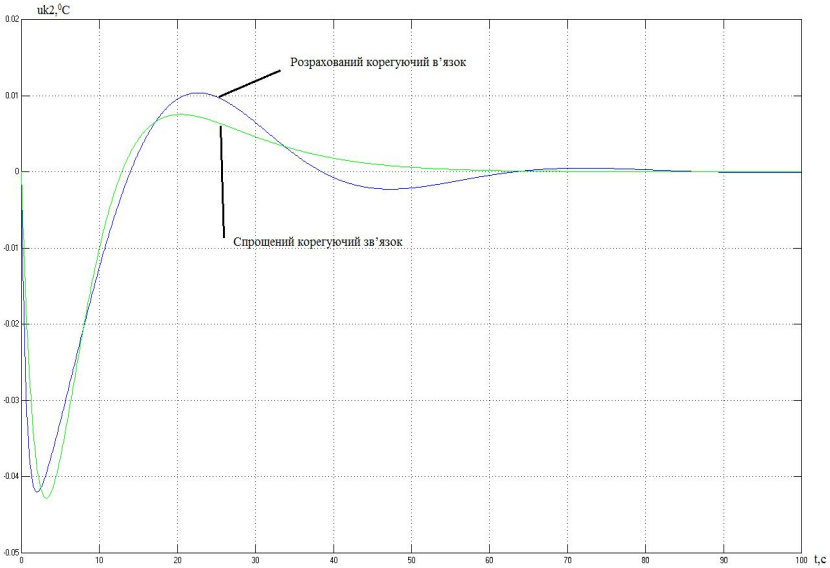


Рис. 33– Перехідна характеристика розрахункового та спрощеного корегуючого зв'язку $W_{K_2}(p)$

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Розробка структурної схеми та програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САК підвищеної динамічної точності для детермінованих(ступінчатих) вхідних впливів

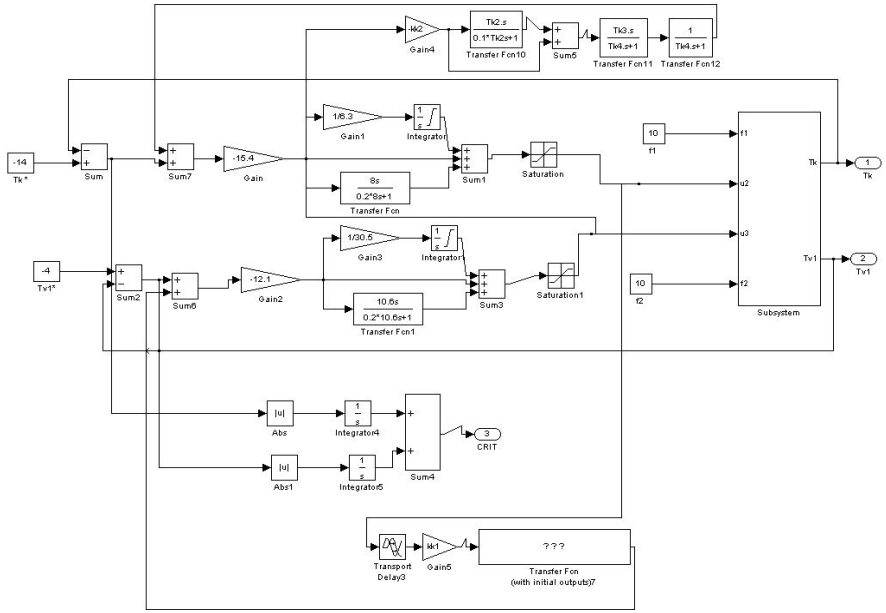
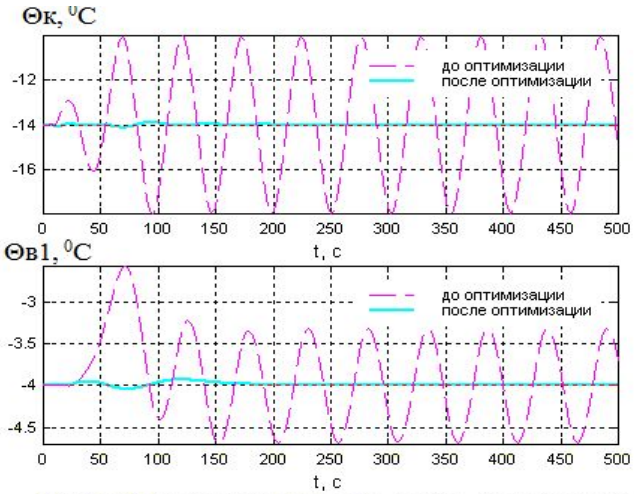


Рис.34 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу корегуючого зв’язку



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел
kk1	0.010053	-10	0.046	100
Tk1	10.9814	0.1	16.4	100
ksi	1.7254	0.1	0.82	100
kk2	-0.01218	-10	-0.036	100
Tk2	40.8838	0.5	30.6	100
Tk3	7.1139	0.5	4.21	100

Значение критерия оптимальности:
до - 1347.2058
после - 12.4653
оптимизации.

Количество шагов процедуры оптимизации:
максимальное - 10000
фактическое - 427

Рис. 35– Результати оптимізації параметрів корегуючого зв’язку

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об’єкту регулювання

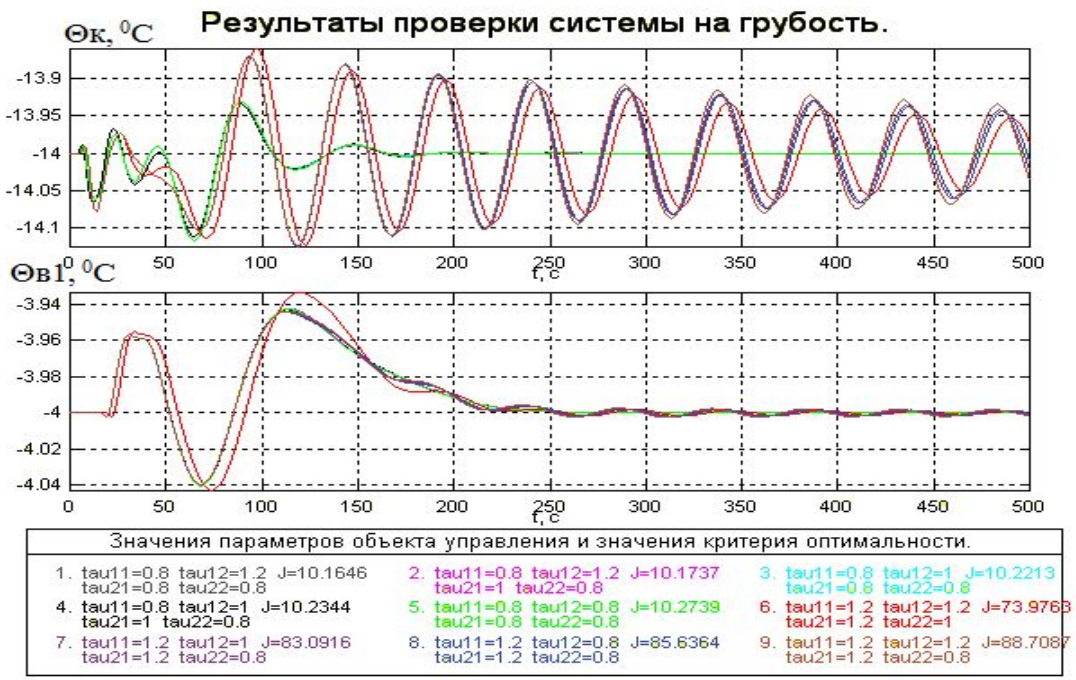


Рис. 36– Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіацій параметрів ОУ

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Вибір з розглянутих комбінацій параметрів ОУ найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для управління.

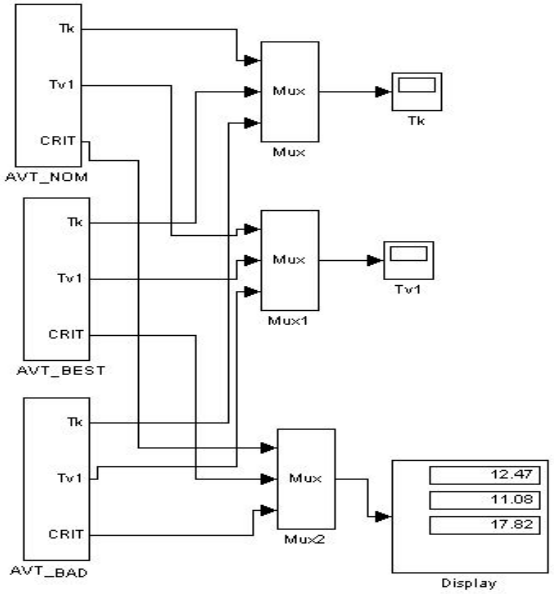
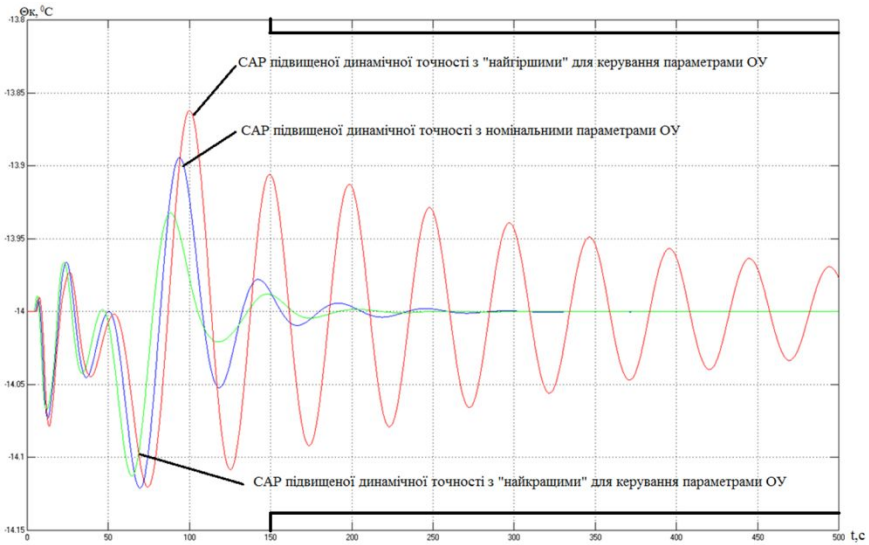


Рис. 37 – Схема моделювання САР підвищеної диномічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" и "несприятливими" для управління параметрами ОУ

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Вибір з розглянутих комбінацій параметрів ОУ найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для управління.



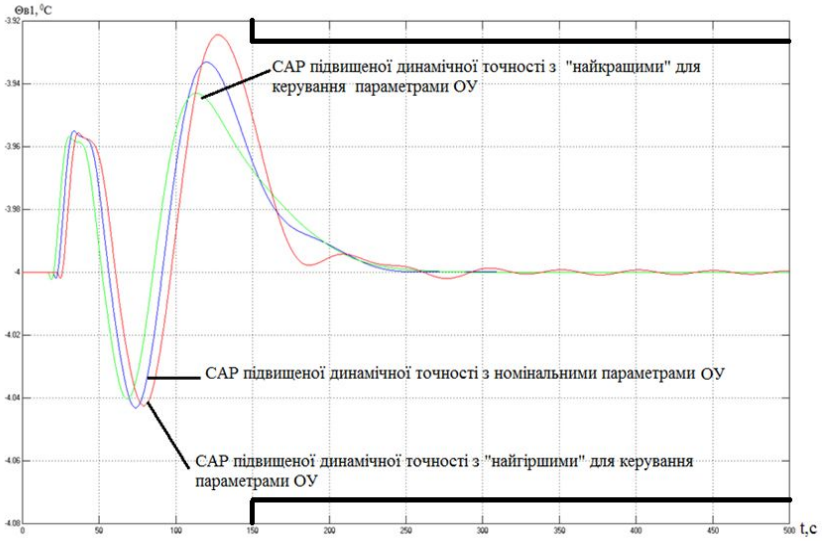


Рис. 38– Результати поррівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Аналіз сталих процесів в САР підвищеної динамічної точності при стохастичних вхідних діях

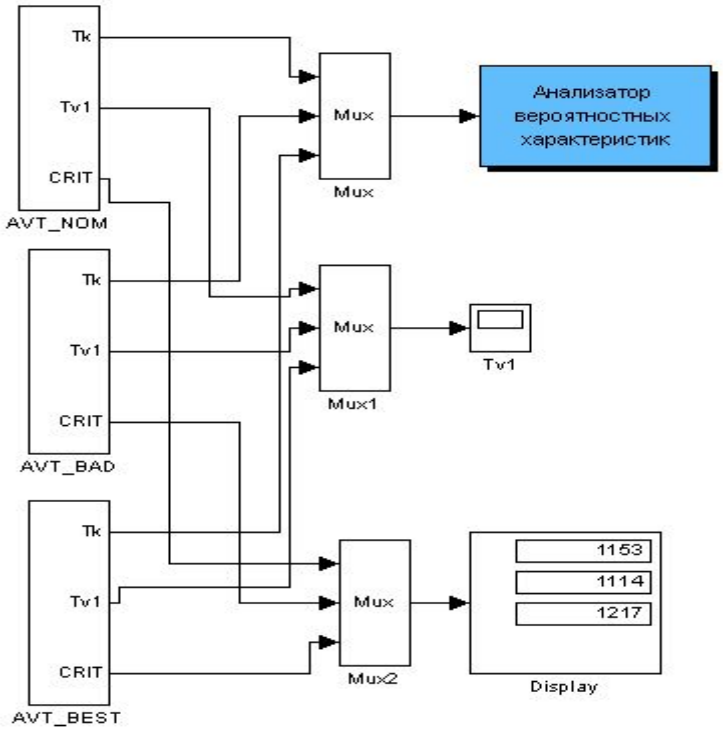
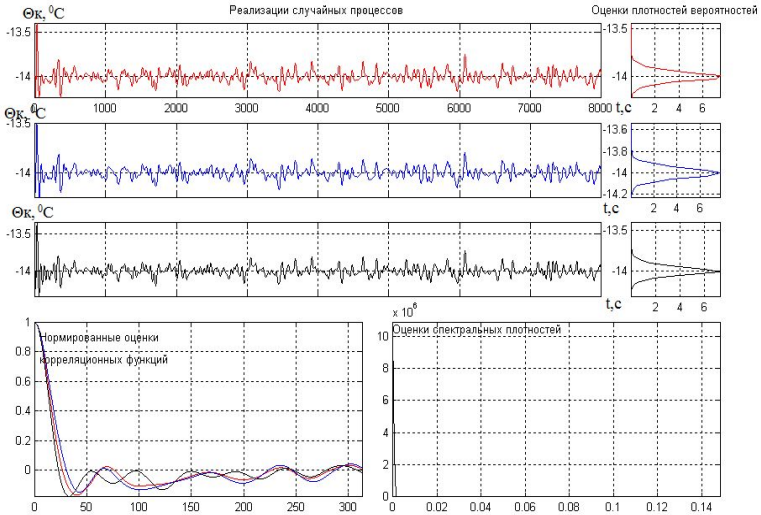


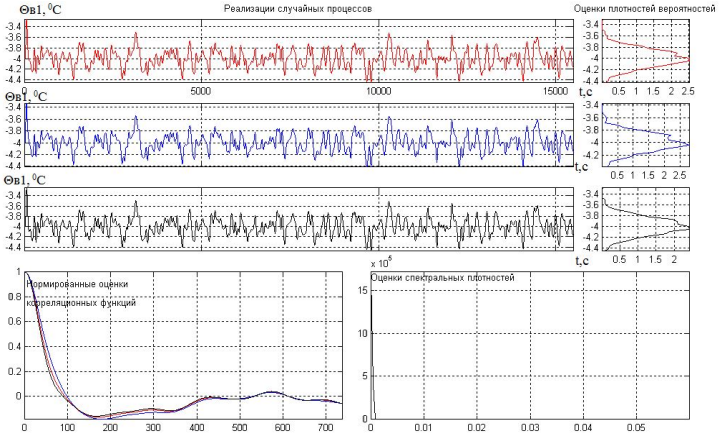
Рис. 39 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки на грубість в сталих режимах

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Аналіз сталих процесів в САР підвищеної динамічної точності при стохастичних вхідних діях



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.065	0.059	0.071
Оценка среднеквадратического периода / частоты	92.5 / 0.068	104.6 / 0.06	84.7 / 0.074



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.16	0.15	0.17
Оценка среднеквадратического периода / частоты	224.6 / 0.028	246.0 / 0.026	209.5 / 0.03

Рис. 40 - Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Порівняльний аналіз САР найпростішої структури й підвищенної динамічної точності (с корегуючими зв’язками)

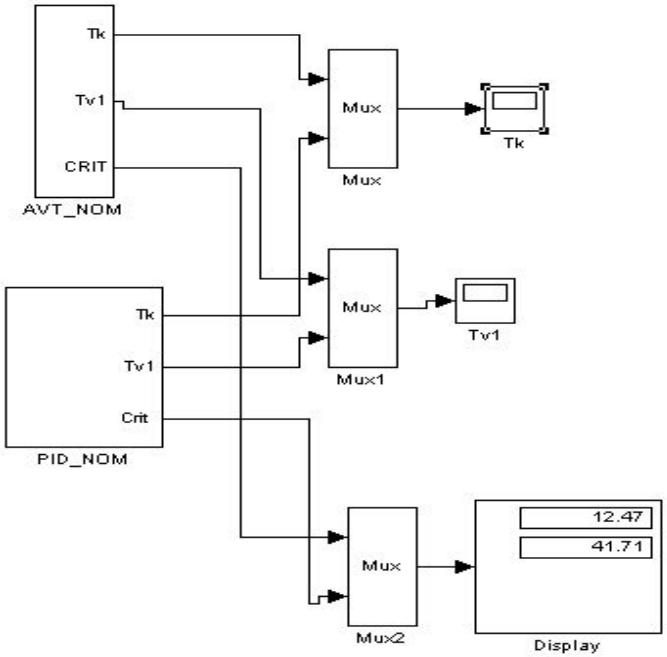


Рис. 41 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Порівняльний аналіз САР найпростішої структури й підвищенної динамічної точності (с корегуючими зв’язками)

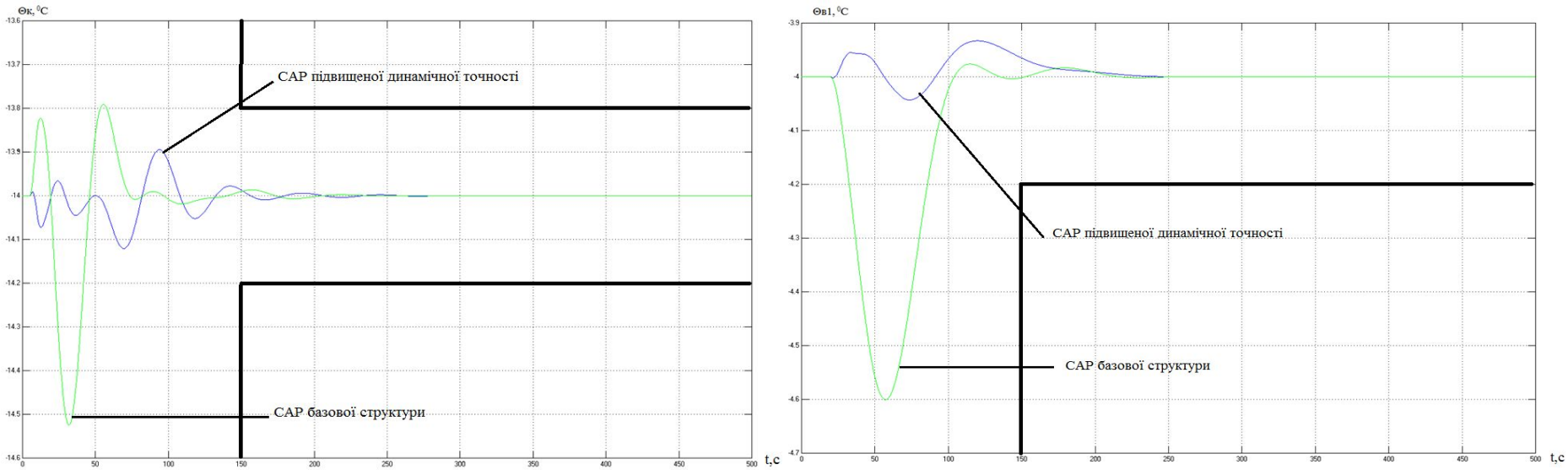


Рис. 42 – Перехідні процеси САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Порівняльний аналіз сталих процесів в параметрично оптимальних САР за інтегральним показником й показником, на які встановлені гранично-допустимі значення.

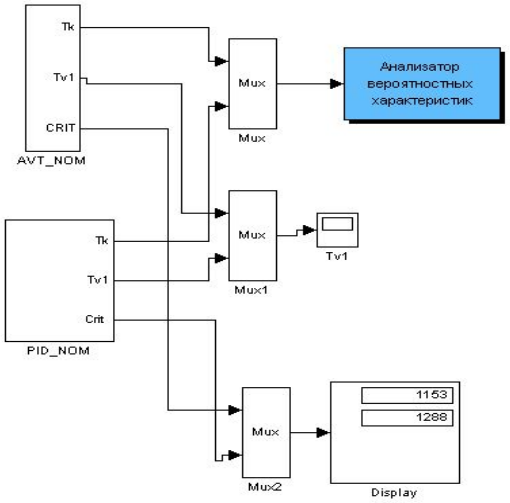
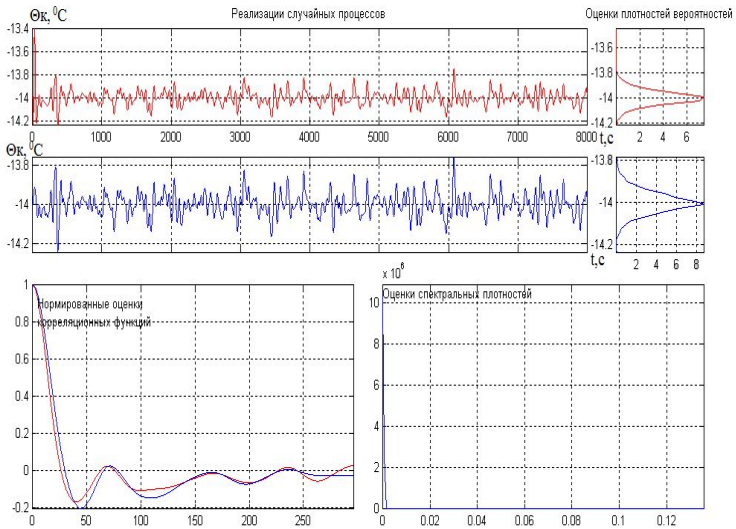
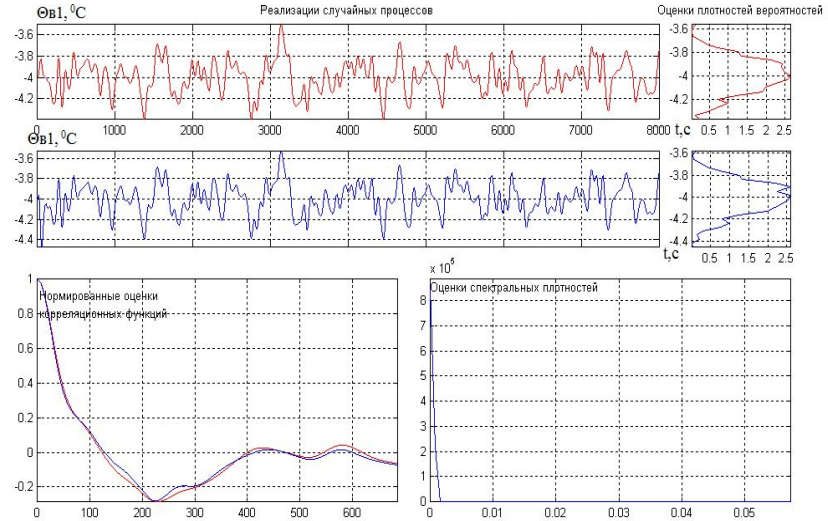


Рис. 43 – Структурна схема моделювання для порівняння САР з ПІД- регулятором та підвищенної динамічної точності САР в сталих режимах

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Порівняльний аналіз сталих процесів в параметрично оптимальних (або детермінованих вхідних впливів) САР за інтегральним показником й показником, на які встановлені гранично-допустимі значення.





Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса	
	1	2
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.065	0.057
Оценка среднеквадратического периода / частоты	92.5 / 0.068	98.8 / 0.064

Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса	
	1	2
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.15	0.15
Оценка среднеквадратического периода / частоты	219.2 / 0.029	228.6 / 0.027

Рис. 44– Результати порівняннясАР з ПІД-регулятором та САР підвищенної динамічної точності в перехідних режимах