

**5. Заключение.** Разработка эффективных САУ процессом ЭБП, в силу его специфических свойств как объекта управления, представляет собой достаточно наукоемкую задачу. Ее решение приводит к необходимости расширения состава функций, реализуемых системой, и улучшения реализации традиционных функций. Как следствие, это приводит к значительному усложнению алгоритмов, реализуемых САУ. Вместе с тем, современный уровень программно-технического обеспечения систем автоматического управления технологическими процессами снимает многие ограничения на получение в реальном времени информации о ходе процесса и практически все ограничения на сложность алгоритмов, которые осуществляют переработку этой информации, в частности алгоритмов управления. Поэтому рассмотренные в данной статье варианты САУ, в том числе и самый сложный из них, имеют хорошую материальную основу для реализации. А оснащение экструдеров такими САУ может дать существенный экономический эффект, в том числе за счет более быстрого внедрения новых видов продукции.

#### Литература

1. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с: ил.
2. Хобин В.А., Егоров В.Б. Повышение эффективности процесса экструдирования комбикормов средствами автоматического управления // *Зерновые продукты и комбикорма*. – Одесса, 2008. – № 3 (31). – С. 53 – 54.
3. Isermann Howard P. Twin-Screw Food Extrusion: Control Case Study // Joel Schlosburg, May 12th, 2005. <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/WWW/faculty/bequette/URP/JoelS-presentation.pdf>.
4. Хобин В.А., Егоров В.Б. Процесс экструдирования растительного сырья как объект управления: особенности, задачи управления, структура // *Мат. XV міжнарод. конф. з автоматичного управління (Автоматика – 2008)*, м. Одеса, 23 – 26 вересня 2008 року. – Одеса: ОНМА, 2008. – Мат. в 2-х т. – Т. 2. – С. 643 – 646.
5. Хобин В.А., Егоров В.Б. Концептуальна модель процесу екструдювання рослинної сировини як об'єкта управління // *Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти України*. – Одеса: 2009. – Вип. 36. – Т. 2. – С. 246 – 254.
6. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
7. Хобин В.А. Регулятор переменной структуры для объектов технологического типа // *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. – Херсон: Херсон. гос. техн. ун-т, 2004. – № 1 (13). – С. 190 – 196.
8. Хобин В.А. Функция гарантирования в системах автоматического управления // *Автоматизація виробничих процесів*. – Київ, 2002. № 1(14). – С. 145 – 150.
9. Хобин В.А., Егоров В.Б. Интеллектуальный канал видеoinформации для систем управления процессом экструдирования растительного сырья // *XVI Міжнарод. конф. з автомат. управління «Автоматика-2009»*. Тез. доп. – Чернівці: Книги – XXI, 2009. – С. 225 – 226.

УДК 519.876.2:681.5.015

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ АДАПТАЦІ РЕГУЛЯТОРА ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ В ЗАМКНУТОМУ КОНТУРІ

**Жигайло О.М., канд. техн. наук, доцент,  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса**

*Для об'єктів технологічного типу використовується розширений метод типової статистичної ідентифікації. Розроблена з його допомогою процедура поетапної ідентифікації об'єкта управління в замкнутому контурі склала основу для розв'язання задачі адаптації (самоналаштування регулятора) у розглянутих системах управління.*

*For objects technological type used advanced the method of typical statistical identification. Designed with the help of stepwise procedure for identifying an object in a closed circuit formed the basis for solving the problem of adaptation (self-tuning) control in these systems.*

Ключові слова: типова статистична ідентифікація, кореляційні функції, адаптація регулятора.

**Постановка завдання.** Адаптивне регулювання є найбільш ефективним способом збереження розумного компромісу між показниками стійкості і якості процесів у САУ об'єктами будь-якої природи, для

яких характерний високий рівень нестационарності їхніх властивостей. При цьому можливість і ефективність застосування конкретних алгоритмів самоналаштування суттєво залежить від особливостей об'єктів управління (ОУ). Для вирішення нашого завдання всі ОУ можна підрозділити на дві групи:

1. «Нетехнологічні», куди входять ОУ електротехнічного (електропривод верстатів), механічного (маніпулятори), електронного (підсилювачі й фільтри радіотехнічних пристроїв), мобільного (транспортні засоби) типів.

2. «Технологічні», куди входять технологічні або енергетичні установки й агрегати (далі – ТА), у тому числі й ТА, установлені на мобільних об'єктах.

Серед особливостей ОУ другої групи можна відокремити: а) фізичне розподілення каналів управління ОУ, що проявляється в значних запізненнях реакції керованих змінних на керуючі впливи; б) високий рівень невизначеності причинно-наслідкових зв'язків між змінними, особливо параметричних, що обумовлює неможливість отримання моделей цих зв'язків з досить високим рівнем адекватності; в) дуже низька інтенсивність дії вхідних змінних за завданням САУ та велика кількість зовнішніх збурень, що інтенсивно змінюються, досить істотно впливають на роботу ТА і практично недоступні для виміру, але, одночасно, змінюють і значення вихідних керованих змінних, властивості каналів управління й оптимальні режими роботи ТА [1]. Остання особливість є основною причиною існування корельованості між керуючими впливами й керованими змінними ОУ. Це обумовлює некоректність розв'язуваної задачі й унеможливує пряме застосування методів статистичної ідентифікації. Тому для її розв'язання пропонується процедура поетапної ідентифікації ОУ, що використовує типовий підхід [2]. При цьому необхідно:

1. Вибрати формальну модель системи (ФМС) управління за каналом завдання  $W_{y^3d}^{fmc}(s)$ .
2. Провести ідентифікацію системи управління за моделями взаємних кореляційних функцій (ВКФ).
3. Провести ідентифікацію ОУ;
4. Налаштувати регулятор.

**Вибір типової моделі САУ.** Для цього використовується евристичний підхід. На його основі пропонується ФМС управління за каналом завдання, що може бути описана у вигляді передавальної функції:

$$W_{y^{ca}y}^{\delta in}(p) = ke^{-\tau p} / (T^2 p^2 + 2\xi T p + 1), \quad (1)$$

із перехідною характеристикою (ПХ)

$$h^{\delta in}(t) = k \left( 1 - (1/C_1) e^{-\xi(t-\tau)/T} \sin(C_1(t-\tau)/T + \theta_1) \right), \quad (2)$$

де  $C_1 = \sqrt{1 - \xi^2}$ ,  $\theta_1 = \arctg(C_1 / \xi)$ .

На рис. 1 представлені перехідні характеристики імітаційної моделі системи (ІМС) управління  $h_i^{imc}(t)$  з ПІД – алгоритмом регулювання (3), що й у реальній системі, і тестовим об'єктом (4), у якого змінювали час запізнення  $\tau_o$ , постійну часу  $T_o$ , коефіцієнт передачі  $k_o$ , а також обраної нами ФМС управління за каналом завдання  $h_i^{fmc}(t)$ . При цьому для визначення параметрів ФМС вирішувалася чисельним методом оптимізаційна задача  $\bar{a}^* = \operatorname{argmin}[(h_i^{fmc}(t, \bar{a}) - h_i^{imc}(t))^2]$ , у якій  $\{k, T, \xi, \tau\} = \bar{a}$  були аргументами в  $h_i^{fmc}(t)$ .

$$W^{\delta a \bar{a}}(p) = k_{\delta} \left( 1 + 1/\dot{O}_{\delta} p + \dot{O}_{\delta} p / (0.2 \dot{O}_{\delta} p + 1) \right), \quad (3)$$

$$W^o(p) = k_o e^{-\tau_o p} / (T_o p + 1)^2, \quad (4)$$

**Регуляризована процедура ідентифікації системи управління.** Розглянемо цю процедуру на прикладі систем управління, що гарантують безаварійність (САУ ГБ) [3]. Відомо, що гарантувальне задане значення  $y^{\Gamma}(t)$  являє собою випадкову величину. Отже, статистична ідентифікація системи управління за каналом завдання може здійснюватися за спостереженнями сигналу  $y^{\Gamma}(t)$  і за реакцією системи на цей сигнал  $y(t)$ . При цьому властивості вхідного сигналу повинні відповідати стаціонарному випадковому процесу, а його енергетичний спектр повинен мати смугу частот, не меншу від еквівалентної смуги пропускання САУ, що ідентифікуємо [4]. Крім того, вхідний сигнал повинен бути незалежний від вихідного (статистично з ним не зв'язаний).

На жаль, зазначені вимоги у САУ ГБ виконуються погано. Тому для успішної ідентифікації пропонується так званий “змішаний” спосіб. Він полягає у тому, що на вхід системи (рис. 2) періодично подається, адитивний до  $y^{\Gamma}(t)$ , пробний випадковий сигнал (ПВС)  $y^D(t)$  невеликої інтенсивності, і тоді на систему діє сигнал:

$$y^{3d}(t) = y^{\Gamma}(t) + y^D(t). \quad (5)$$

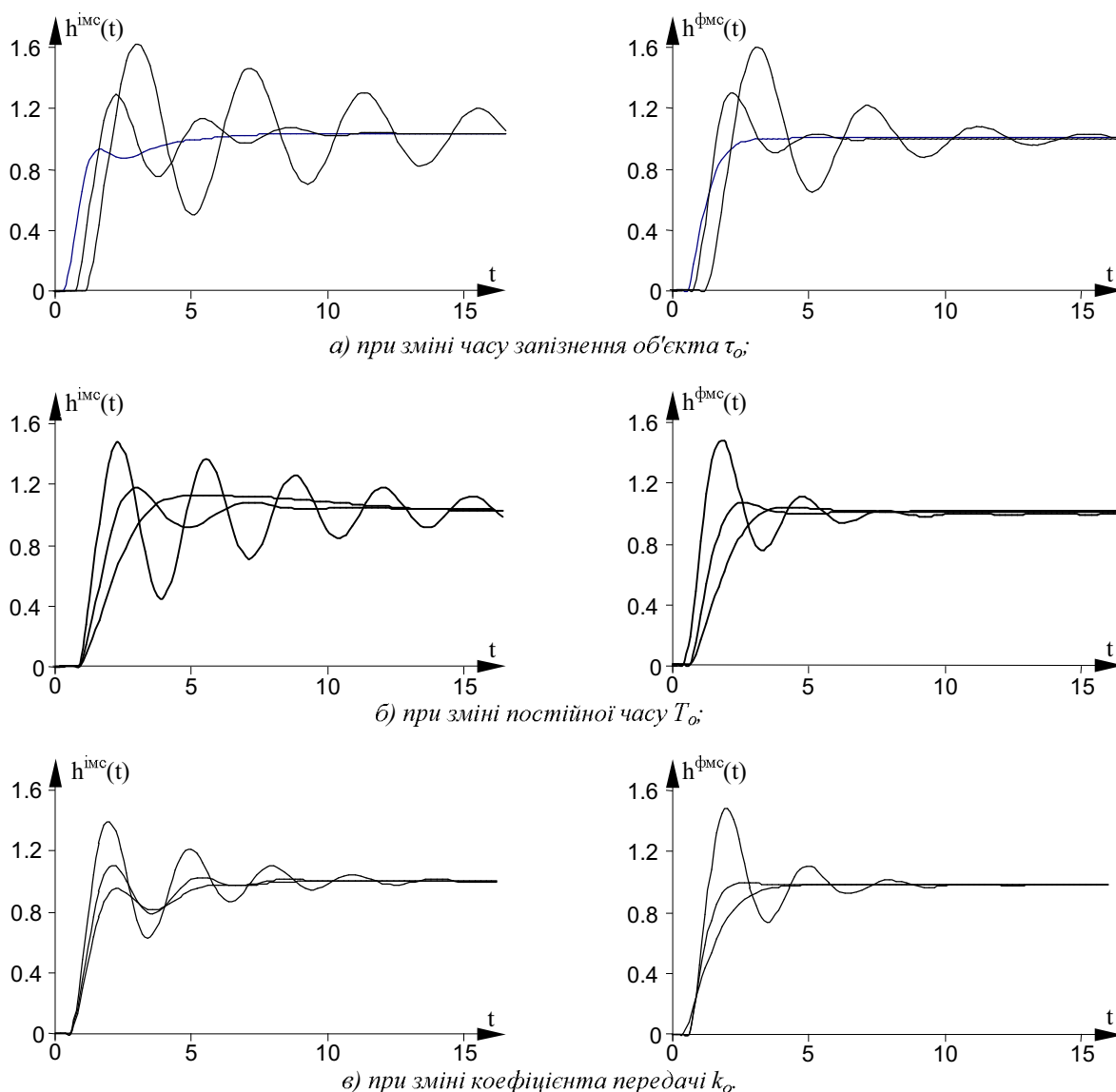


Рис. 1 – Перехідні характеристики ІМС і ФМС управління за каналом завдання

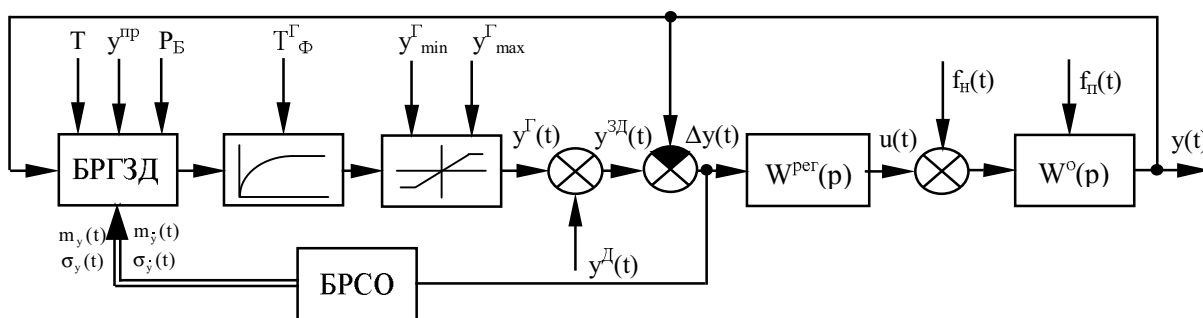


Рис. 2 – Структурна схема САУ ГБ

При цьому не порушується нормальне функціонування системи, тому що в реальних умовах на її вхід, крім впливу за завданням  $y^\Gamma(t)$ , надходить перешкода, яка має більш широкий спектр, ніж  $y^\Gamma(t)$ . Тут у процесі ідентифікації перешкодою розглядається робочий сигнал  $y^\Gamma(t)$ , а входним сигналом для алгоритму ідентифікації є  $y^\Gamma(t)$ . Ідентифікація системи в цьому випадку може бути здійснена завдяки високій перешкодозахищеності статистичних методів оцінювання.

При реалізації процедури ідентифікації моделі ОУ в САУ ГБ поетапним методом із подачею ПВС особлива увага зверталася на його властивості. З ідеальної точки зору, ми повинні підібрати такий ПВС, для якого б результати ідентифікації формальної моделі системи виходили найбільш оптимальні (максимально наближені до ідеального). Однак при цьому необхідно, щоб використання ПВС погіршувало якісні показники функціонування системи в найменшому ступені. З огляду на ці умови, було вироблено такі рекомендації:

1. Дисперсія ПВС повинна відповідати 10–30 % від значення дисперсії вихідного сигналу  $y(t)$ . Чим вона більша, тим кращими стають результати ідентифікації, однак при цьому погіршуються показники якості САУ. Тому при виборі величини значення дисперсії ПВС варто йти на компроміс і враховувати ці обидва фактори.

2. Спектральна щільність ПВС повинна бути більш широкою за своїм складом, від амплітудно-частотної характеристики САУ. Тому для його генерації варто використовувати малоінерційний формувальний фільтр.

3. ПВС повинен мати всі властивості стаціонарного ергодичного процесу. Для цього необхідно застосовувати проріджування сигналу, що надходить на формуючий фільтр.

Визначені в [2] моделі ВКФ містять у собі інформацію про властивості ОУ. Ця особливість дозволяє судити про те, що по зміні оцінок ВКФ, що розраховуються, можна стежити за змінами властивостей об'єкта та робити налаштування регулятора.

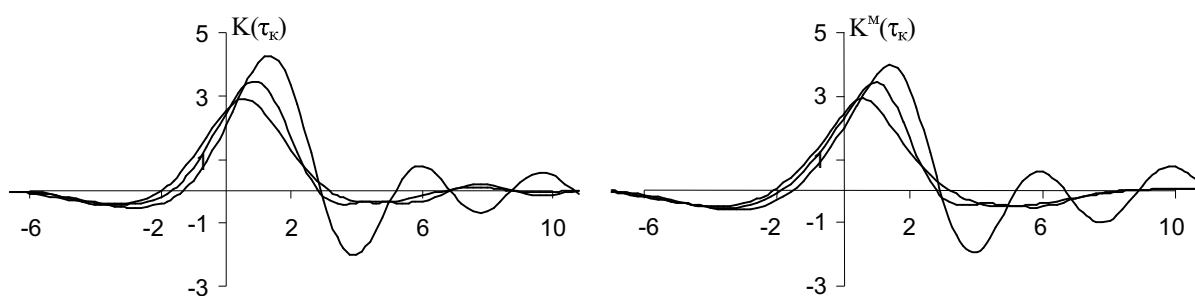
Для реалізації цієї ідеї необхідно в першу чергу алгоритмізувати процедуру розрахунку оцінок АКФ і ВКФ у реальному часі. У її основі використовуються такі рекомендації: 1) для отримання оцінок кореляційних функцій (КФ) тривалість  $T_p$  випадкових процесів (ВП) повинна бути не меншою  $(25...50) \cdot T_{СКП}$ , де  $T_{СКП} = 2T_p/S$  – оцінка середньоквадратичного періоду (СКП) коливань ВП, а  $T_p'$  – інтервал для оцінки СКП,  $S$  – число перетинань ВП із його математичним очікуванням на інтервалі  $T_p'$ ; 2) квантування ВП доцільно проводити із кроком  $\Delta t = 0.1 \cdot T_{СКП}$ ; 3) крок розрахунку аргументів КФ  $\Delta \tau_k$  вибирається рівним кроку  $\Delta t$ ; 4) оцінювати КФ доцільно на наступних інтервалах:  $\tau_{\hat{e}}^{\hat{a}\hat{e}\hat{o}+} = k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} \Delta \tau_{\hat{e}} = 7T_{\hat{o}}/S_{y^{\hat{a}}}$ ,

$\tau_{\hat{e}}^{\hat{a}\hat{e}\hat{o}+} = k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}^+ \Delta \tau_{\hat{e}} = 6T_{\hat{o}}/\sqrt[3]{S_{y^{\hat{a}}} S_{y^{\hat{e}}}}$ ,  $\tau_{\hat{e}}^{\hat{a}\hat{e}\hat{o}-} = k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}^- \Delta \tau_{\hat{e}} = 6T_{\hat{o}}/\sqrt[3]{S_{y^{\hat{e}}} S_{y^{\hat{a}}}}$ , де  $k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$  – кількість значень оцінки АКФ вхідного сигналу  $y^{\hat{a}}$ ;  $k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}^+$ ,  $k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}^-$  – кількість значень оцінок ВКФ вхідного й вихідного сигналів на позитивній і негативній півосі;  $S_{y^{\hat{a}}}$ ,  $S_{y^{\hat{e}}}$  – число перетинань вхідного й вихідного сигналів зі своїми математичними очікуваннями на інтервалі часу  $T_p$ .

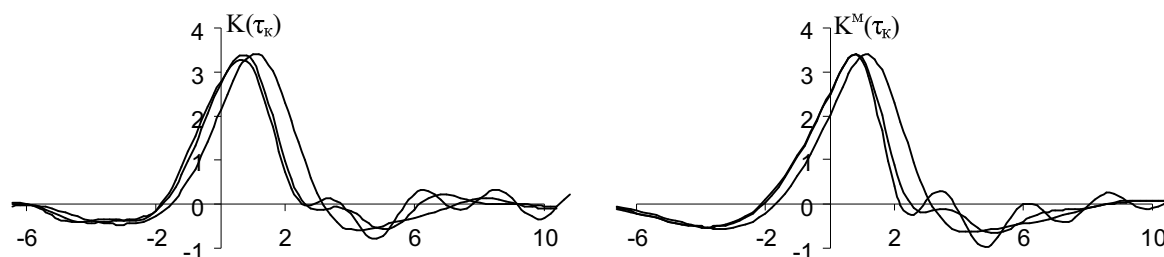
Спочатку розрахунок кореляційних функцій проводився на фіксованому інтервалі. На рис. 3 представлено оцінки ВКФ  $K(\tau_k)$  вхідного й вихідного сигналів ІМС управління з тестовим об'єктом, у якого змінювали час запізнення, постійну часу, коефіцієнт передачі й моделі ВКФ  $K^M(\tau_k)$ , що відповідають обраній ФМС управління. При цьому для визначення параметрів моделі ВКФ розв'язувалася чисельним методом оптимізаційна задача  $\bar{b}^* = \operatorname{argmin}[(K_i^M(\tau_k, \bar{b}) - K_i(\tau_k))^2]$ , у якій  $\{k, T, \xi, \tau\} = \bar{b}$  були аргументами в  $K_i^M(\tau_k)$ . За ними можна чітко спостерігати взаємозв'язок моделей ВКФ зі змінюваними властивостями об'єкта управління в імітаційній моделі системи.

Однак оцінки АКФ і ВКФ, які розраховуються рекурентно, накопичують у собі інформацію про властивості ВП входу й виходу. При цьому необхідно враховувати, що в оцінці ВКФ зосереджено також інформацію й про властивості об'єкта, що ідентифікується. На початковому етапі розрахунку оцінок їхній вигляд значно змінюється при надходженні чергових точок ВП. Чим більша кількість зареєстрованих значень, тим менше проявляються ці зміни. Якщо параметри об'єкта будуть змінюватися, то це відіб'ється на вигляді оцінки ВКФ. Більш помітно це буде виглядати для оцінки, що отримана з вибірок ВП із меншим за часом інтервалом обробки. Тому виникає завдання обмеження інтервалу часу  $T_p$  оброблюваного ВП. При розв'язанні цього завдання в реальному часі необхідно забирати “застарілу” інформацію з оцінок КФ. Це означає, що при реєстрації точок ВП і розрахунку за ними нових значень оцінок КФ, що відповідають моменту часу  $T_p + \Delta t$ , варто забирати з них інформацію, отриману з розрахунків за першими точками ВП. При розрахунку оцінок КФ, що відповідають моменту часу  $T_p + 2 \cdot \Delta t$ , варто забирати з них інформацію, отриману з розрахунків за другими точками ВП і т.д. Тому пропонується рекурентний розрахунок КФ на так званому “ковзному” інтервалі. Його довжина фіксується, а розрахунок оцінок КФ виробляється за наступними рекурентними формулами:

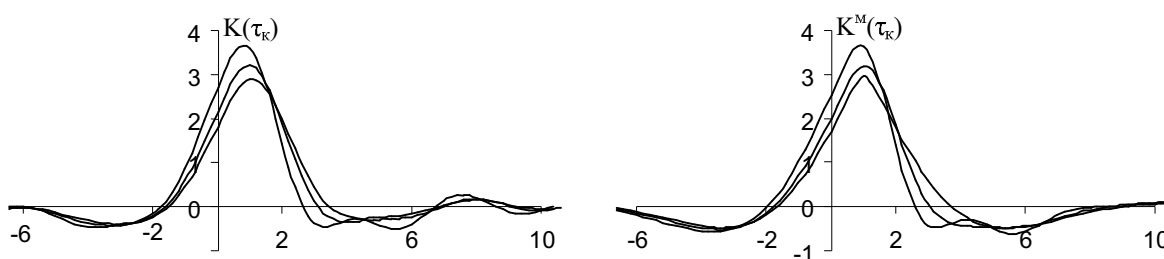
$$\hat{K}_{y^{\hat{a}}}^{(j)}(i\Delta\tau_{\hat{e}}) = \hat{K}_{y^{\hat{a}}}^{(j-1)}(i\Delta\tau_{\hat{e}}) + \frac{1}{N-i+1} \left( \sum_{i=1}^{k_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}} (Y^{\hat{a}}(j\Delta t) Y^{\hat{a}}((j-i+1)\Delta t) - Y^{\hat{a}}((j-N)\Delta t) Y^{\hat{a}}((j-N+i-1)\Delta t)) \right), \quad (6)$$



а) при зміні часу запізнення об'єкта  $\tau_0$ ;



б) при зміні постійної часу  $T_0$ ;



в) при зміні коефіцієнта передачі  $k_0$

**Рис. 3 — Оцінки ВКФ вхідного й вихідного сигналів системи з тестовим об'єктом і відповідні їм моделі**

$$\widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{+(j)}(i\Delta\tau_{\hat{\epsilon}}) = \widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{+(j-1)}(i\Delta\tau_{\hat{\epsilon}}) + \frac{1}{N-i+1} \left( \sum_{i=1}^{k_{\hat{a}\hat{\epsilon}\hat{\epsilon}}^+} (Y^{\bar{a}}(j\Delta t)Y((j-i+1)\Delta t) - Y((j-N)\Delta t)Y^{\bar{a}}((j-N+i-1)\Delta t)) \right), \quad (7)$$

$$\widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{-(j)}(i\Delta\tau_{\hat{\epsilon}}) = \widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{-(j-1)}(i\Delta\tau_{\hat{\epsilon}}) + \frac{1}{N-i+1} \left( \sum_{i=1}^{k_{\hat{a}\hat{\epsilon}\hat{\epsilon}}^-} (Y(j\Delta t)Y^{\bar{a}}((j-i+1)\Delta t) - Y^{\bar{a}}((j-N)\Delta t)Y((j-N+i-1)\Delta t)) \right), \quad (8)$$

де  $\widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{-(j)}$ ,  $\widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{+(j)}$ ,  $\widehat{K}_{y^{\bar{a}}y^{\bar{a}}}^{-(j)}$  – значення оцінок КФ;  $i$  – номер значення КФ;  $j$  – номер значення ВП;  $Y^{\bar{a}}(j\Delta t)$ ,  $Y(j\Delta t)$  – поточне значення вхідного й вихідного сигналів (якщо  $j < k_{\hat{a}\hat{\epsilon}\hat{\epsilon}}^-$ ,  $k_{\hat{a}\hat{\epsilon}\hat{\epsilon}}^+$ ,  $k_{\hat{a}\hat{\epsilon}\hat{\epsilon}}^-$ , то  $i=j$ ),  $N$  – кількість крапок ВП, для яких здійснюється розрахунок КФ (при цьому  $T_p > (25 \dots 50 \dots 50) * T_{\text{скп}}$ , а  $j \geq N$ ).

Використовуючи експериментально отриману оцінку  $\widehat{K}_{y^a}(\tau_\xi)$  можна провести ідентифікацію параметрів моделі АКФ вхідного сигналу  $y^D(i \cdot \Delta t) - K_{y^a}^i(\tau_\xi)$ . При цьому, вважаючи, що  $\vec{d} = \{D, \alpha, \beta\}$  в  $K_{y^a}^i(\tau_\xi)$  аргументи, розв'язується чисельними методами *оптимізаційна задача 1* (рис. 4).

Використовуючи експериментально отриману оцінку  $\widehat{K}_{y^a y^y}(\tau_\xi)$ , можна виконати ідентифікацію параметрів ФМС за каналом завдання —  $k^*, T^*, \tau^*, \xi^*$ , які одночасно є параметрами моделі ВКФ вхідного  $y^D(i \cdot \Delta t)$  і вихідного  $y(i \cdot \Delta t)$  сигналів —  $K_{y^a y^y}^i(\tau_\xi)$ . З огляду на властивості системи управління за каналом завдання, значення  $k$  приймається постійним, і рівним 1. При цьому, вважаючи, що  $\vec{c} = \{T, \tau, \xi\}$  в  $K_{y^a y^y}^i(\tau_\xi)$  аргументи, розв'язується чисельними методами *оптимізаційна задача 2* (рис. 4).

Тим самим на цьому першому етапі ми отримуємо перехідну характеристику (ПХ) ФМС  $h_{y^a y^y}^{\text{oin}}(t)$ , що за своїми властивостями відповідає ПХ досліджуваної системи за каналом завдання.

**Процедура ідентифікації моделі об'єкта управління.** На другому етапі, додатково до (1), застосовується ІМС за тим же каналом. Така модель, у якій в явному вигляді використовується модель ОУ за каналом управління (типова) (3) і той же алгоритм регулювання, що й у реальній системі, наприклад, ПД – алгоритм (4).

При цьому передавальна функція системи управління за каналом завдання буде мати такий вигляд:

$$W_{y^a y^y}^{\text{in}}(p) = \frac{(Ap^2 + Bp + C)e^{-\tau_0 p}}{Mp^4 + Np^3 + Rp^2 + Sp + (Ap^2 + Bp + C)e^{-\tau_0 p}}, \quad (9)$$

де  $A = 1.2k_\delta k_i T_\zeta T_{\text{ю}}$ ,  $B = k_\delta k_i (0.2T_{\text{ю}} + T_\zeta)$ ,  $\tilde{N} = k_\delta k_i$ ,  $M = 0.2T_\zeta T_0^2 T_{\text{ю}}$ ,  $N = T_i T_\zeta (0.4T_{\text{ю}} + T_0)$ ,  $R = T_\zeta (0.2T_{\text{ю}} + 2T_0)$ ,  $S = T_\zeta$ ,

а відповідне диференціальне рівняння, що описує цю систему управління в операторній формі:

$$y(p) = W_{y^a y^y}^{\text{in}}(p) y^D(p). \quad (10)$$

З огляду на те, що (9) має запізнення в знаменнику, ПХ імітаційної моделі системи (10) зручно представити у вигляді рекурентного вираження, використовуючи, наприклад, метод Ейлера:

$$\begin{aligned} h_{y^a y^y}^{\text{oin}}(t) \Big|_{y^a(t)=1} \Leftrightarrow y(n\Delta t) = & [(4B_1 + 3B_2 + 2B_3 + B_4)y((n-1)\Delta t) - (6B_1 + 3B_2 + B_3) \times \\ & \times y((n-2)\Delta t) + (4B_1 + B_2)y((n-3)\Delta t) - B_1 y((n-4)\Delta t) - (B_5 + B_6 + B_7) \times \\ & (y((n-m)\Delta t) - y^{\text{ca}}((n-m)\Delta t)) + (2B_5 + B_6)(y((n-m-1)\Delta t) - y^{\text{ca}}((n-m-1)\Delta t)) - \\ & - B_5(y((n-m-2)\Delta t) - y^{\text{ca}}((n-m-2)\Delta t))] / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) \end{aligned}, \quad (11)$$

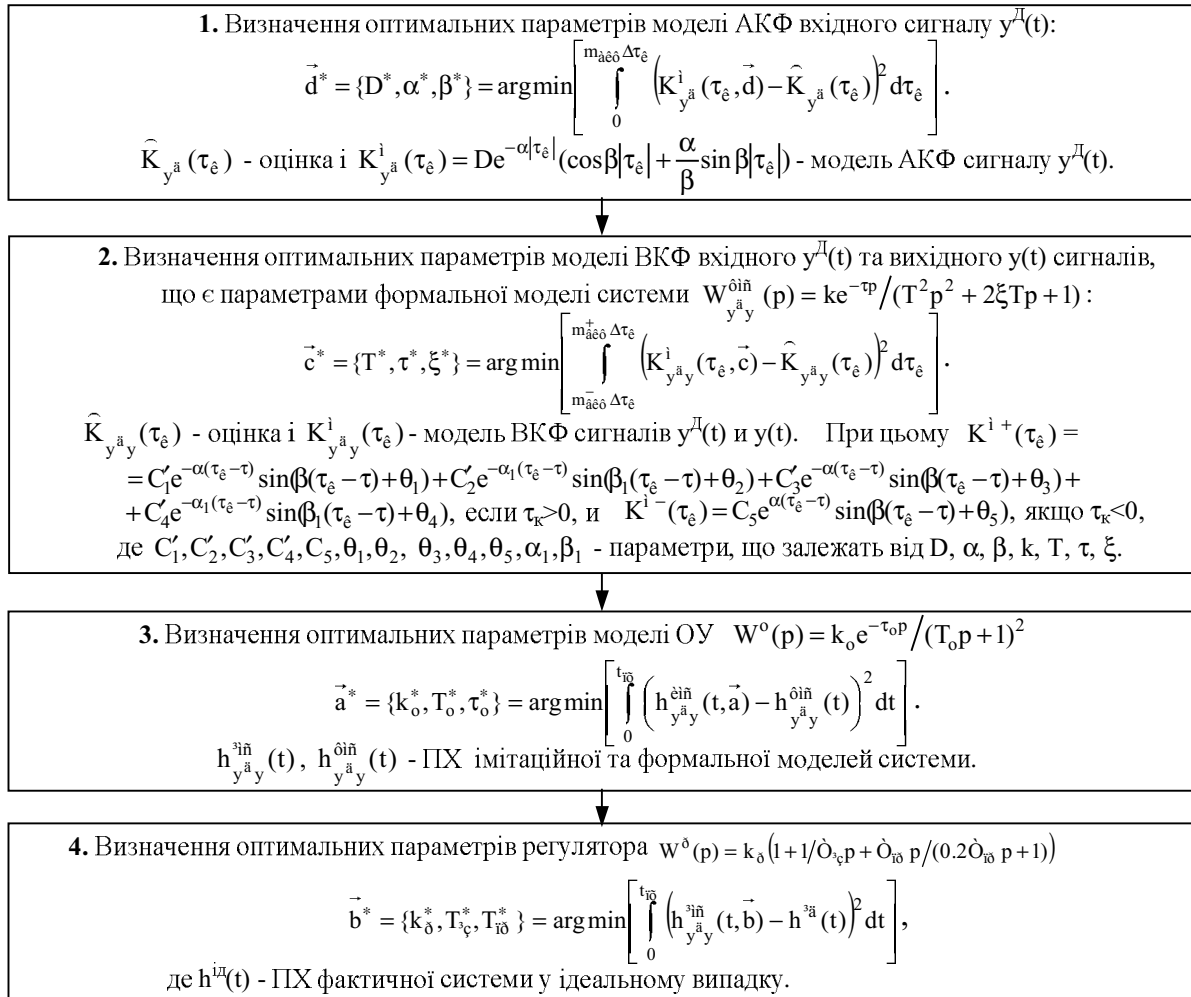
де  $n$  – номер поточного значення ПХ,  $\Delta t$  – крок дискретизації ПХ,  $m = E(\tau_0 / \Delta t)$  – ціла частина від розподілу  $\tau_0$  на  $\Delta t$ ,  $B_1 = M / \Delta t^4$ ,  $B_2 = N / \Delta t^3$ ,  $B_3 = R / \Delta t^2$ ,  $B_4 = S / \Delta t$ ,  $B_5 = A / \Delta t^2$ ,  $B_6 = B / \Delta t$ ,  $B_7 = C$ .

Оскільки властивості реальної системи описані імітаційною моделлю, а нам відомі параметри регулятора, то можна в ній підібрати параметри ОУ таким чином, щоб її ПХ  $h^{\text{oin}}(t)$  відповідала ПХ формальній моделі  $h^{\text{oin}}(t)$ . При цьому, вважаючи, що  $\vec{a} = \{k_0, T_0, \tau_0\}$  аргументи у вираженні для визначення ПХ імітаційної моделі системи  $h_{y^a y^y}^{\text{oin}}(t)$ , розв'язується чисельними методами *оптимізаційна задача 3* (рис. 4).

**Процедура самонастроювання регулятора.** Оскільки в результаті поетапної типової ідентифікації були отримані параметри моделі ОУ та є імітаційна модель САУ, що розглядається, то можна провести параметричну оптимізацію регулятора в цій системі. При цьому, вважаючи, що  $\vec{b} = \{k_\delta, T_\zeta, \tau_0\}$  в

$h_{y^a y}^{\text{in}}(t)$  аргументи, розв'язується чисельними методами *оптимізаційна задача 4*.

Основу алгоритму адаптації становить послідовність оптимізаційних задач. Ілюстрація порядку й сутності їхнього виконання представлена на рис. 4. На підставі отриманих даних виконується розрахунок і установка нових оптимальних параметрів регулятора.



**Рис. 4 — Ілюстрація послідовності виконання оптимізаційних задач у процедурі налаштування регулятора**

**Література**

1. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. – М.: Энергия, – 1973. – 440с.
2. Хобин В.А., Жигайло А.М. Расширение метода типовой статистической идентификации на модели объектов с запаздыванием. Автоматизация технологичних і бізнес-процесів. – Одеса, 2011. – № 2. – С. 27 – 32.
3. Хобин В.А., Парамонов О.І. Удосконалення систем гарантуючого управління, з метою підвищення ефективності управління об'єктами з обмеженням типа “аварійна ситуація” // Наук. ст. ОДАХТ. М-во освіти України. Вип. 18: Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. – Одеса. – 1998. – С. 195 – 198.
4. Бессонов А.А., Загашвили Ю.В., Маркелов А.С. Методы и средства идентификации динамических объектов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.