

# ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

## Розробка таблиці регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номинальне значення параметру або ф-ція зміни номінального значення	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі ( $t \rightarrow \infty$ )	Короткочасні ( $0 < t \ll \infty$ )	
				величина	величина а	час, с
Температура виноматеріалу	$\theta_{в1}$	$^{\circ}\text{C}$	-4	$\pm 0,2$	$\pm 1$	150
Температура холодоагенту	$\Theta_k$	$^{\circ}\text{C}$	-14	$\pm 0,2$	$\pm 1$	150

# ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

## Розробка регламентних зон

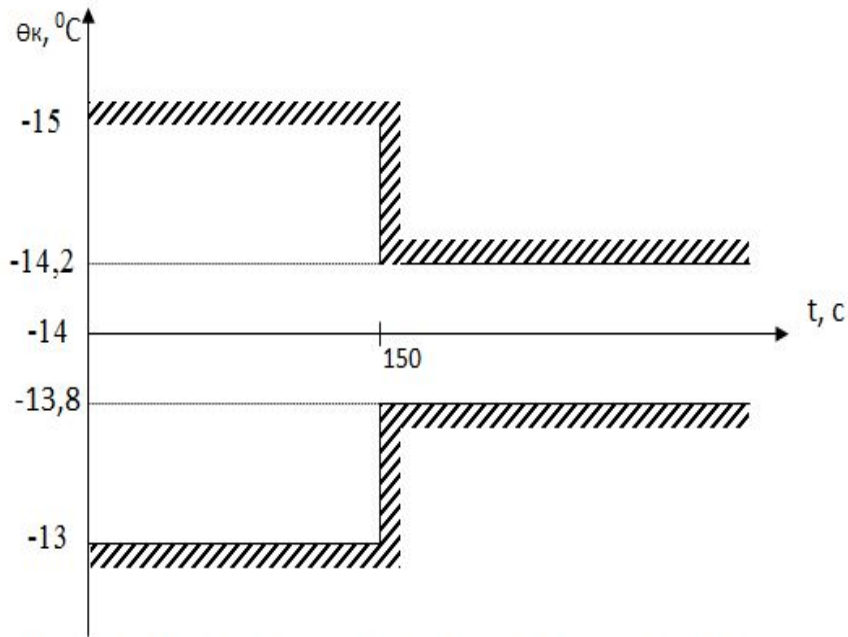


Рис. 1.1 – Регламентна зона для температури холодоагенту

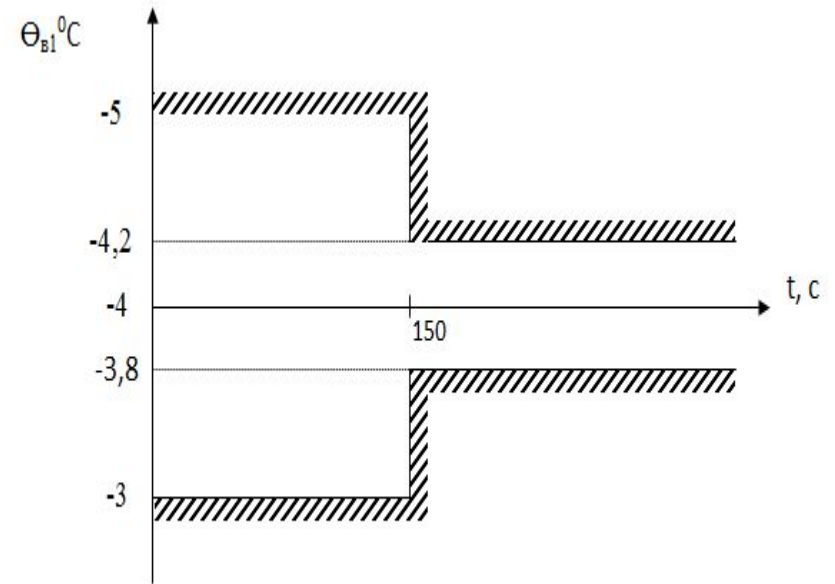


Рис. 1.2 – Регламентна зона для температури виноматеріалу  $\theta_{в1}$

# ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

Вибір та обґрунтування узагальненої структурної  
схеми

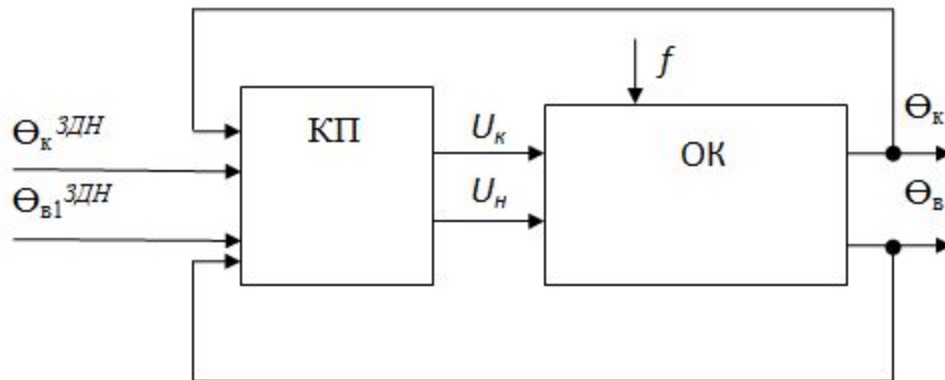


Рис.3 – Структурна схема САР у відповідності до замкненого принципу керування

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

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

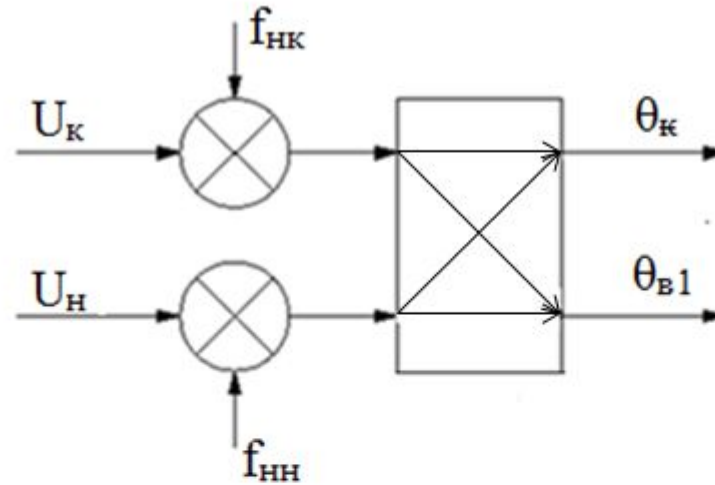


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу шампанізації вин як об'єкта регулювання

На рисунку:

$\Theta_k$  -Температура готхолодоагенту

$\Theta_{B1}$ - Температура виноматеріалу

$U_k$ -Частотне регулювання компресора

$U_H$ -Частотне регулювання насоса

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

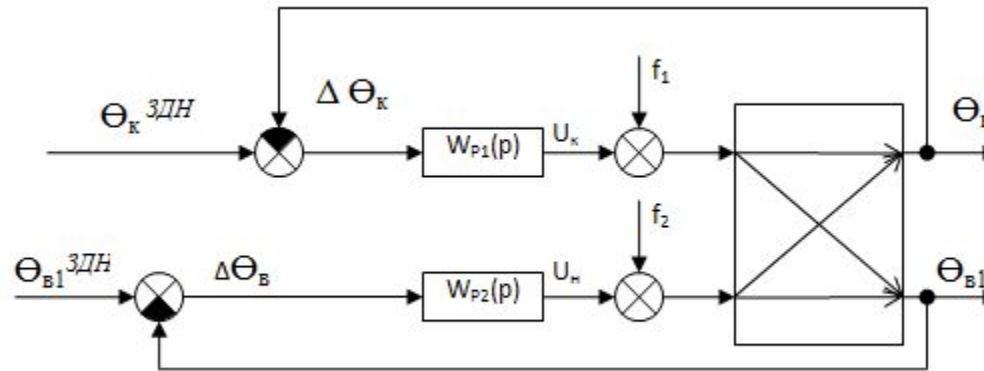


Рис. 5 – Структурна схема САР процесу підготовки охолодженої води базової структури

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

Структурна схема моделювання САР в середовищі імітаційного моделювання Simulink

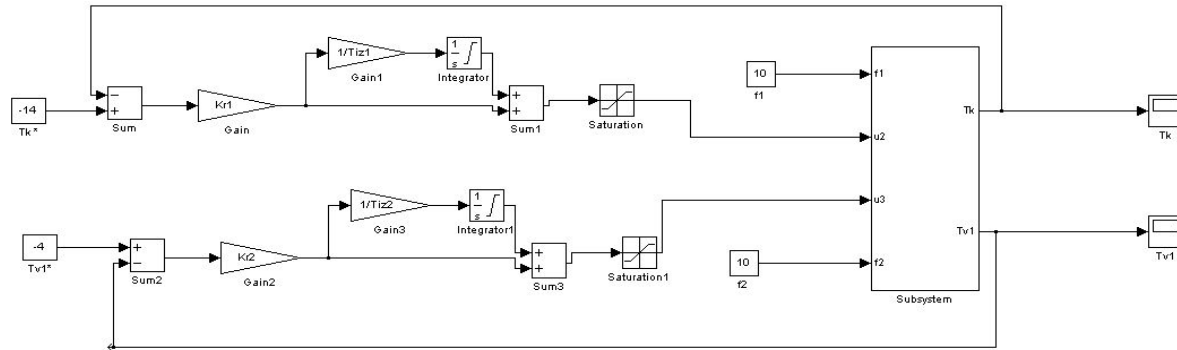


Рис. 6 – Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором.

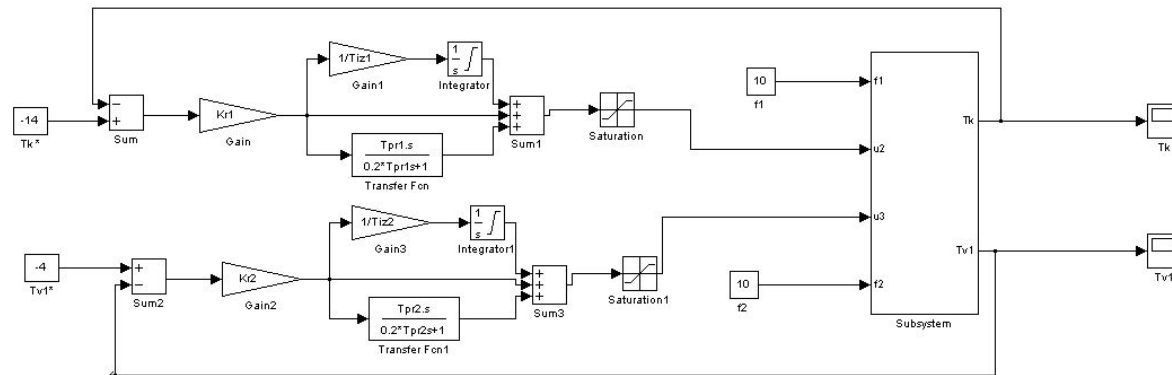


Рис. 7 – Структурна схема моделювання САР с ПІД-регулятором.

# 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:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{0,8 \cdot 10,68}{-0,1 \cdot 14,73} = -5,8 \frac{\%x.p.o.}{^\circ C}$$

$$T_{ИЗ} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 14,7 = 36,8c$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 10,7}{-0,1 \cdot 14,7} = -7,25 \frac{\%x.p.o.}{^\circ C}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 14,7 = 29,5c$$

$$T_{ПР} = \tau_0 = 14,7c$$

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:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{0,8 \cdot 23,1}{-0,1 \cdot 29,3} = -6,3 \frac{\%x.p.o.}{^\circ C}$$

$$T_{ИЗ} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 29,3 = 73,1c$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора:

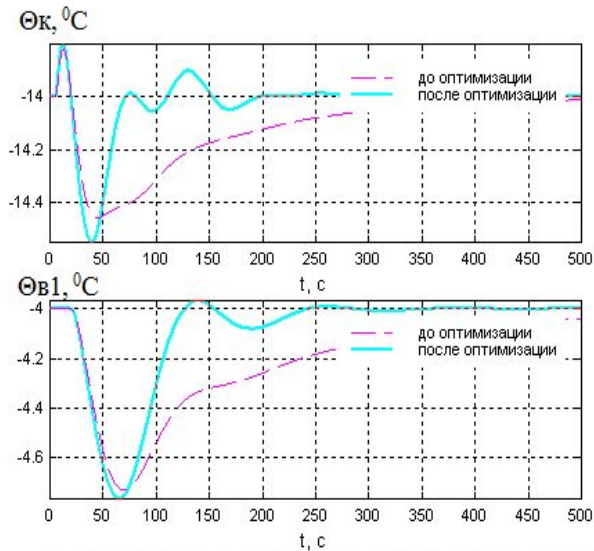
$$K_p = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 23,1}{-0,1 \cdot 29,3} = -7,9 \frac{\%x.p.o.}{^\circ C}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 29,3 = 58,5c$$

$$T_{ПР} = \tau_0 = 29,3c$$

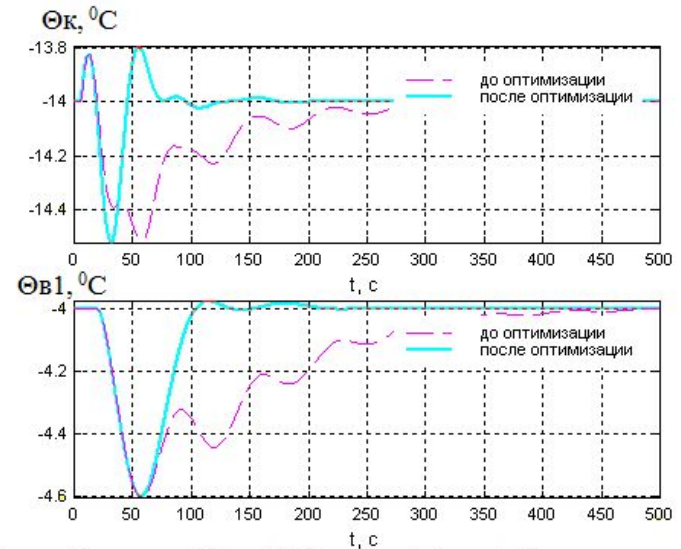
# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

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: до - 174.6452 после - 71.854
Kr1	-9.055	-20	-5.8	5	
Tiz1	11.166	0.5	36.83	500	Количество шагов процедуры оптимизации: максимальное - 1000 фактическое - 290
Kr2	-8.597	-20	-6.3	20	
Tiz2	37.002	0.5	73.1	500	

Рис.8 – Результат оптимізації налаштувань ПІ – регулятора



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

Рис. 9 – Результат оптимізації налаштувань ПІД – регулятора



# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

## Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах

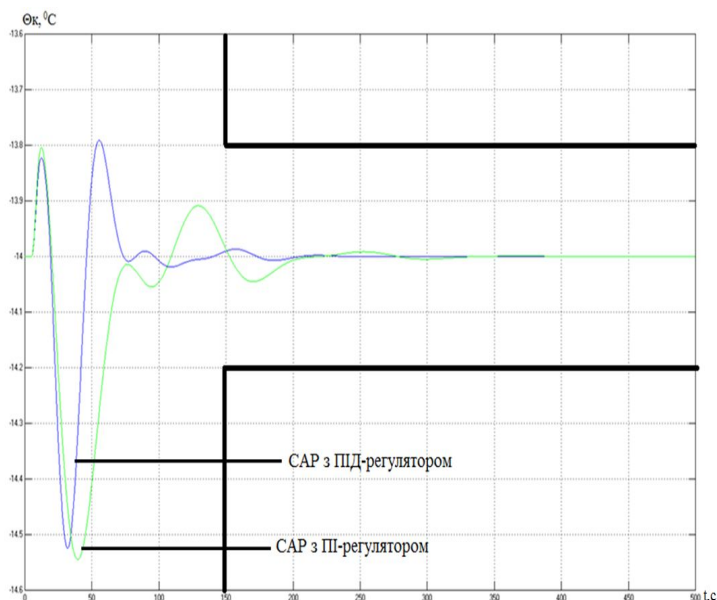


Рис. 10 – Результати порівняння варіантів САР для каналу температури холодоагенту

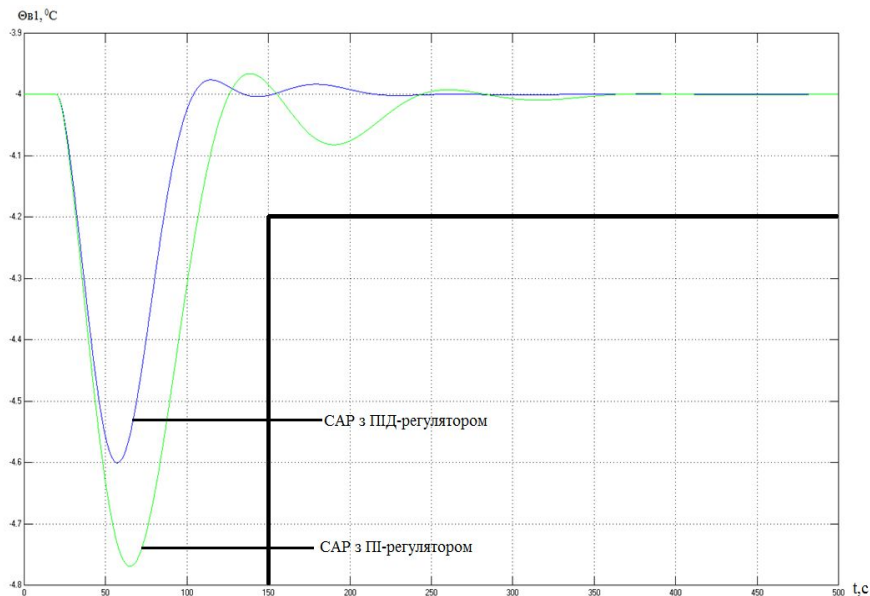


Рис. 11– Результати порівняння варіантів САР для каналу температури виноматеріалу

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

## Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОУ

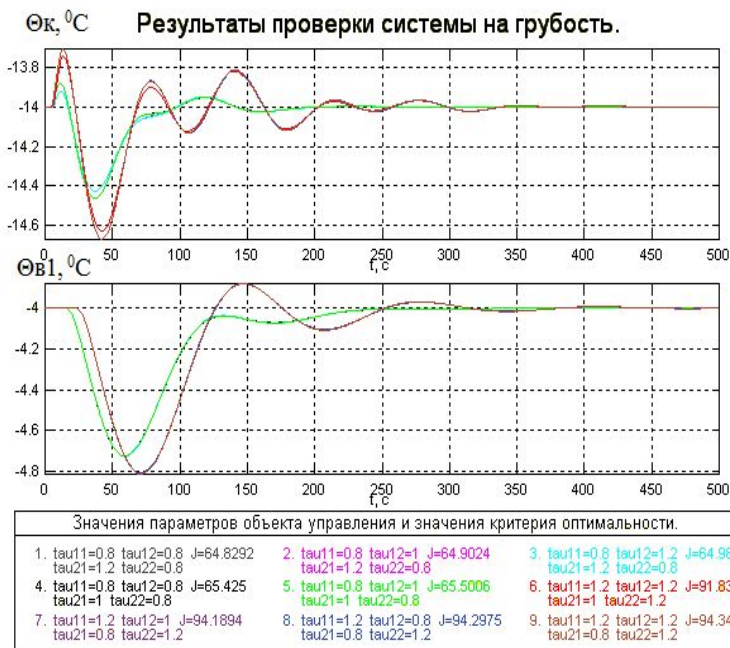


Рис. 12 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень.

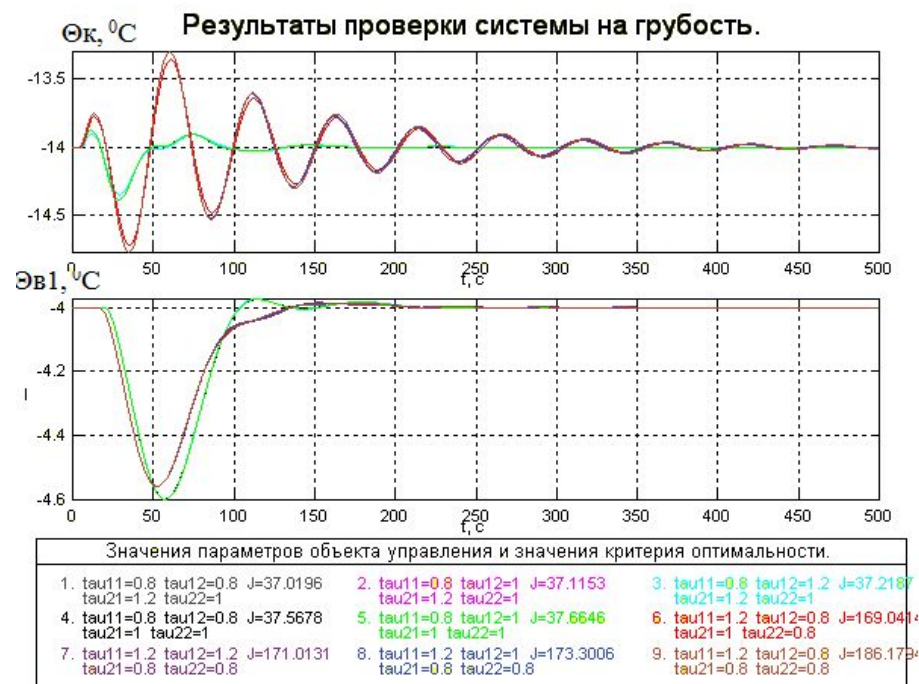


Рис. 13 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень.

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

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

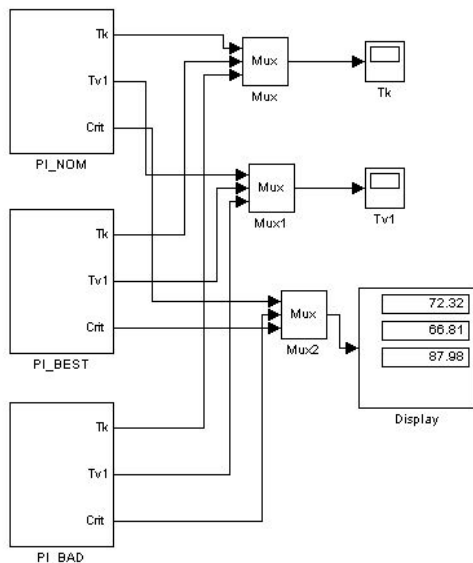


Рис. 14- Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів для управління параметрів ОУ.

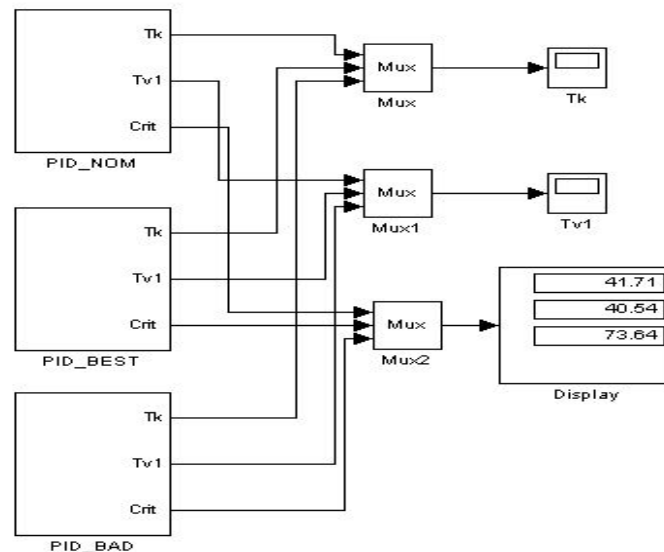
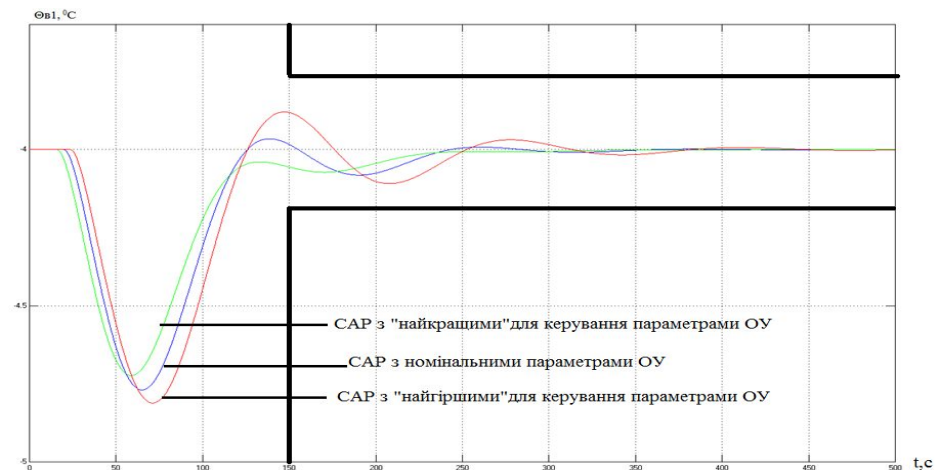
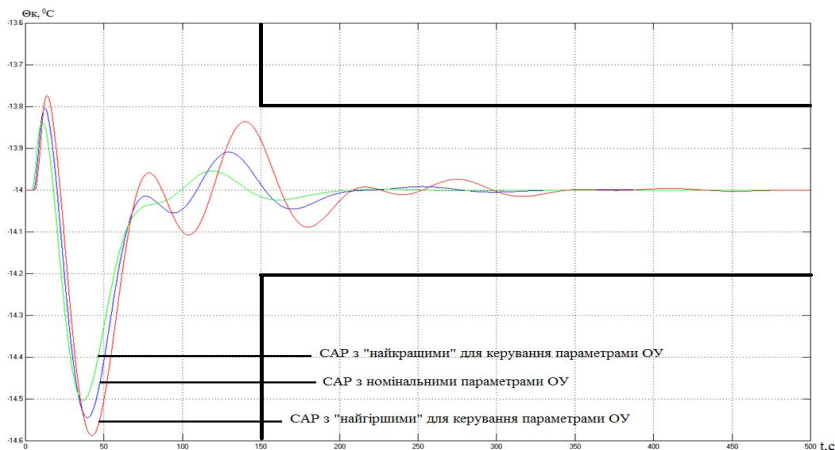


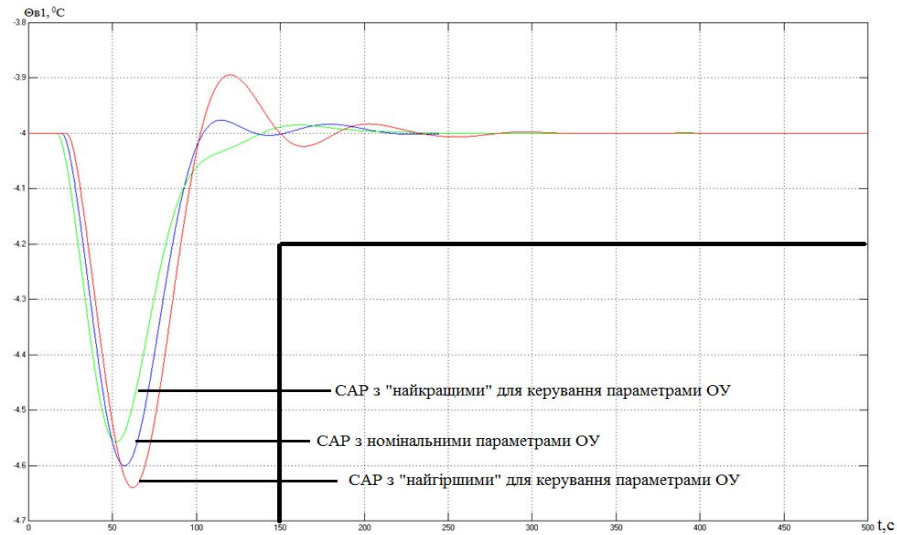
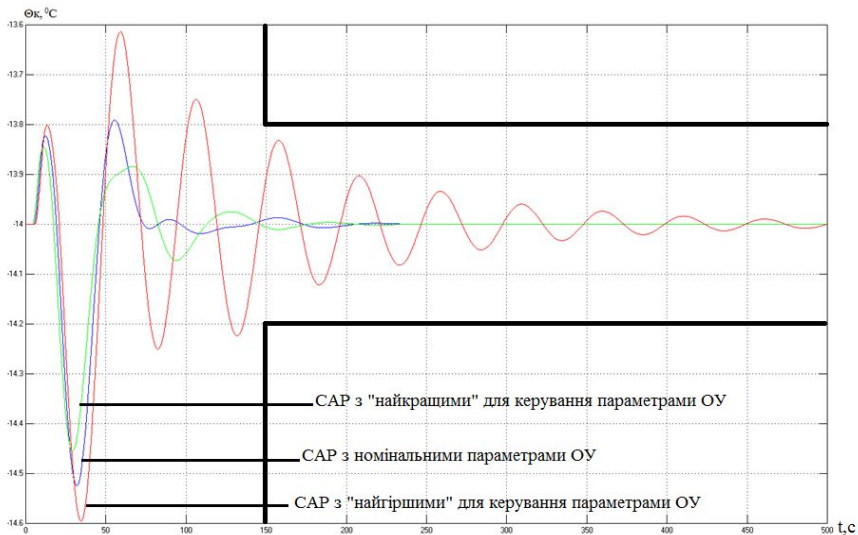
Рис. 15- Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів для управління параметрів ОУ.

# 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

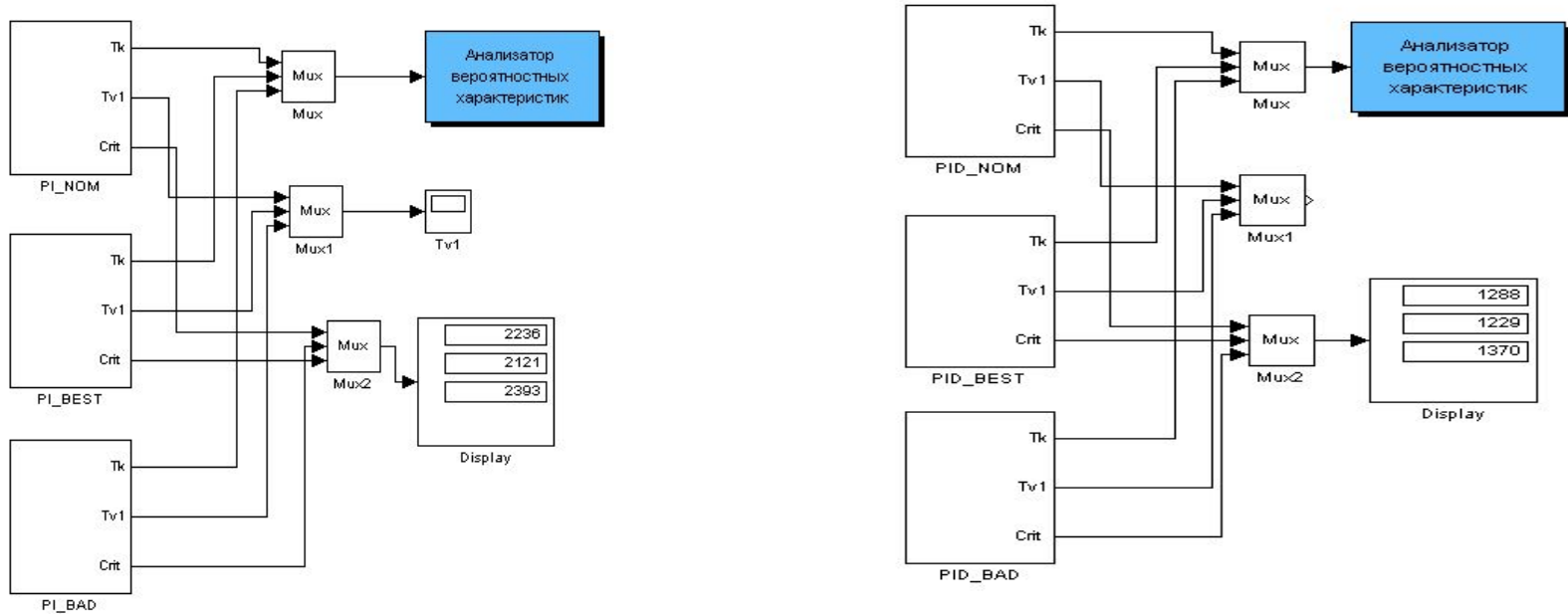
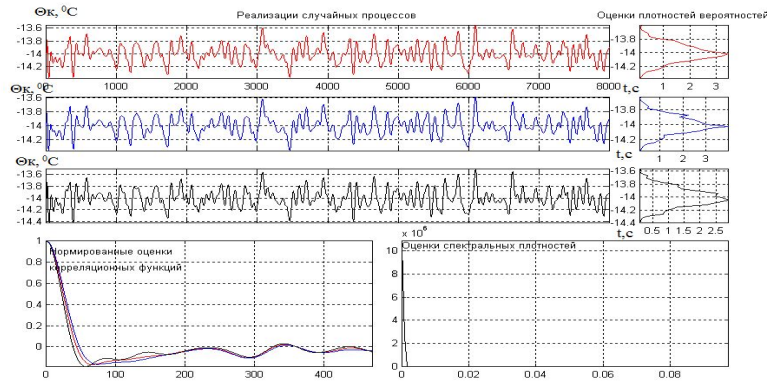


Рис.20-Структурна схема моделювання САР з ПІ та ПІД-регулятором для оцінки грубості в сталих режимах.

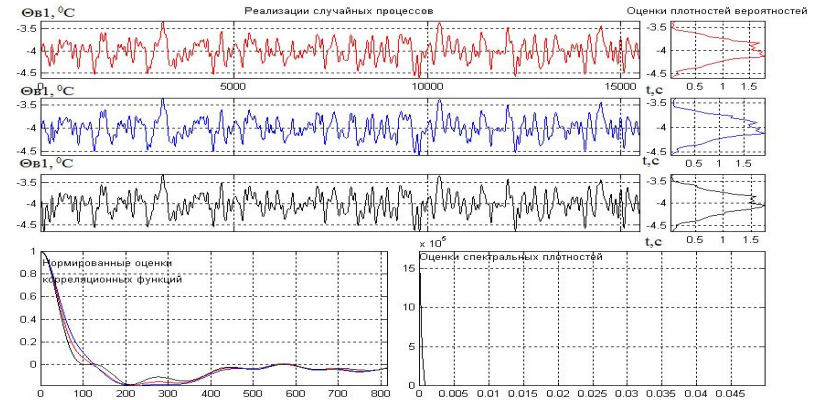
# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАЙПРОСТІШОЇ СТРУКТУРИ

## Оцінка отримання статистично стійких результатів

### Результати моделювання САР с ПІ-регулятором

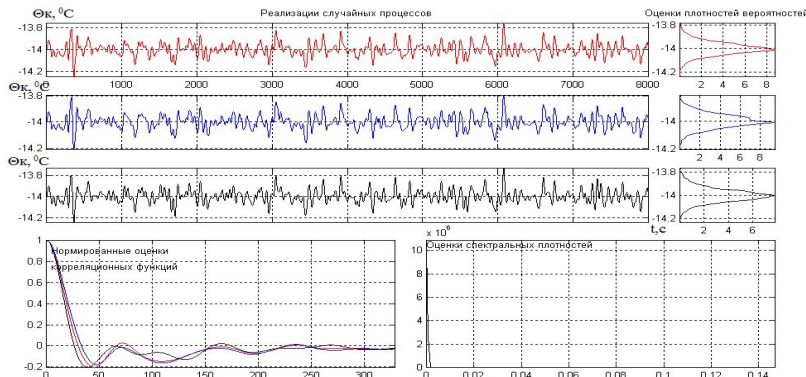


Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.14	0.13	0.15
Оценка среднеквадратического периода / частоты	148.2 / 0.042	156.9 / 0.04	129.0 / 0.049

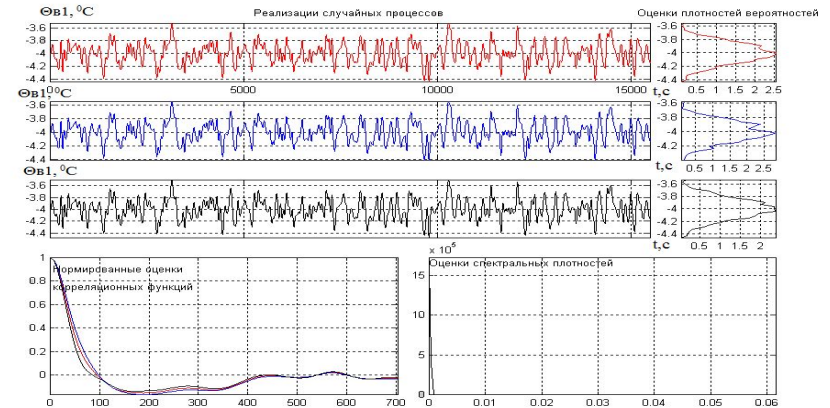


Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.22	0.21	0.24
Оценка среднеквадратического периода / частоты	258.3 / 0.024	271.9 / 0.023	252.0 / 0.025

### Результаты 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

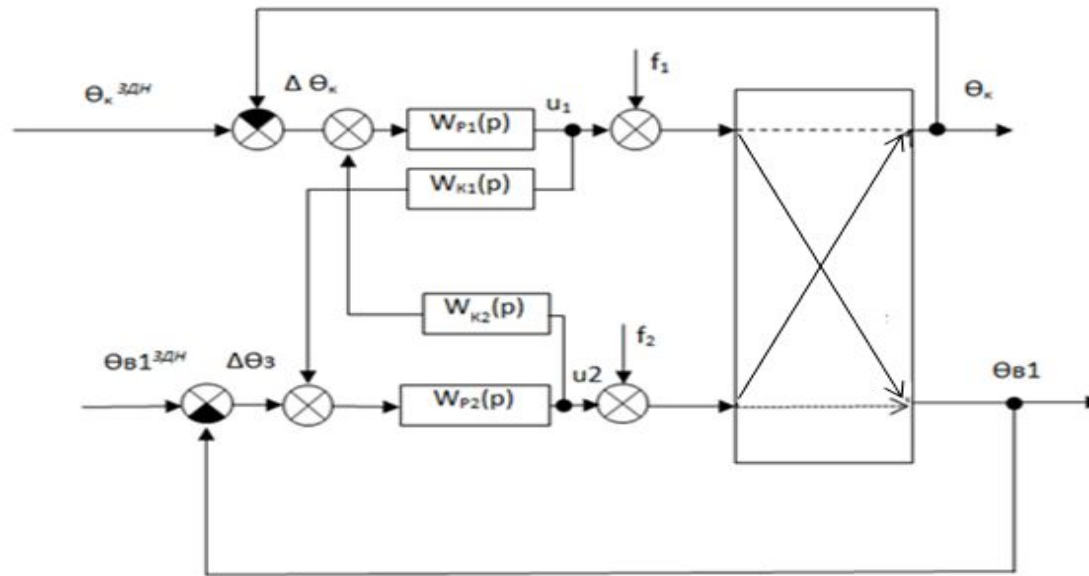


Рис. 23 - Структурна схема двомірної автономної САР, з міжрегуляторним корегуючим зв'язком

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

## Виведення передаточних функцій корегуючих зв'язків

$$W_{K_1^{\square}}(p) = -\frac{W_{\text{ук-Тв1}}^o(p)}{W_2^P(p) \cdot W_{\text{у2-Тв1}}^o(p)}$$

$$W_{\text{ук-Тв1}}^o(p) = \frac{-0,03 \cdot e^{-43p}}{18,8p+1}$$

$$W_{\text{у2-Тв1}}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-29,3p}}{23,1p+1}$$

$$W_2^P(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{из}P}} + T_{\text{нр}}\right) = -12,2 \cdot \left(1 + \frac{1}{30,5p} + 10,6p\right)$$

$$W_{K_1^{\square}}(p) = -\frac{W_{\text{ук-Тв1}}^o(p)}{W_2^P(p) \cdot W_{\text{у2-Тв1}}^o(p)} =$$

$$= -\frac{\frac{-0,03 \cdot e^{-43p}}{18,8p+1}}{-12,2 \cdot \left(1 + \frac{1}{30,5p} + 10,6p\right) \cdot \frac{-0,1 \cdot e^{-29,3p}}{23,1p+1}} =$$

$$= -\frac{-0,03 \cdot e^{-43p+29,3p}}{-12,2 \cdot (-0,1)} \cdot \frac{30,5p \cdot (23,1p+1)}{(18,8p+1)(30,5 \cdot 10,6p^2 + 30,5p+1)} =$$

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

$$W_{K_2^{\square}}(p) = -\frac{W_{\text{ук-Тк}}^o(p)}{W_1^P(p) \cdot W_{\text{ук-Тк}}^o(p)}$$

$$W_{\text{ук-Тк}}^o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-7,9p}}{6,3p+1}$$

$$W_{\text{ук-Тк}}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-14,7p}}{10,7p+1}$$

$$W_1^P(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{из}P}} + T_{\text{нр}}\right) = -15,4 \cdot \left(1 + \frac{1}{6,3p} + 8p\right)$$

$$W_{K_2^{\square}}(p) = -\frac{W_{\text{ук-Тк}}^o(p)}{W_1^P(p) \cdot W_{\text{ук-Тк}}^o(p)} =$$

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

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

$$= -0,03 \frac{68p^2 + 6,3p}{317,5p^3 + 90p^2 + 12,6p + 1} \cdot e^{6,8p}$$



# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

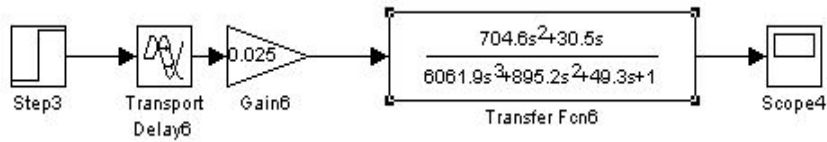


Рис. 24 - Структурна схема моделювання передатньої функції корегуючого зв'язку  $W_{k1}(p)$

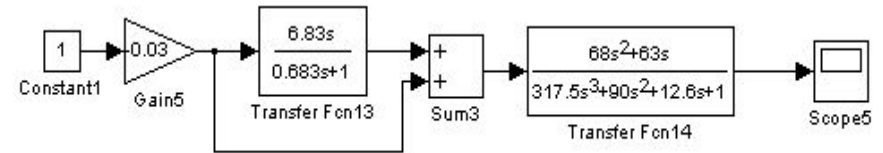


Рис. 25 - Структурна схема моделювання передатньої функції корегуючого зв'язку  $W_{k2}(p)$

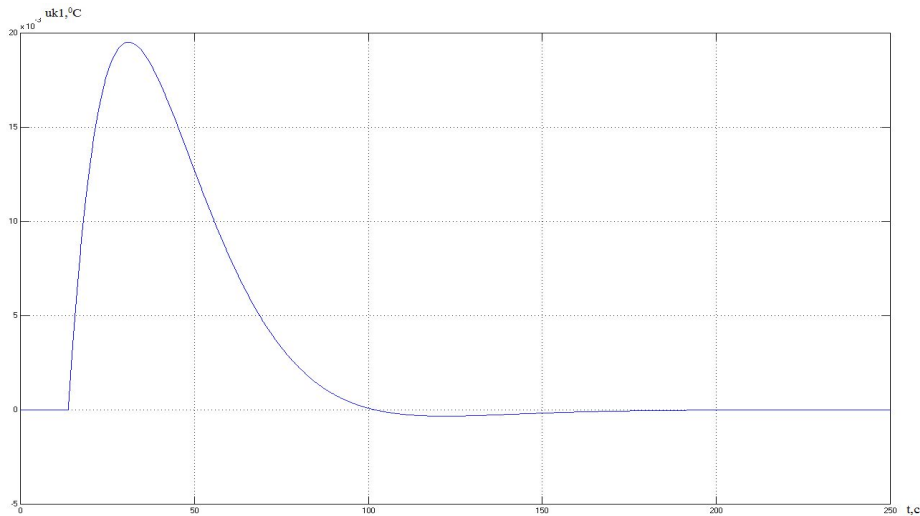


Рис.26- Перехідна характеристика корегуючого зв'язку  $W_{k1}(p)$

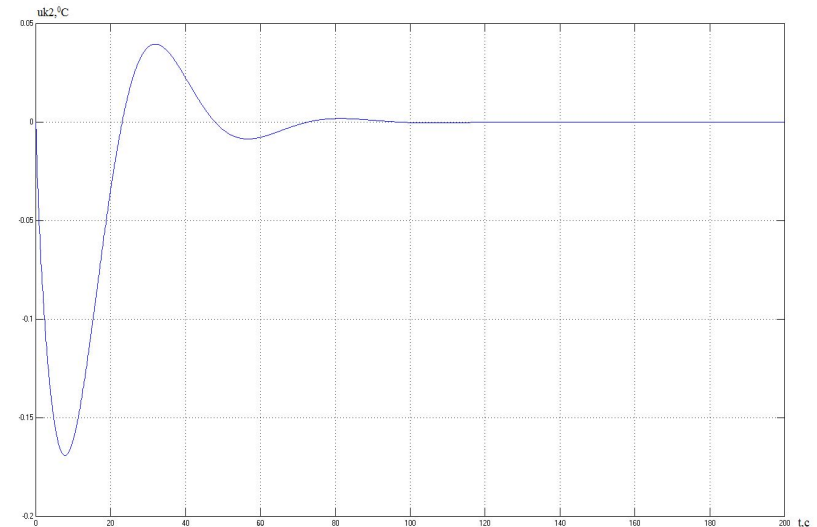


Рис. 27- Перехідна характеристика корегуючого зв'язку  $W_{k2}(p)$

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації

$$\begin{aligned} W_{K_1}(p) &= 0,025 \frac{704,6p^2 + 30,5p}{6061,9p^2 + 895,2p^2 + 49,3p + 1} \cdot e^{-13,8p} \\ &= 0,025 \frac{30,5p}{895,2p^2 + 49,25p + 1} \cdot e^{-13,75p} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{K_2}(p) &= -0,03 * \left( 1 + \frac{6,8p}{0,68p + 1} \right) * \frac{68p^2 + 6,3p}{317,5p^3 + 90p^2 + 12,6p + 1} = \\ &= -0,03 * \left( 1 + \frac{6,8p}{0,68p + 1} \right) * \frac{6,3p}{90p^2 + 12,6p + 1} \end{aligned}$$

# 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

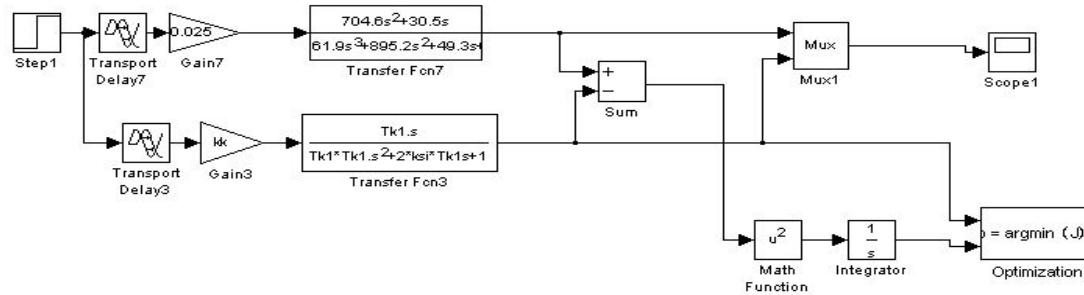
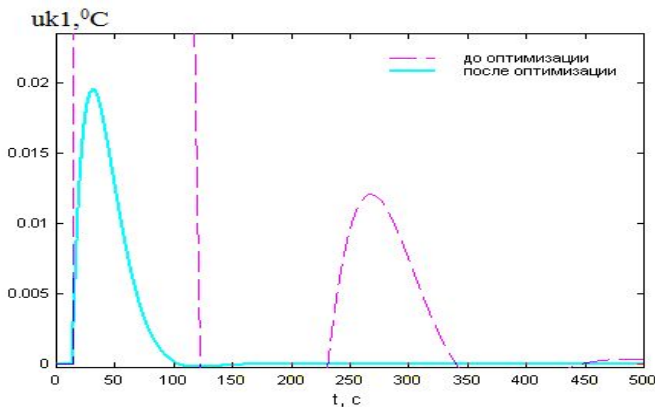


Рис. 28– Схема моделювання для уточнення початкових приближень параметрів корегуючого зв'язку  $W_{K_1}(p)$



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

Рис.29– Результати розрахунку початкових приближень параметрів корегуючого зв'язку  $W_{K_1}(p)$

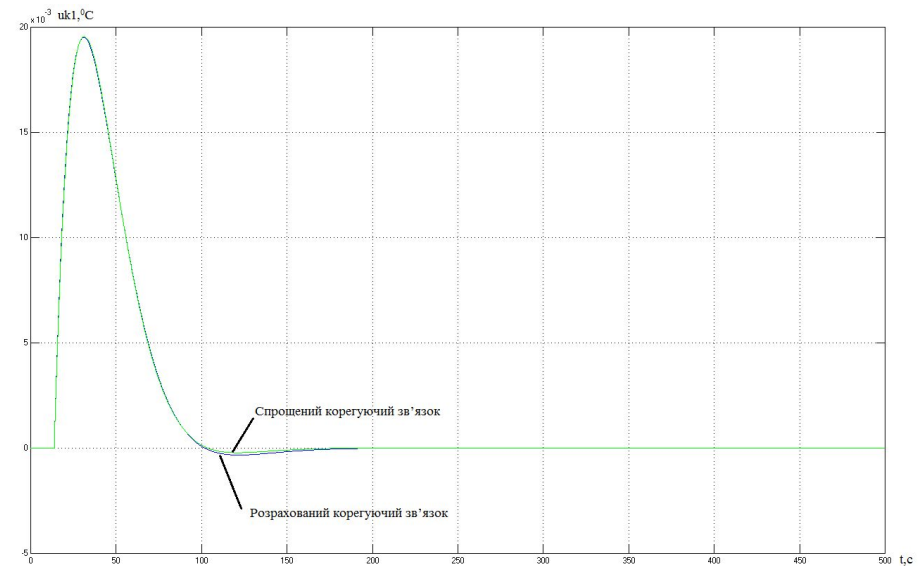


Рис. 30– Перехідна характеристика розрахованого та спрощеного корегуючого зв'язку  $W_{K_1}(p)$

# 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

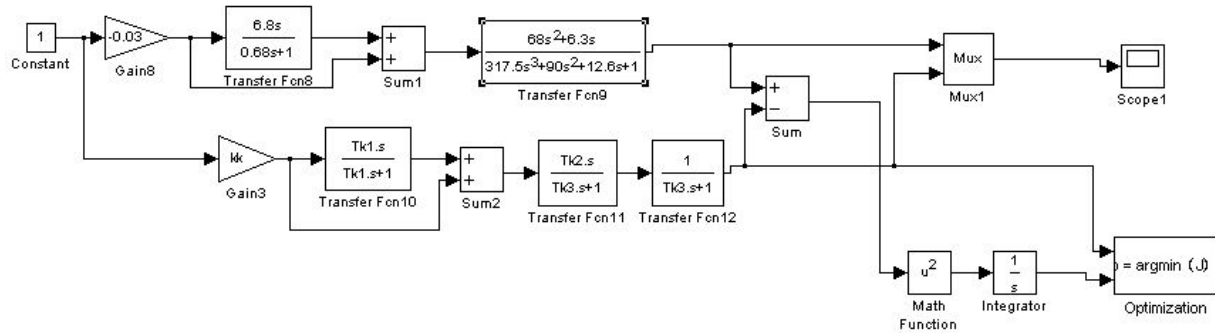
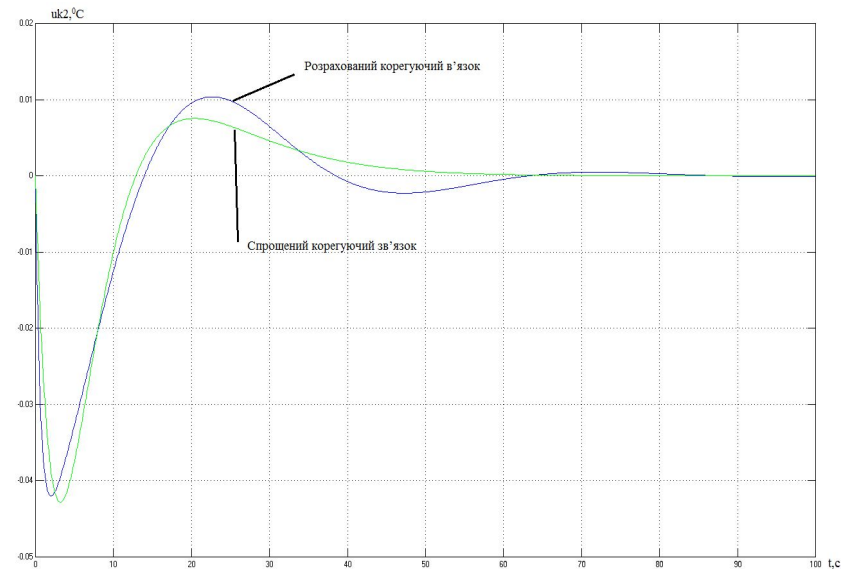
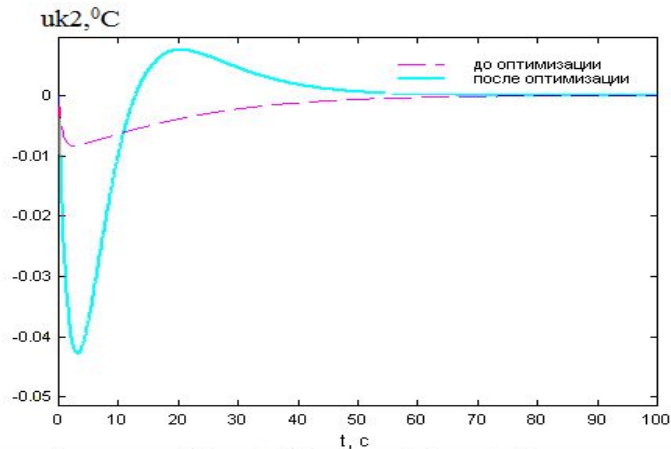


Рис. 31– Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів корегуючого зв'язку  $W_{K_2}(p)$



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности: до - 0.0080776 после - 0.00049856
kk	-0.03647	-1.0	-0.03	1.0	
Tk1	30.6706	0.1	6.83	200	Количество шагов процедуры оптимизации: максимальное - 1000 фактическое - 273
Tk2	4.2139	0.1	6.3	200	
Tk3	7.0321	0.1	12.6	200	

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

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

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САК ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

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

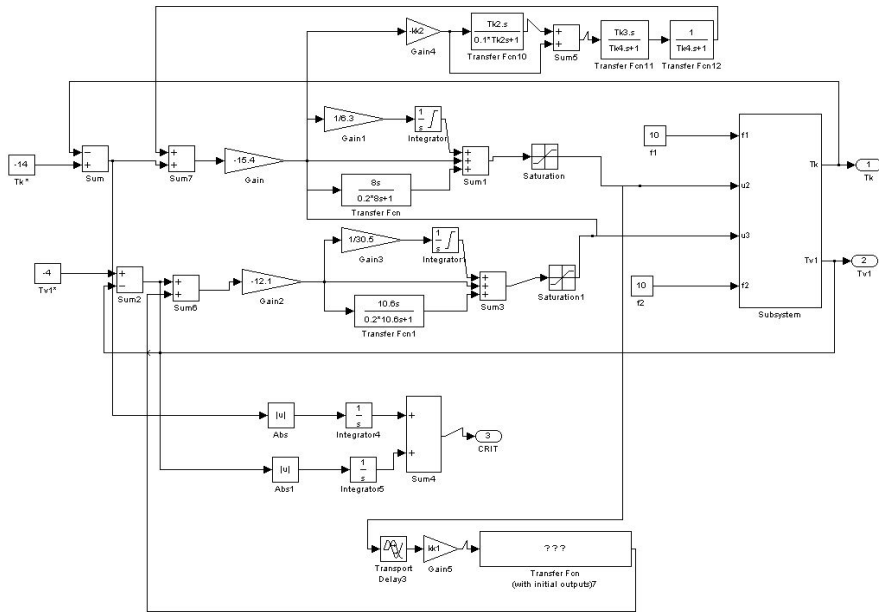
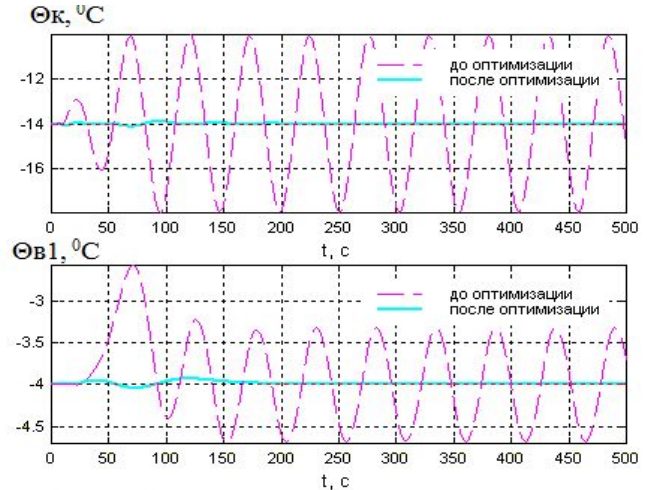


Рис.34 – Схема моделювання САК підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу корегуючого зв'язку



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
kk1	0.010053	-10	0.046	100	до - 1347.2058
Tk1	10.9814	0.1	16.4	100	после - 12.4653
ksi	1.7254	0.1	0.82	100	Количество шагов
kk2	-0.01218	-10	-0.036	100	процедуры оптимизации:
Tk2	40.8838	0.5	30.6	100	максимальное - 10000
Tk3	7.1139	0.5	4.21	100	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

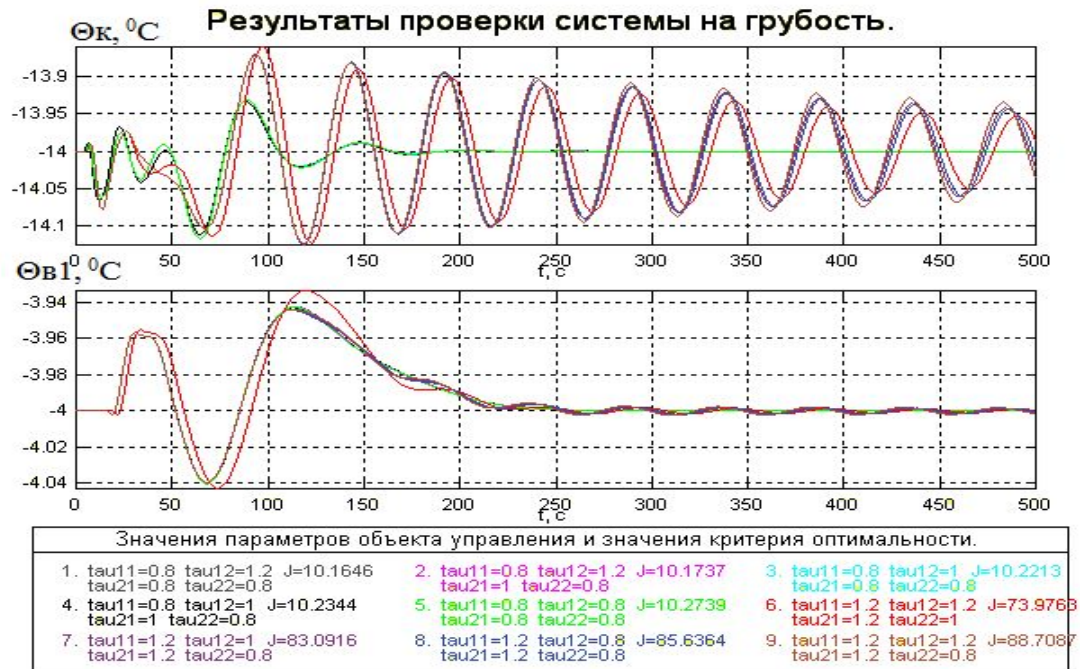


Рис. 36– Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіацій параметрів ОУ

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

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

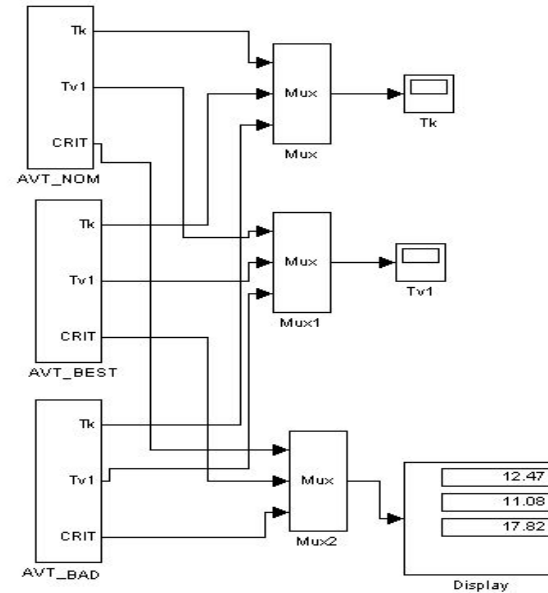


Рис. 37 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" і "несприятливими" для управління параметрами ОУ

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

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

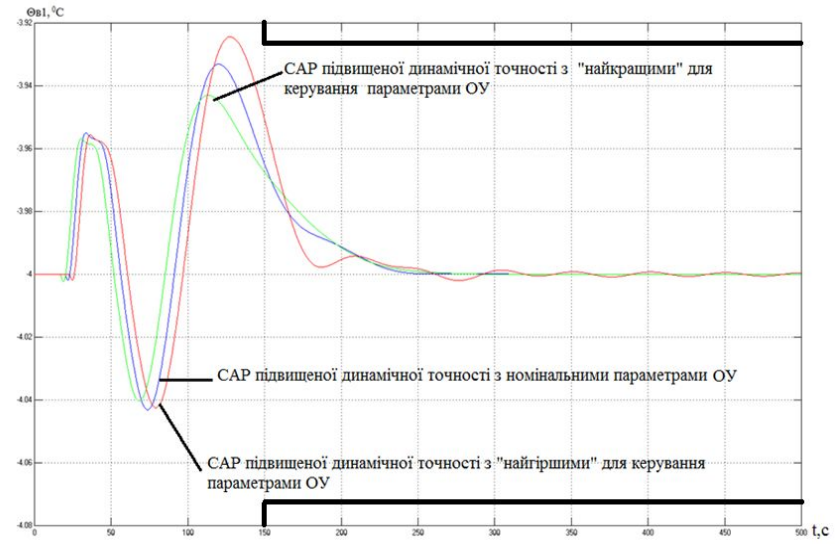
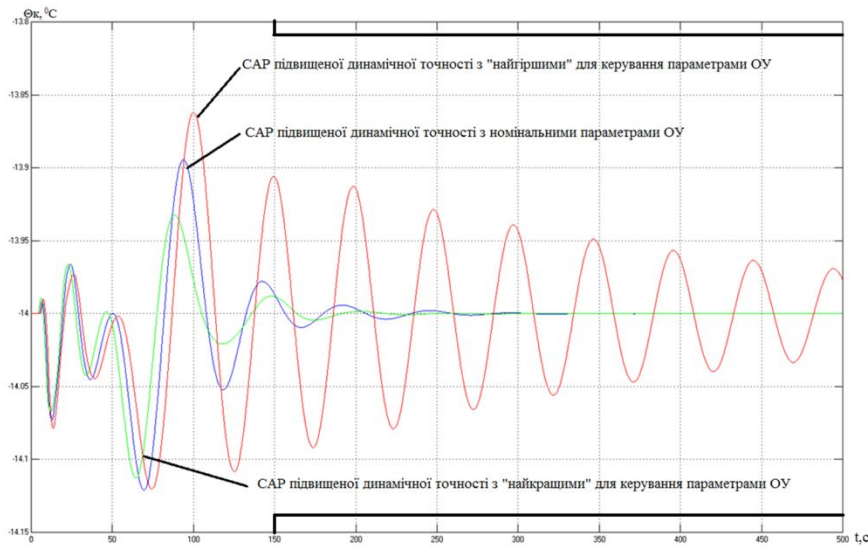


Рис. 38– Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності



# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Аналіз сталих процесів в САР підвищеної динамічної точності при  
СТОХАСТИЧНИХ ВХІДНИХ ДІЯХ

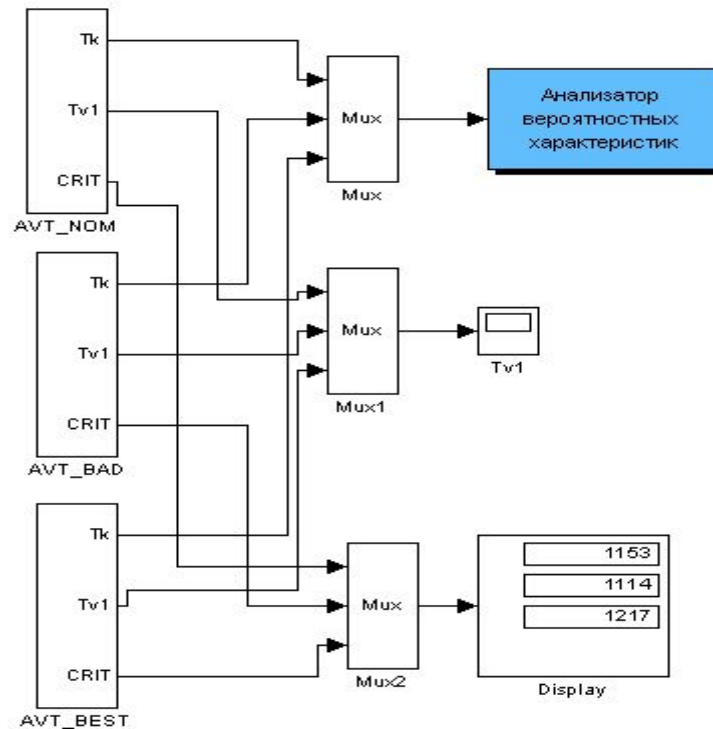


Рис. 39 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки на грубість в сталих режимах

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

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

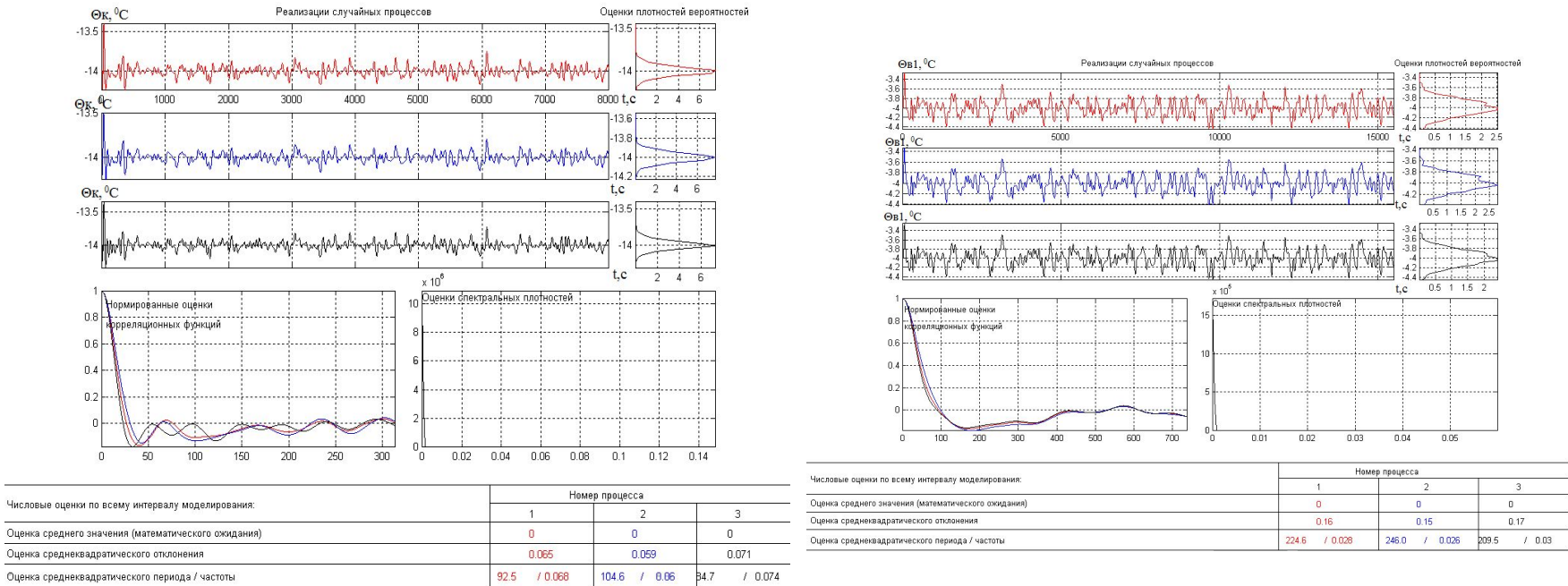


Рис. 40 - Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Порівняльний аналіз САР найпростішої структури й підвищеної динамічної точності (с корегуючими зв'язками)

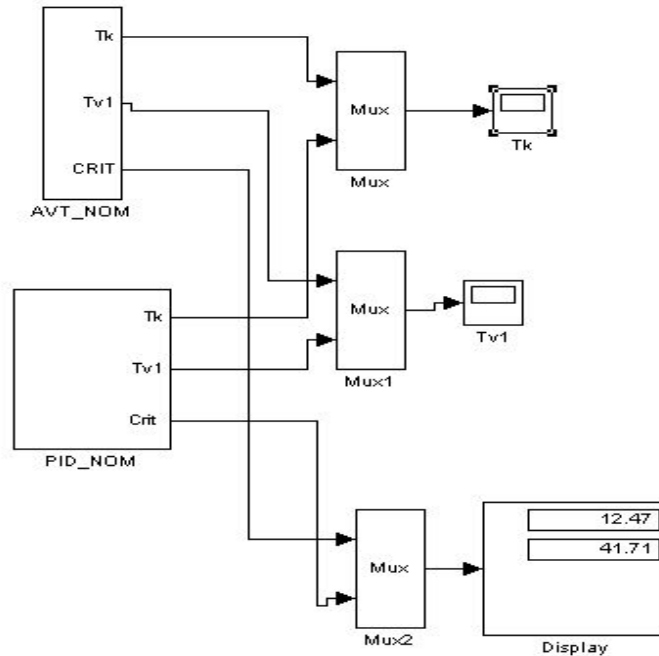


Рис. 41 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

Порівняльний аналіз САР найпростішої структури й підвищеної динамічної точності (с корегуючими зв'язками)

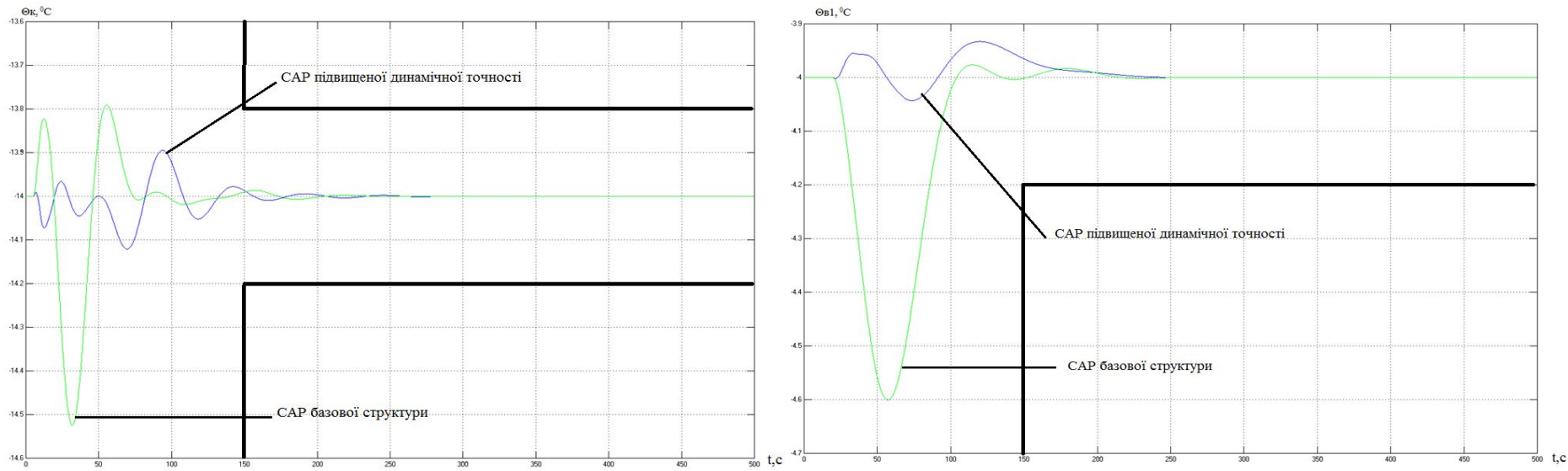


Рис. 42 – Перехідні процеси САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

# 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.

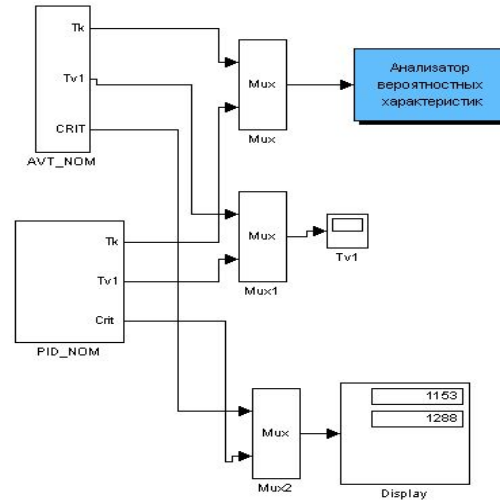
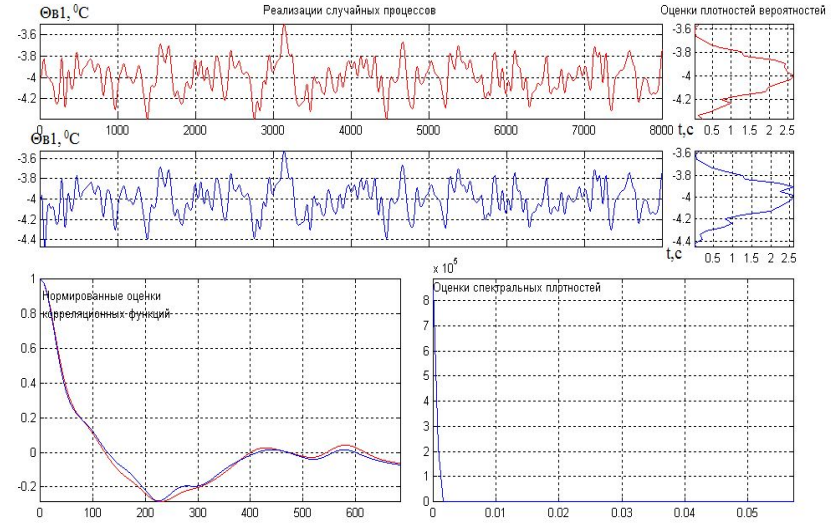
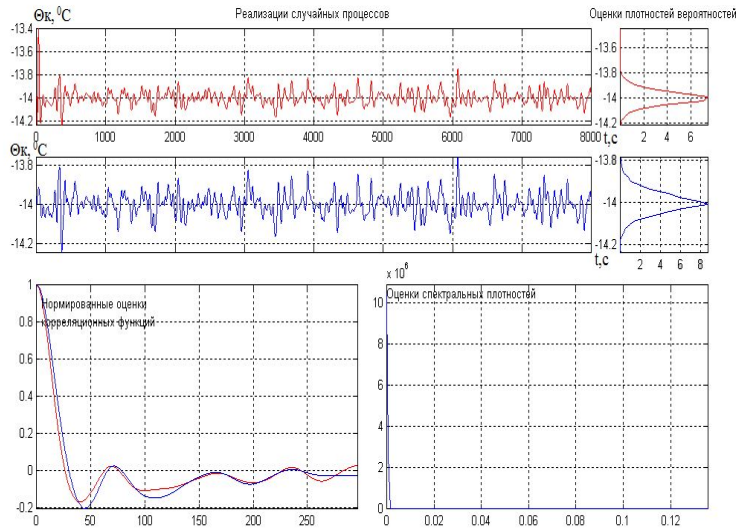


Рис. 43 – Структурна схема моделювання для порівняння САР з ПІД- регулятором та підвищеної динамічної точності САР в сталих режимах

# СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

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



Числовые оценки по всему интервалу моделирования.	Номер процесса		Числовые оценки по всему интервалу моделирования.	Номер процесса	
	1	2		1	2
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.065	0.057	Оценка среднеквадратического отклонения	0.15	0.15
Оценка среднеквадратического периода / частоты	92.5 / 0.068	98.8 / 0.064	Оценка среднеквадратического периода / частоты	219.2 / 0.029	228.6 / 0.027

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