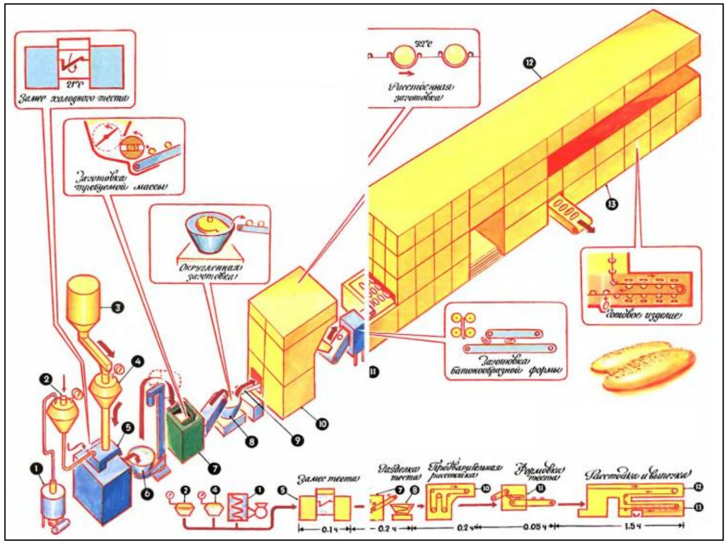
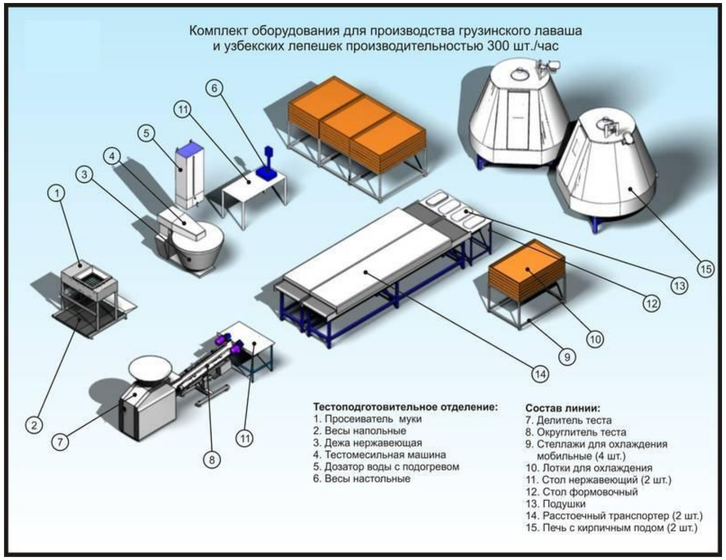
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики

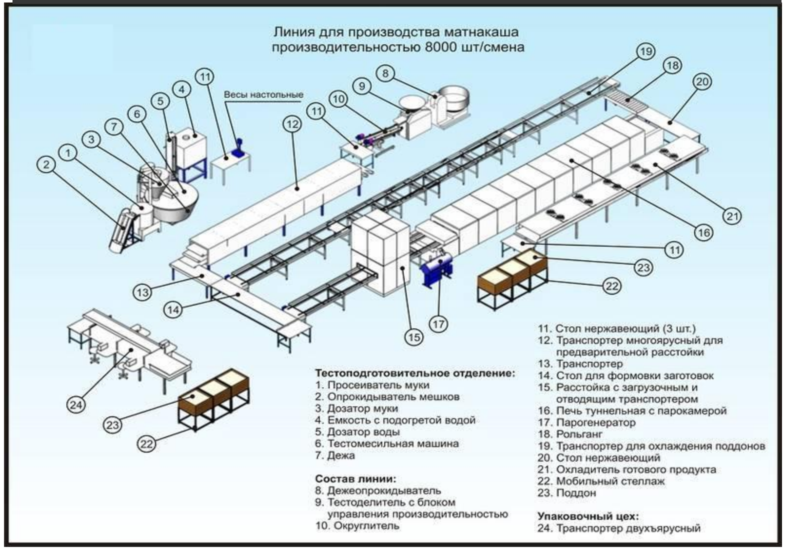
АЛГЕБРАЇЧНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНИХ САУ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Доповідач:
студент групи 3КСУА-15м
Дуда Ж. Ж.
Науковий керівник:
д.т.н., проф. каф. КСУ
Боровська Таїса Миколаївна

СХЕМИ ВИРОБНИЦТВ – ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ

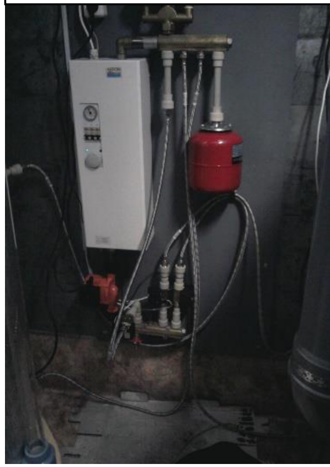


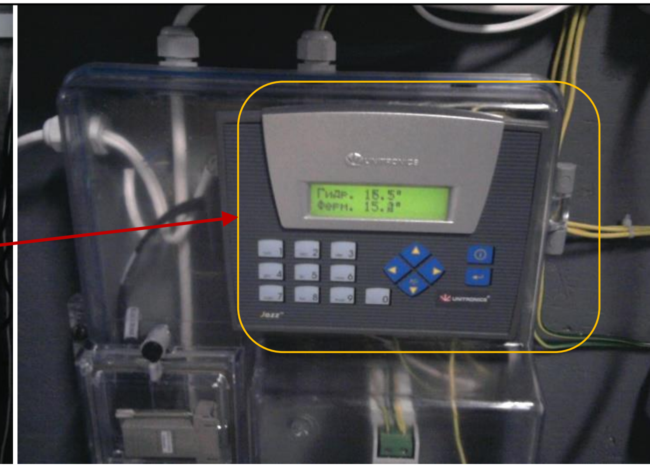




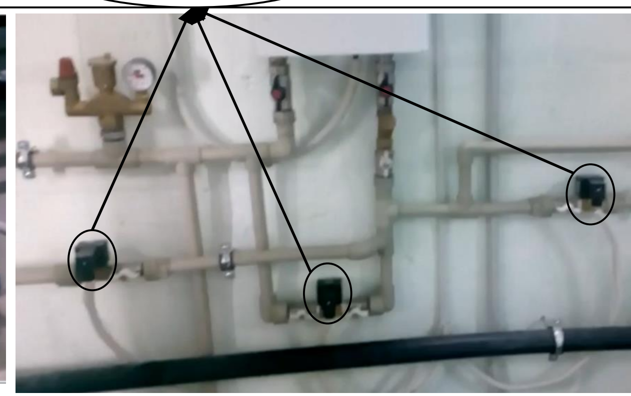
СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БІОРЕАКТОРОМ. ПРИКЛАД

Автоматика: запуск, контроль, регулювання, **Інтерфейс мікроконтролерної системи**





Виконавчі елементи: насоси субстрату; електроклапани терморегулювання; лічильник газу


Вимірювачі: температура, рівень, тиск, вологість, кислотність.. склад і стан процесів бродіння

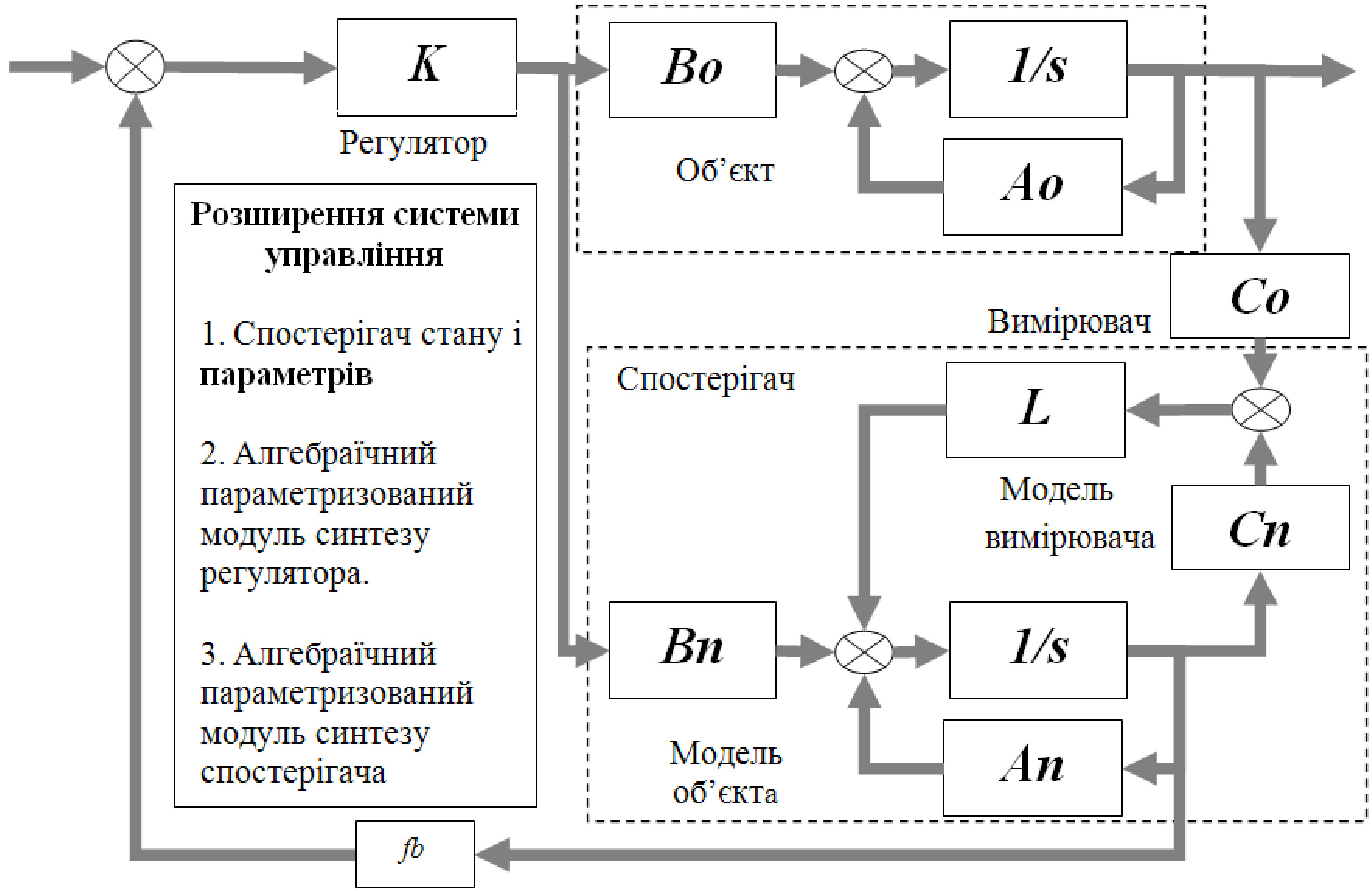
МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження - розробка алгебраїзованого методу розрахунку САУ з спостерігачем стану – визначення параметрів регулятора і спостерігача.

Задачі дослідження:

- Вдосконалення алгебраїзованого методу синтезу системи «регулятор - спостерігач» для управління технологічними процесами, що на відміну від аналогів не потребує обчислення коренів характеристичних рівнянь у символьному виді, а отримувати рішення як функції декількох вибраних параметрів – параметрів об’єкта управління і системи управління.
- Вдосконалення алгебраїзованого методу синтезу об’єкта з регулятором стану і спостерігачем **за рахунок розширення** його на нелінійні об’єкти управління з довільними монотонними характеристиками «вхід, вихід», що для певних класів об’єктів можуть бути подані параметризованою залежністю. Це дозволяє в підсумку синтезувати управління нелінійним об’єктом і побудувати безпошукову аналітичну адаптивну САУ з спостерігачем вектору стану і параметрів.
- Створення на базі теоретичних результатів алгоритми і програми синтезу параметрів регулятора і спостерігача.
- Розробка комплексного інтерфейсу для введення даних і проведення аналізу результатів моделювання.
- Отримання результатів моделювання, що підтверджують достовірність розробки.

СТРУКТУРНА СХЕМА САУ З СПОСТЕРІГАЧЕМ СТАНУ



6

Синтез імпульсної САУ зі спостерігачем

Задано N-вимірну систему з регулятором вектора стану. Записуємо канонічні рівняння САУ зі спостерігачем вектору стану і скалярним управлінням.

Об'єкт: Вимірювачі: Спостерігач + модель вимірювачів: Регулятор:

$$\frac{d}{dt}xo = A\cdot xo + B\cdot u;\ yo = C\cdot xo;\ \frac{d}{dt}xn = A\cdot xn + B\cdot u + L\cdot(yn - yo);\ yn = C\cdot xn;\quad u = K\cdot xn.$$

Підставляємо управління в рівняння об'єкта. Записуємо еквівалентне різницеве рівняння:

$$\frac{d}{dt}xo = A\cdot xo + B\cdot u;\ u = k^T\cdot xo;\ \frac{d}{dt}x = \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot x;\ x^{\langle k+1\rangle} = Fp\cdot x^{\langle k\rangle},$$ де

$$Fp = I + M\cdot\frac{dT}{1!} + M^2\cdot\frac{dT^2}{2!} + M^3\cdot\frac{dT^3}{3!} + ..,$$ де $M = A + B\cdot k^T$.

Для задачі синтезу беремо перше наближення перехідної функції стану F: $Fp = I + \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot dT$.

Підставляємо F в еквівалентне різницеве рівняння, виконуємо Z-перетворення:

$$x^{\langle k+1\rangle} = \left[I + \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot dT\right]\cdot x^{\langle k\rangle};\ \Rightarrow\ z\cdot X(z) = \left[I + \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot dT\right]\cdot X(z).$$

Виконуємо алгебраїчні перетворення і записуємо характеристичне рівняння:

$$\left[I\cdot z - \left[I + \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot dT\right]\right]\cdot X(z) = 0\ \Rightarrow\ \boxed{\left|I\cdot z - \left[I + \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot dT\right]\right| = 0}.$$

Аналогічно отримуємо Z-характеристичне рівняння для спостерігача (u, xo – зовнішні входи):

$$\frac{d}{dt}xn = A\cdot xn + B\cdot u + L\cdot C\cdot(xn - xo)\ \Rightarrow\ \frac{d}{dt}xn = A\cdot xn + L\cdot C\cdot xn\ \Rightarrow\ \frac{d}{dt}xn = (A + L\cdot C)\cdot xn.$$

Записуємо еквівалентне різницеве рівняння: $xn^{\langle k+1\rangle} = Fn\cdot xn^{\langle k\rangle}$, де $Fn = I + M\cdot\frac{dT}{1!} + M^2\cdot\frac{dT^2}{2!} + M^3\cdot\frac{dT^3}{3!} + ..,$

де $M = (A + L\cdot C)$. В першому наближенні: $Fn = I + (A + L\cdot C)\cdot dT$. Виконуємо Z-перетворення:

$$xn^{\langle k+1\rangle} = [I + (A + L\cdot C)\cdot dT]\cdot xn^{\langle k\rangle}\ \Rightarrow\ z\cdot Xn(z) = [I + (A + L\cdot C)\cdot dT]\cdot Xn(z).$$

$$[I\cdot z - [I + (A + L\cdot C)\cdot dT]]\cdot Xn(z) = 0\ \Rightarrow\ \boxed{|I\cdot z - [I + (A + L\cdot C)\cdot dT]| = 0}.$$

НОВИЗНА РОБОТИ

Вибираємо метод синтезу "неявні вирази для коефіцієнтів характеристичного рівняння", при якому **не треба розкривати детермінант в символьному вигляді.**

Визначимо такі функції користувача: $I := \text{identity}(3)$ - одинична матриця, $\text{determinant}(k, T, z) := |I \cdot z - Mp(k, T)|$; $\text{polinom}(V2, V1, V0, z) := \left(z^3 + V2 \cdot z^2 + V1 \cdot z + V0\right)$

Задаємо **потрібні** значення коефіцієнтів V2, V1, V0 характеристичного рівняння. Наприклад, вибрано "швидкий" регулятор, де перехідний процес закінчується за N кроків (в даному випадку N=3), якщо усі корені характеристичного рівняння $Zi = 0$; $i = 1..\ N$. Це означає, що всі коефіцієнти характеристичного рівняння, крім першого, повинні бути нульовими $Vi = 0$; $i = 0..\ N\text{-}1$. Замість розв'язання складної системи нелінійних алгебраїчних рівнянь формуємо функцію користувача з параметрами.

Задаємо: потрібні значення коефіцієнтів V: $V0 := 0$; $V1 := 0$; $V2 := 0$, початкові значення параметрів $K_1 := 2$; $K_2 := 2$; $K_3 := -99$, довільні значення $z1 := 1$; $z2 := 0$; $z3 := -4$.

Записуємо систему рівнянь для коефіцієнтів і рішаємо її вбудованими числовим методом:

Given (= дано)

$$\text{polinom}(V2, V1, V0, z1) = \text{determinant}(K, T, z1)$$
$$\text{polinom}(V2, V1, V0, z2) = \text{determinant}(K, T, z2)$$
$$\text{polinom}(V2, V1, V0, z3) = \text{determinant}(K, T, z3)$$

Ліва частина: - шукаємо параметри функцію кроку квантування, права частина – «знайти» (= що знайти:) $Ksi(T) := Find(K)$

Виводимо результат синтезу: коефіцієнти регулятора стану

$$\begin{pmatrix} ks1 \\ ks2 \\ ks3 \end{pmatrix} := Ksi(T); \quad T = 0.8; \quad \begin{pmatrix} ks1 \\ ks2 \\ ks3 \end{pmatrix} =$$

	1
1	-0.95
2	-2.69
3	-1.75

; $Ksi(0.5) =$

	1
1	-7
2	-10
3	-4

.

Алгебраїзація задачі синтезу регулятора

Записуємо характеристичне рівняння замкненої системи:

перше наближення, і друге наближення

$$\left|I\cdot z - \left[I + \left(A + B\cdot k^T\right)\cdot T\right]\right| = 0 \qquad \left|I\cdot z - \left(F1(A,T) + G1(A,T)\cdot B\cdot k^T\right)\right| = 0 \qquad (5)$$

Компактна форма $\left|(I\cdot z - Mp)\right| = 0$, де $Mp(k,T) := F1(A,T) + G1(A,T)\cdot B\cdot k^T$

Задаються параметри еталонного процесу: $V1 := A1$; $V0 := A0$.

Записуємо систему нелінійних алгебраїчних рівнянь для коефіцієнтів регулятора і розв'язуємо її вбудованими числовими методами.

$\boxed{Given}$

$$polinom(V1, V0, z1) = determinant(K, T, z1)$$ **(ця форма –**

$$polinom(V1, V0, z2) = determinant(K, T, z2)$$ **новий результат)**

Розв’язання $\boxed{Ksi(T) := Find(K)}$:

Ми отримали розв’язання, точніше вирішення проблеми синтезу - ми сховали усі складнощі у функцію користувача. Це називається "алгебраїзація" задач моделювання і оптимізації динамічних систем".

$Ksi(0.3) =$

	1
1	-3.22
2	-0.17

$Ksi(1) =$

	1
1	-1.2
2	1.7

$Ksi(0.5) =$

	1
1	-1.8
2	0.9

$Ksi(1.1) =$

	1
1	-1.17
2	1.77

В підсумку отримуємо рішення оптимізаційної задачі синтезу у виді функції від усіх вхідних змінних. Над функціями класу «синтез» можна побудувати алгебру.

Алгебраїзація задачі синтезу спостерігача

Записуємо альтернативи характеристичного рівняння спостерігача.

$$\boxed{\left| I\cdot z - [\, I + (A + L\cdot C)\cdot dT \,] \right| \; = \; 0}$$

Записуємо характеристичне рівняння спостерігача вибраної структури L

$$\left| (I\cdot z - Nn(l1,l2,l3,T\,) \right| \; = \; 0 \quad \text{де} \quad Nn(l1,l2,T) := F1(A,T) + G1(A,T)\cdot\begin{pmatrix} l1 & 0 \\ l2 & 0 \end{pmatrix}\cdot C \quad (10)$$

Задаємо <u>потрібні значення</u> коефіцієнтів V: $\boxed{V0 := 0.1}$; $\boxed{V1 := 0.1A0}$;

<u>початкові значення</u> шуканих параметрів $l1 := 7;\; l2 := 2;$ довільні <u>значення</u> $z1 := -3;\; z2 := 3.$

Записуємо систему рівнянь для коефіцієнтів і розв'язуємо її вбудованими числовими методами.

$$\begin{aligned} Given \qquad & polino(V1,V0,z1) = determ(l1,l2,T,z1) \\ & polino(V1,V0,z2) = determ(l1,l2,T,z2) \qquad (12) \end{aligned}$$

Розв’язання $\quad Lsi(T) := Find(l1,l2)$

$Lsi(0.5) =$

	1
1	-1.58
2	-1.61

$Lsi(0.77) =$

	1
1	-0.15
2	-2.55

$Lsi(1.5) =$

	1
1	1.14
2	-4.36

Система рівнянь (12) – зразок орієнтованої на можливості символьних і числових методів алгебраізації задач оптимізації та рішень складних систем рівнянь

В підсумку отримуємо рішення оптимізаційної задачі синтезу спостерігача у виді функції від усіх вхідних змінних.

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ В СИСТЕМІ З «ШВИДКИМ» РЕГУЛЯТОРОМ

Задаємо вектор початкових умов, кількість кроків, крок

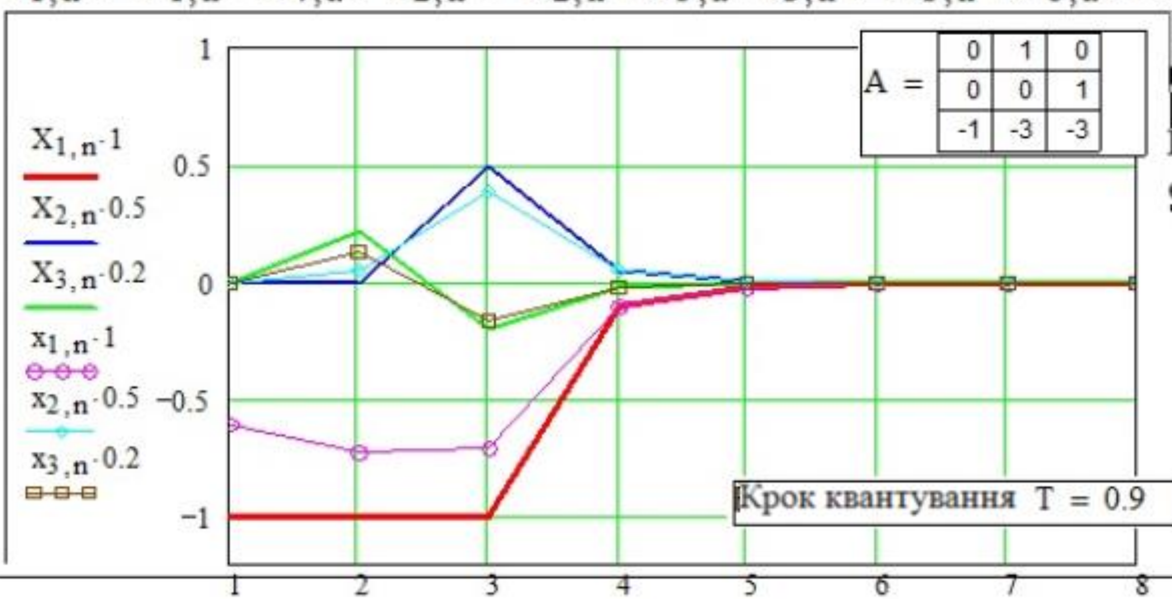
$$X = \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ \Delta x1 \\ \Delta x2 \\ \Delta x3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{"– вектор"} \\ \text{"стану"} \\ \text{"системи"} \\ \text{"– помилки"} \\ \text{"оцінювання"} \\ \text{"вектора стану"} \end{pmatrix}; \quad X^{\langle 1 \rangle} := \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0.4 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{pmatrix}; \quad n := 1..8; \quad T = 0.8.$$

Нарешті записуємо різницеве рівняння 6-го порядку, за яким і обчислюється ПП.

$$\boxed{X^{\langle n+1 \rangle} := Mps \cdot X^{\langle n \rangle}} \qquad (2.15)$$

Знову повертаємось від **помилок оцінювання** вектору стану до **оцінок**

$x_{1,n} := X_{1,n} + X_{4,n}$; $x_{2,n} := X_{2,n} + X_{5,n}$; $x_{3,n} := X_{3,n} + X_{6,n}$ і все виводимо:



Ввод кроку квантування

$T \equiv .9$

Початковий стан

$X^{\langle 1 \rangle} =$

	1
1	-1
2	0
3	0
4	0.4
5	0
6	0

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ В СИСТЕМІ, ДЕ РЕГУЛЯТОР ЗАБЕЗПЕЧУЄ ЗАДАНИЙ ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС

збурення $v = 0.5$ Параметри об'єкта незбурені ; $a1 \equiv 2.5$; $a0 \equiv -1.0$;

$a0v := (-A(v))_{2,1}$ $a1v := (-A(v))_{2,2}$ збурені $a1v = 1.25$; $a0v = -1$;

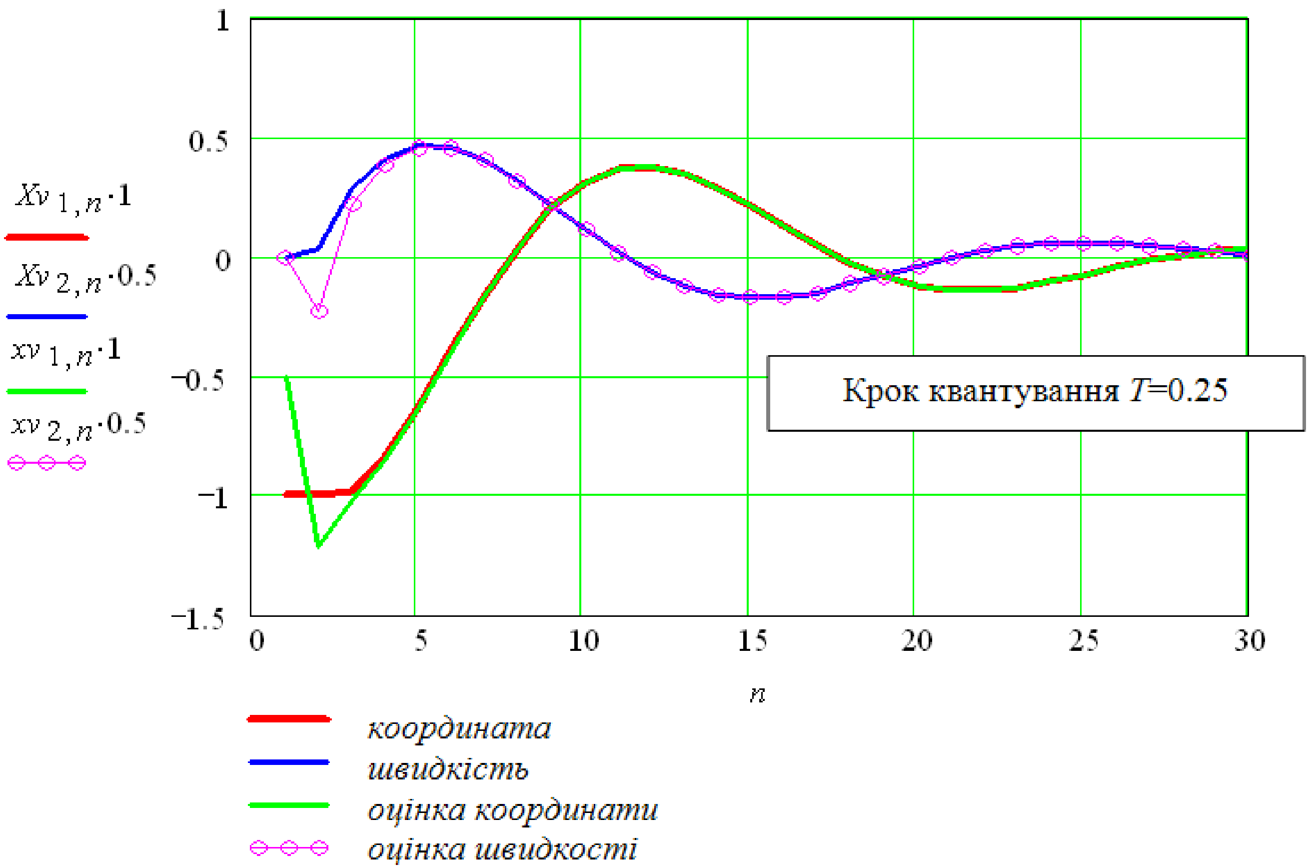
Ввод кроку квантования

$T = 0.25$

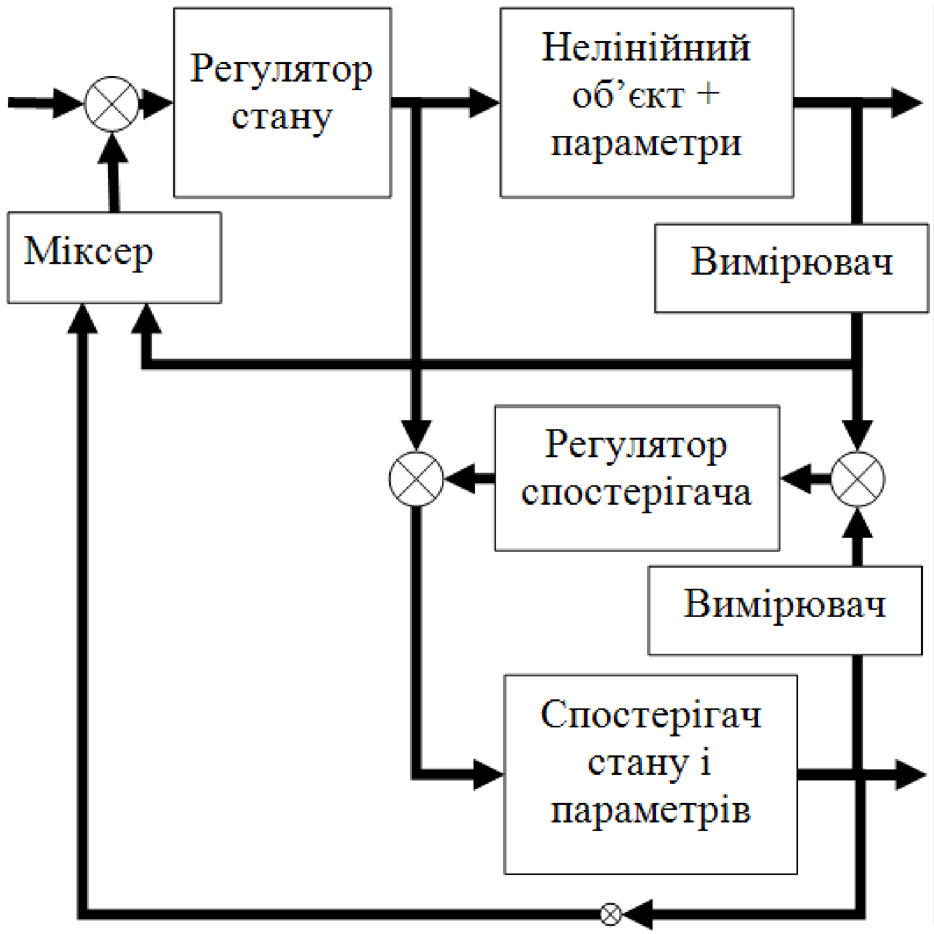
Початковий стан

$X^{\langle 1 \rangle} =$

	1
1	-1
2	0
3	0.5
4	0



МОДЕЛЬ СПОСТЕРІГАЧА СТАНУ І ПАРАМЕТРІВ НЕЛІНІЙНОГО ОБ’ЄКТА



Нелінійний об’єкт

$$Xo^{\langle k+1\rangle} = Fd(Xo^{\langle k\rangle}, U^{\langle k\rangle}, Vp, T)$$

Вимірювачі

$$Y^{\langle k\rangle} = C\cdot X^{\langle k\rangle}$$

Модель об’єкту

$$Xn^{\langle k+1\rangle} = Fd(Xn^{\langle k\rangle}, U^{\langle k\rangle}, Vpn, Ld^{\langle k\rangle}, T)$$

Модель вимірювачів

$$Yn^{\langle k\rangle} = C\cdot Xn^{\langle k\rangle}$$

Регулятор контуру спостерігача

$$Ld^{\langle k\rangle} = Lsint(\Delta Y^{\langle k\rangle}, C, Vpn^{\langle k\rangle}, T)$$

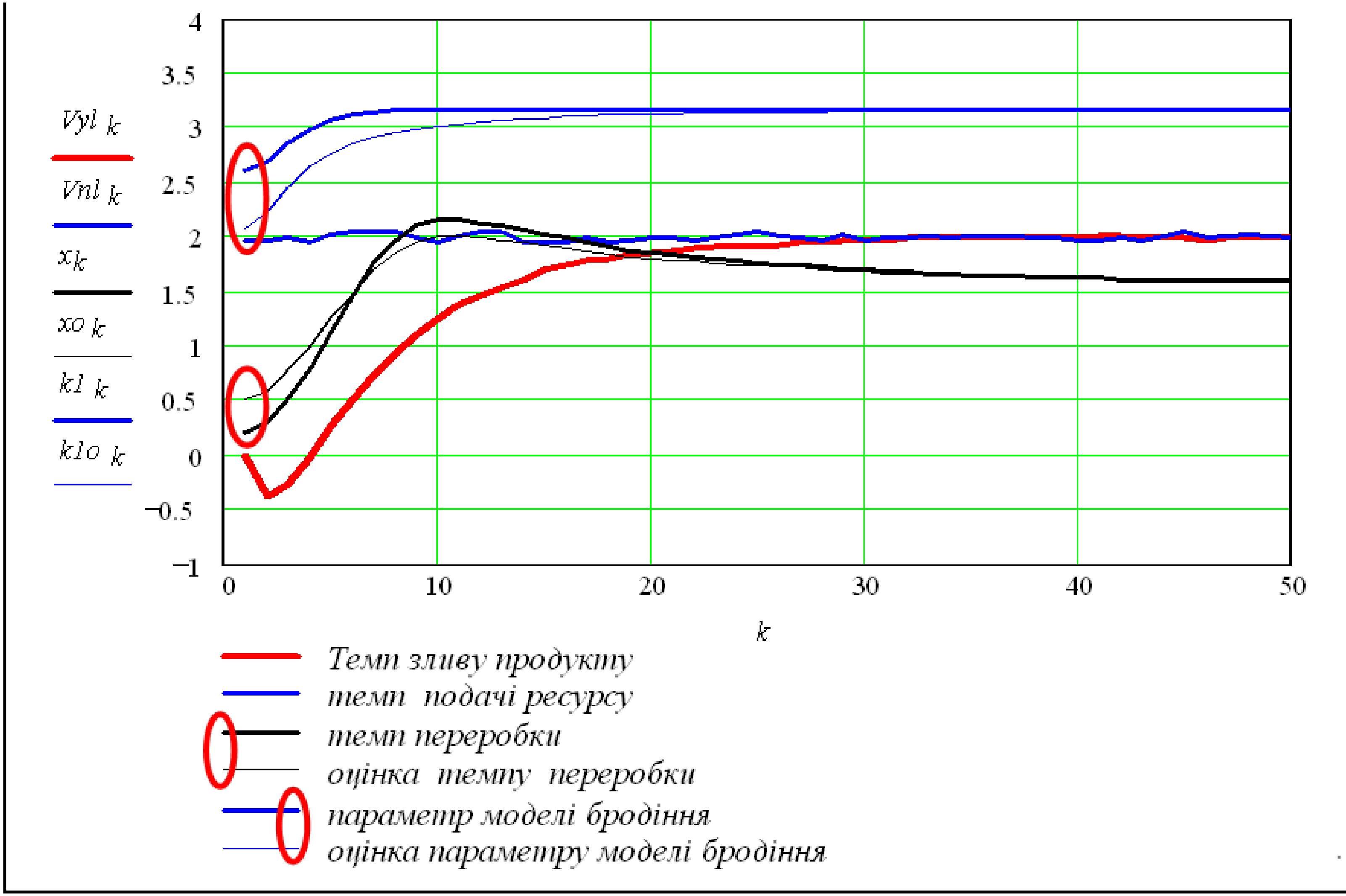
Регулятор ОК

$$U^{\langle k\rangle} = Ksint(Xm^{\langle k\rangle}, Vpn^{\langle k\rangle}, T).$$

Міксер

$$Xm^{\langle k\rangle} = mix(Y^{\langle k\rangle}, X^{\langle k\rangle})$$

МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ОБ'ЄКТА З СПОСТЕРІГАЧЕМ



ВИСНОВКИ

1. Вдосконалено алгебраїзований метод синтезу системи «регулятор-спостерігач» для систем управління технологічними процесами, що на відміну від аналогів не потребує обчислення коренів характеристичних рівнянь у символьному виді, а дозволяє отримувати параметризовані рішення як функції декількох вибраних параметрів – параметрів об'єкта управління і параметрів системи управління. Це дає можливість побудувати узагальнені методи аналізу і синтезу для лінеаризованих моделей об'єктів управління.

2. Вдосконалено алгебраїзований метод синтезу об'єкта з регулятором стану і спостерігачем за рахунок розширення його на нелінійні об'єкти управління з довільними монотонними характеристиками «вхід, вихід», що для певних класів об'єктів можуть бути подані параметризованою залежністю. Це дозволяє в підсумку синтезувати управління з компенсацією нелінійностей і побудувати ефективну аналітичну – непошукову адаптивну САУ з спостерігачем вектору стану і параметрів.

Практичне значення одержаних результатів. На основі запропонованого підходу до оптимального управління і побудови ефективних моделей розподілених систем отримано такі практичні результати:

1. Створені на базі теоретичних результатів алгоритми і програми моделювання дозволяють просто вести аналіз і синтез системи управління і так підвищити продуктивність праці спеціаліста з управління.

2. Усі розроблені моделі реалізовано як комплекс програмного забезпечення, що дозволяє вести продуктивні дослідження для актуальних практичних задач певного класу технологічних систем.

Дякую за увагу