

Кутя В.М., асистент, Гусарук В.В., ст. 4 курсу ФПМ і КІС

(Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З ВИПЕРЕДЖУВАЧЕМ СМІТА

Розглянуто питання доцільності застосування САР з випереджувачем Сміта для об'єктів зі значним запізненням. Наведено аналіз впливу параметрів об'єкта на якість регулювання і запропоновано структуру адаптивної системи для автоматичного визначення часу запізнення.

Ключові слова: САР, випереджувач Сміта, показники якості.

Рассмотрен вопрос целесообразности применения САР с упредителем Смита для объектов с запаздыванием. Приведен анализ влияния параметров объекта на качество регулирования и предложена структура адаптивной системы для автоматического определения времени запаздывания.

Ключевые слова: САР, упредитель Смита, показатели качества.

The problem of expedience of automated control systems with the Smith predictor for processes with long time delays was considered. The analysis of process' parameters influence on regulation's quality is shown and a structure of adaptive system for automatic determination of the delay time value is proposed.

Keywords: ACS, Smith predictor, quality rates.

У практиці автоматизації технологічних процесів в енергетиці, металургії, хімії, промислового комплексі та ряді інших галузей часто доводиться вирішувати завдання управління об'єктами зі значним транспортним запізненням. Часові затримки (тобто запізнення) призводять до того, що інформація про перебіг процесу надходить до регулятора пізніше, ніж це потрібно, що може призвести до втрати стійкості замкнутої системи регулювання. Складність управління об'єктами з часовими затримками характеризується відношенням величини запізнення до сталої часу об'єкта.

Підвищити якість керування таким об'єктом можна двома способами: зменшити запізнення в об'єкті шляхом зміни конструкції об'єкта або застосувати більш складні структури систем управління, що дозволяють зменшити негативний вплив запізнення. До таких структур відносяться системи автоматичного регулювання (САР) з випереджувачем Сміта [1, 2]. Його рекомендується застосовувати при відношенні

$$\frac{\tau}{\tau + T} = (0,2 \dots 0,5),$$

де τ – час запізнення об'єкта, T – стала часу об'єкта.

Однак, для управління об'єктами із запізненням найчастіше застосовують традиційні ПІД-регулятори, що не завжди забезпечує задану якість регулювання.

Випереджувач (предиктор) Сміта містить додатковий контур зворотного зв'язку з блоком моделювання, в якому міститься модель об'єкта із запізненням, а також модель об'єкта без запізнення (рис. 1). Еквівалентні структури САР з випереджувачем Сміта розглянуто в ряді робіт [2-4].

Регулюючий вплив в САР з випереджувачем Сміта розраховують за формулою [1]

$$U = K \cdot \varepsilon(t) + \frac{K}{T_i} \int \varepsilon(t) dt - \frac{1}{T_i} \int (u(t) - u(t - \tau)) dt,$$

де K – коефіцієнт підсилення; T_i – стала часу інтегрування;

$\varepsilon(t)$ – розузгодження; τ – запізнення.

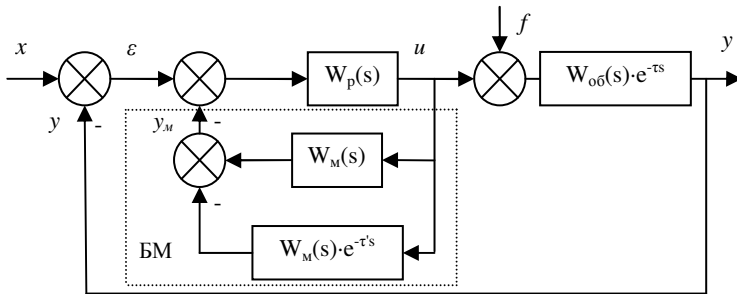


Рис. 1. Структура САР з випереджувачем Сміта:

x – завдання; ε – розузгодження; u – регулюючий вплив; f – збурення; y – значення регульованої величини; $W_p(s)$ – передаточна функція регулятора; $W_{об}(s) \cdot e^{-\tau s}$ – передаточна функція об'єкта регулювання; $W_m(s)$ – передаточна функція моделі об'єкта

Таким чином, на виході з блоку моделювання отримуємо сигнал такий самий, який згодом з'явиться на виході з системи, і подаємо його на вхід регулятора доки не з'явиться сигнал від головного зворотного зв'язку.

САР з випереджувачем Сміта не набули значного поширення, оскільки їхня реалізація є дещо складнішою, ніж САР з ПІД-регулятором, та потребує точної ідентифікації об'єкта регулювання. Найвища якість регулювання досягається при тотожній рівності передаточних функцій моделі (що міститься у предикторі Сміта) і реального об'єкта регулювання

$$W_M(s)e^{-\tau's} = W_{об}(s)e^{-\tau's}$$

З метою виявлення переваг і недоліків традиційного ПІД-регулятора у порівнянні з ПІ-регулятором з випереджувачем Сміта для САР об'єкта із запізненням було проведено моделювання в програмному пакеті Simulink середовища Matlab. Структурні схеми досліджуваних САР наведені на рис. 2, 3. Для дослідження САР з випереджувачем Сміта обрали ПІ-регулятор, оскільки він простіший у налаштуванні, ніж ПІД-регулятор, та забезпечує високу точність регулювання, а предиктор Сміта – компенсацію запізнення.

Для проведення досліджень використаємо модель об'єкта з передаточною функцією

$$W(s) = \frac{0,5}{350s+1}e^{-300s}, \quad \text{тоді} \quad \frac{\tau}{\tau+T} = \frac{300}{300+350} = 0,46.$$

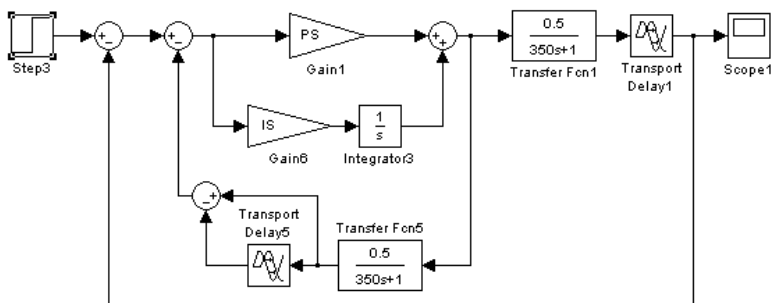


Рис. 2. Структурна схема досліджуваної САР з ПІ-регулятором та випереджувачем Сміта в програмному додатку Simulink

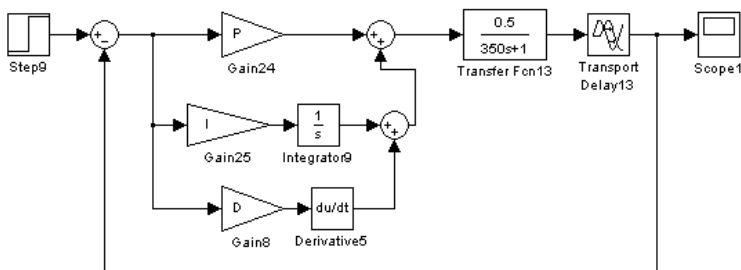


Рис. 3. Структурна схема досліджуваної САР з ПІД-регулятором в програмному додатку Simulink

У процесі дослідження були підібрані оптимальні налаштування випереджувача Сміта та ПІД-регулятора для САР даного об'єкта, перехідні характеристики яких наведені на рис. 4 (відповідно 1, 2).

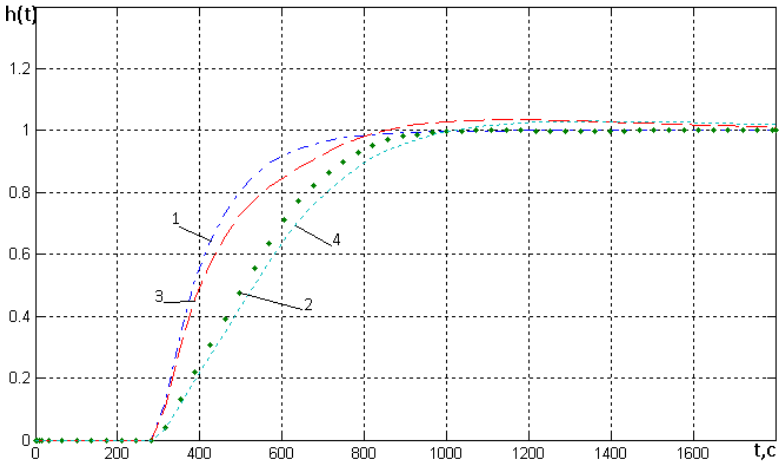


Рис. 4. Перехідні характеристики САР зі збільшеною сталою часу об'єкта $T=1,15 \cdot T_0$

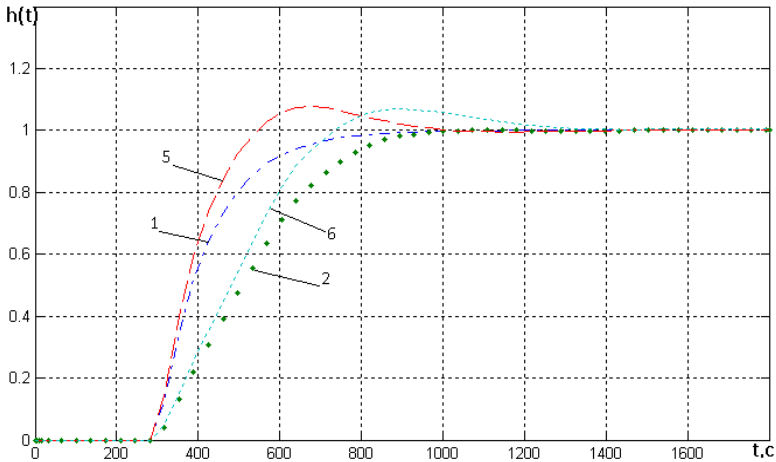


Рис. 5. Перехідні характеристики САР зі збільшеним коефіцієнтом передачі об'єкта $K=1,15 \cdot K_0$

Коефіцієнти налаштування ПД-регулятора: $K_p=1,7999$, $K_i=0,0038$, $K_d=134,1188$. Коефіцієнти налаштування ПІ-регулятора з випереджувачем Сміта: $K_p=5,8526$, $K_i=0,0168$.

Також було проведене дослідження на робастність шляхом збільшення сталої часу об'єкта на 15% (на рис. 4: предиктор Сміта – графік 3, ПД-регулятор – графік 4); шляхом збільшення коефіцієнта передачі об'єкта на

15% (на рис. 5: предиктор Сміта – графік 5, ПІД-регулятор – графік 6); шляхом внесення збурення в об'єкт, що рівне 15% від завдання (на рис. 6: предиктор Сміта – графік 7, ПІД-регулятор – графік 8).

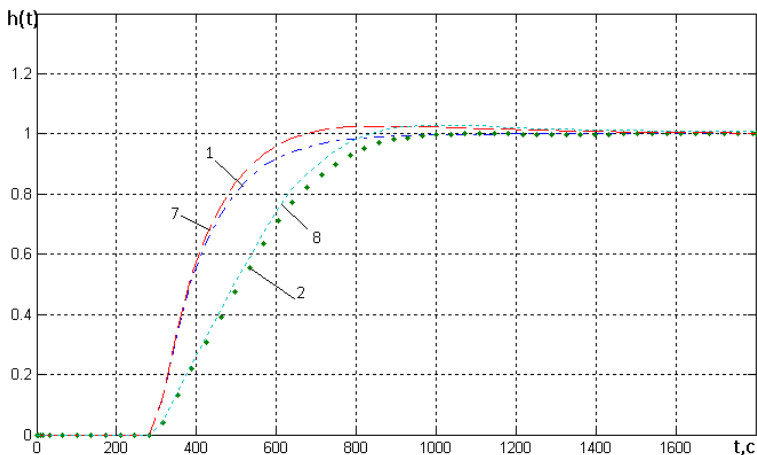


Рис. 6. Перехідні характеристики САР зі збуренням

Показники якості регулювання для САР з ПІД-регулятором та випереджувачем Сміта при різних значеннях параметрів об'єкта наведені в таблиці (t_p – час регулювання, σ – перерегулювання). Усталена похибка у всіх перехідних процесах відсутня.

При дослідженні САР з випереджувачем Сміта та ПІД-регулятором на робастність та зі збуренням виявили, що перерегулювання, яке виникає в процесі роботи цих систем, майже не відрізняється, натомість час регулювання в САР з випереджувачем Сміта значно менший, що є великою перевагою.

Слід зауважити, що якість регулювання в САР з випереджувачем Сміта суттєво залежить від точності ідентифікації моделі об'єкта.

Як видно з результатів моделювання, зміна сталої часу та коефіцієнта передачі об'єкта дещо погіршує показники якості САР з предиктором Сміта, але вони залишаються задовільними. Проте, зміна реального часу запізнення об'єкта, порівняно з тим, що закладений у моделі випереджувача Сміта призводить до суттєвого погіршення якості регулювання, виникнення коливань та може призвести до втрати стійкості системи. Тому необхідно застосовувати адаптивні САР (рис. 7), що містять блок адаптації (БА) для автоматичного визначення часу запізнення та вносять відповідну корекцію в модель об'єкта регулювання.

Алгоритми роботи блока адаптації можуть мати різну складність [5], але їх практична реалізація не становить особливих труднощів з урахуванням обчислювальних потужностей сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації.

Показники якості САР

Таблиця

| Показники якості | ПІД-регулятор | | Випереджувач Сміта | |
|------------------------------|---------------|--------------|--------------------|--------------|
| | t_p, c | $\sigma, \%$ | t_p, c | $\sigma, \%$ |
| Початкова модель об'єкта | 813 | 0 | 658 | 0 |
| Модель об'єкта з $T=1,15T_0$ | 880 | 3 | 739 | 3,6 |
| Модель об'єкта з $K=1,15K_0$ | 687 | 7 | 510 | 8 |
| Модель об'єкта зі збуренням | 755 | 3 | 588 | 2,7 |

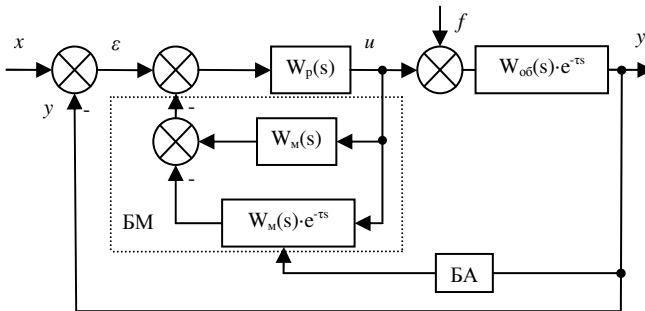


Рис. 7. Структура адаптивної САР з випереджувачем Сміта

Отже, з результатів моделювання видно, що випереджувач Сміта значно ефективніший, ніж ПІД-регулятор для САР об'єктом із запізненням.

Однак, налаштування параметрів випереджувача Сміта є складнішим, ніж ПІД-регулятора, оскільки потрібно налаштувати п'ять параметрів: параметри ПІ-регулятора (K , T_i) та параметри моделі об'єкта (K_0 , T_0 і τ). Це і є основною причиною того, що САР з випереджувачем Сміта не набули значного поширення. Отже, в протилежному випадку використання випереджувача Сміта не рекомендується, а потрібно застосовувати модифіковані регулятори з контуром оптимізації та адаптації.

1. Saravanakumar G., WahidhaBanu R. S. D., George V. I. Robustness and performance of modified smith predictors for processes with longer dead-times //ACSE Journal. – Vol. (6), Issue (3), Oct. – 2006. – P. 41-46.
2. Smith O. J. M. Close Control of Loops with Dead Time // Chemical Engineering Progress. – Vol. 53. – 1957. – P. 217-219.
3. Гурецький Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М. : Машиностроение, 1974. – 328 с.
4. Ермолович Д. А., Мовчан А. П. Управление объектами с большим запаздыванием [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.rusnauka.com/12_ENXXI_2010/Tecnic/64945.doc.htm.
5. Veronesi M. Performance Improvement of Smith Predictor through Automatic Computation of Dead Time // Yokogawa Technical Report English Edition. – No. 3. – 2003. – P. 25-30.

Рецензент: д.т.н., професор Власюк А.П. (НУВГП)