

УДК 62-503.57

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ІНЕРЦІЙНИМИ КВАЗІСТАЦІОНАРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Шпарук Б.О., Поліщук І.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Досліджено особливості роботи бойлерного цеху заводу Енергія. Досліджено роботу системи автоматичного регулювання температури води після водо-водяного теплообмінника. Досліджено способи регулювання температури води після водо-водяного теплообмінника. Досліджено основні проблеми регулювання температури води після водо-водяного теплообмінника. Досліджена робота адаптивного коригуючого пристрою з амплітудним подавленням.

Ключові слова: цех, температура, система автоматичного регулювання, адаптивний пристрій, інерційний квазістаціонарний об'єкт.

Постановка проблеми. В даний час у виробництві використовуються різні технологічні процеси, які характеризуються складністю і високими вимогами до точності автоматичного регулювання технологічних параметрів. Аналіз основних технологічних процесів сучасного виробництва виявив, що найпоширенішим регульованим параметром є температура. Поряд з великим поширенням теплових об'єктів в промисловості, даний клас об'єктів є одним з найскладніших в управлінні. Наприклад, внаслідок інерційності теплових об'єктів, при автоматичному регулюванні температури виникають затяжні перехідні процеси і великі амплітуди перерегулювання. Крім того, в процесі експлуатації параметри об'єкту управління змінюються, оскільки змінюється питома теплоємність стінки трубки теплообмінника. Основними зовнішніми збуреннями являється зміна температури теплоносія і навколишнього середовища.

Аналіз сучасних промислових регуляторів виявив, що в більшості виробничих випадків використовуються пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори [1, 2]. Основним недоліком таких регуляторів є необхідність налаштування ПІД-коефіцієнтів. Оскільки в реальних умовах вплив промислових перешкод негативно впливає на процес обрахунку похідної, то як правило Д-складова ПІД-регулятора дорівнює 0, що відповідає ПІ-закону регулювання. Тому для досліджень будемо використовувати ПІ-регулятор. Сучасні промислові регулятори мають вбудовану функцію автоналаштування, яка автоматично визначає значення коефіцієнтів. Недоліком автоналаштування є велика тривалість процесу обчислень. Крім того, автоналаштування регулятора дозволяє забезпечити працездатність системи регулювання лише у вузькому діапазоні регулювання.

Застосування існуючих імпульсних регуляторів температури при управлінні інерційними тепловими об'єктами характеризується коливальними процесами з великими амплітудами перерегулювання.

Необхідну якість процесу автоматичного регулювання забезпечується, як правило, коректними налаштуваннями регулятора. Незважаючи на велику кількість промислових регуляторів, що реалізують автоматичне налаштування, залишається багато невирішених проблем, пов'язаних з якістю налаштування, зміною параметрів об'єкта управління та зовнішніх збурень в процесі ідентифікації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При дослідженні системи автоматичного регулювання температури води після водо-водяного теплообмінника були експериментально зняті розгінні характеристики, з яких методом апроксимації площин n-го порядку було отримано передатну функцію типу:

$$W(p) = \left(\frac{K_1}{T_1 p + 1} \right) \left(\frac{1 - K_2 e^{-\tau p}}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} \right) \left(\frac{1}{T_4 p + 1} \right)$$

де $K_1=1.334$, $K_2=0.7$, $T_1=0.27$, $T_2=45$, $T_3=10$, $T_4=1.11$;

Внутрішніми збуреннями об'єкта управління являються зміни: питомої теплоємності стінки трубки теплообмінника. Основними зовнішніми збуреннями являється зміна температури теплоносія і навколишнього середовища. Ці параметри входять в значення постійних часу T_2 і T_3 передатної функції теплообмінника.

Для регулювання температури після водо-водяного теплообмінника застосовуються наступні схеми регулювання: одноконтурна, каскадна, з використанням демпфера. Проаналізуємо роботу кожної

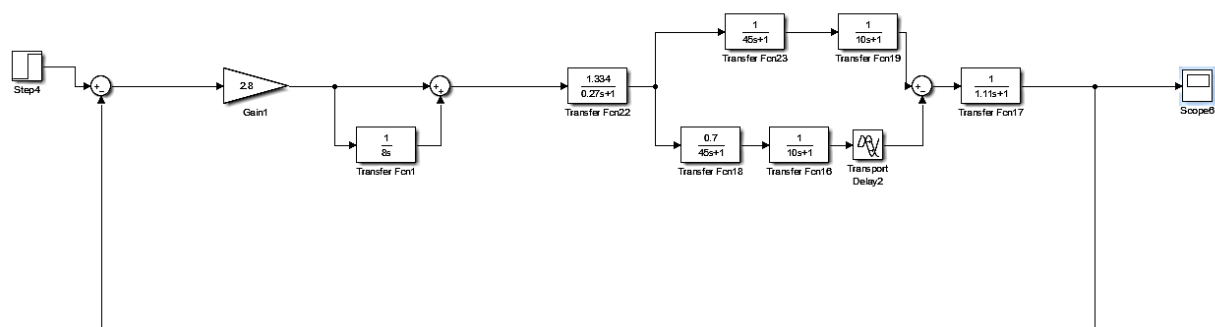


Рис. 1. Модель одноконтурної САР температури води на виході з водо-водяного теплообмінника

з них, при цьому застосуємо методику розширеної амплітудно-фазової характеристики (РАФХ), для розрахунку налаштувань ПІ-регулятора.

Використання одноконтурної схеми регулювання

Для одноконтурної схеми параметри ПІ-регулятора мають наступні значення:

$$W(p) = 2.8 * (1 + \frac{1}{8p});$$

Для аналізу роботи системи була створена модель САР температури води на виході з водо-водяного теплообмінника, складена в середовищі Matlab (Simulink) рис. 1.

Використання каскадної системи регулювання

Передаточна функція випереджаючого контуру:

$$W(p) = \frac{32 \cdot e^{-4p}}{29p^2 + 10p + 1};$$

Налаштування ПІ регулятора для внутрішнього контуру мають вигляд:

$$W(p) = 0.01575 * (1 + \frac{1}{8.3643p});$$

Зовнішній ПІ-регулятор, має вигляд:

$$W_{\text{зовн.рег.}}(p) = 12.21 * (1 + \frac{1}{23.08p});$$

Використання проміжної ємності

Для підтримання температури в заданому діапазоні, для об'єктів даного типу можливий варіант з використанням проміжної ємності, яка буде виступати в ролі демпфера для даного об'єкту.

Передаточна функція демпфера:

$$W(p) = \frac{1}{500p + 1};$$

На рис. 4 зображені криві перехідного процесу роботи установки в номінальному режимі.

Розглянемо випадок, коли питома теплоємність стінки трубки теплообмінника зменшується на стільки, що значення постійної часу T_2 передаточної функції теплообмінника збільшується-

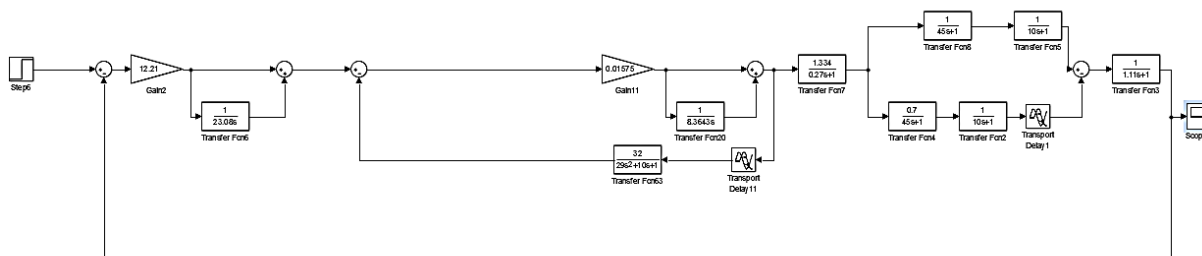


Рис. 2. Модель САР температури води на виході з водо-водяного теплообмінника з використанням каскадної схеми регулювання

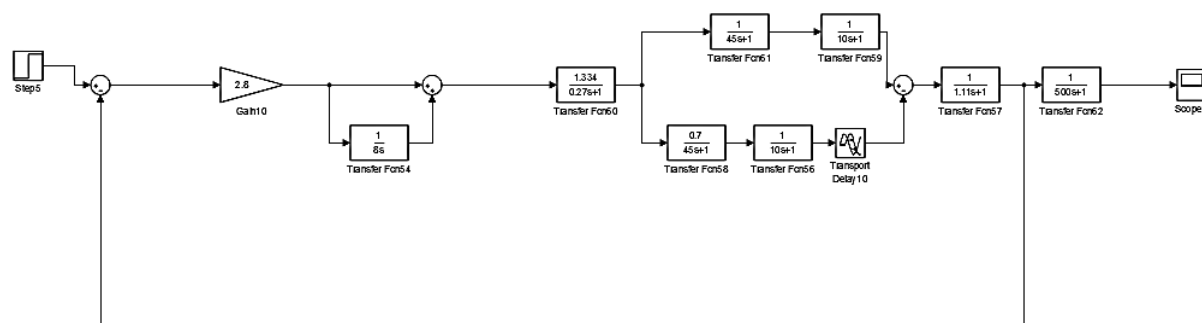


Рис. 3. Модель САР температури води на виході з водо-водяного теплообмінника з використанням схеми регулювання з демпфером

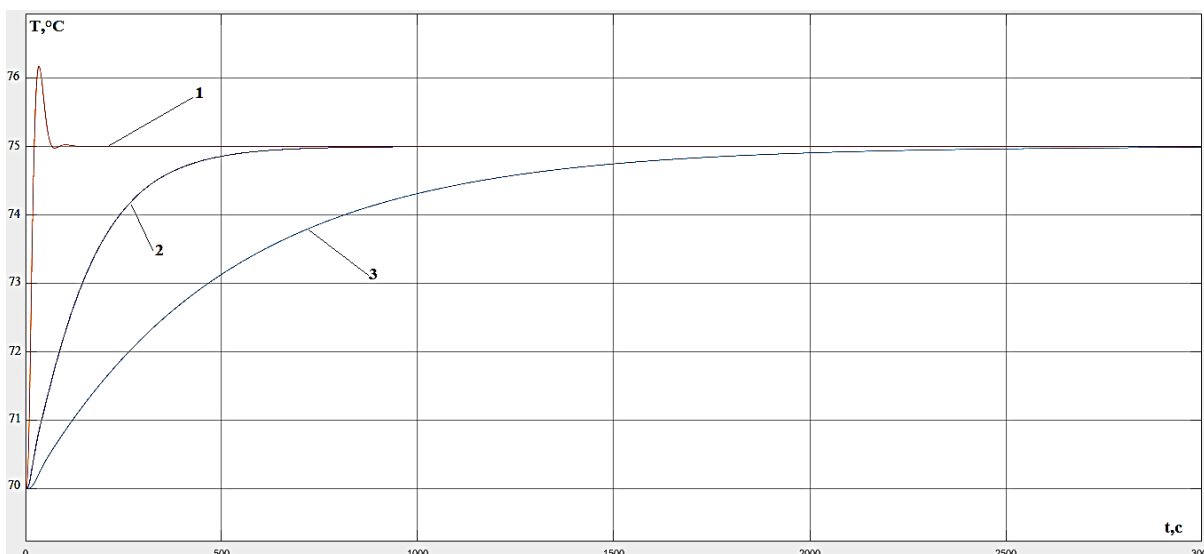


Рис. 4. Перехідні характеристики об'єкта з використанням існуючих схем регулювання (1-одноконтурної, 2-каскадної, 3-схеми з використанням демпфера)

Зміна K_1 :

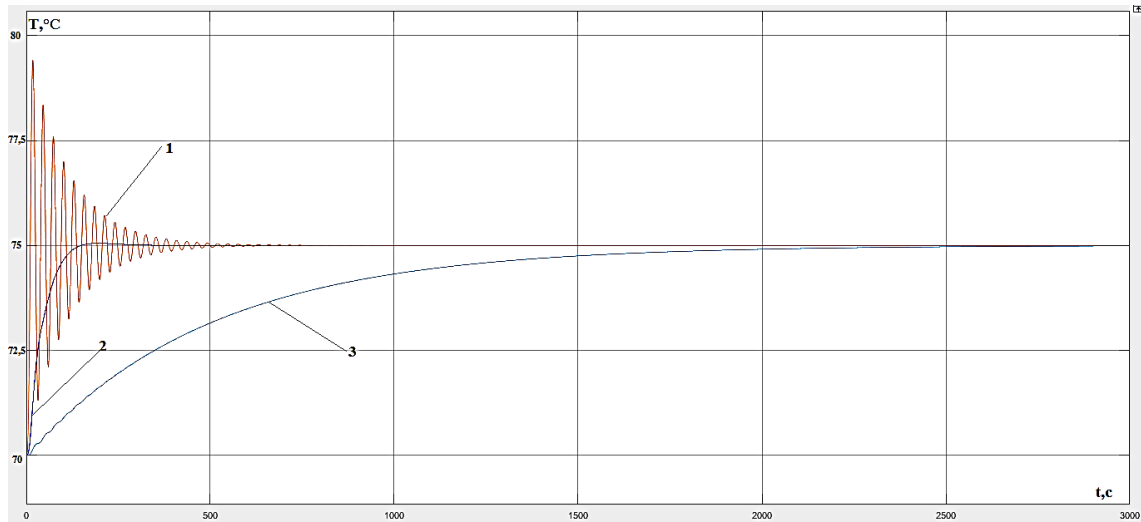


Рис. 5. Перехідні характеристики об'єкта з використанням існуючих схем регулювання при зміні K_1 (1-одноконтурної, 2-каскадної, 3-схеми з використанням демпфера)

Зміна T_1 :

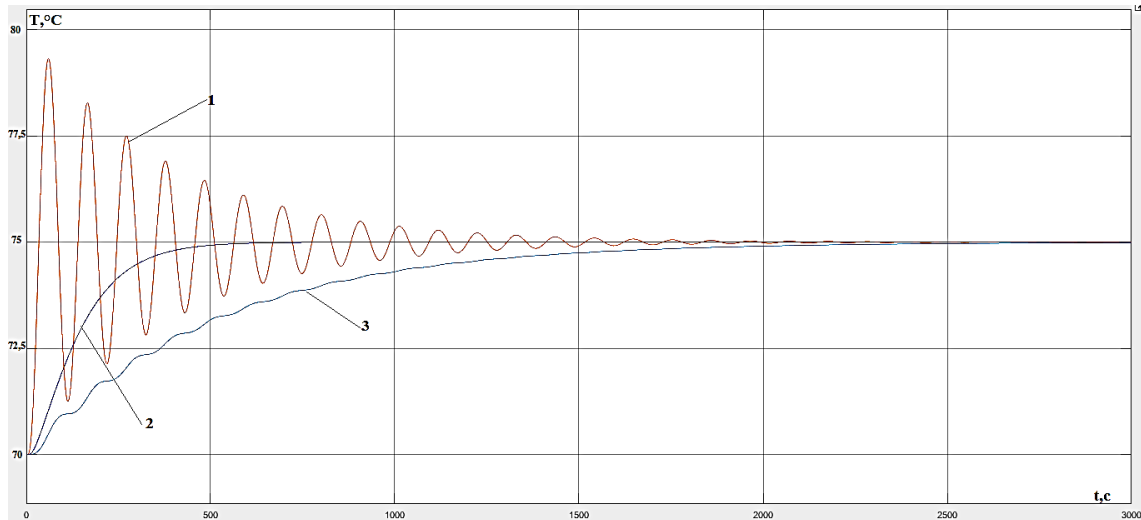


Рис. 6. Перехідні характеристики об'єкта з використанням існуючих схем регулювання при зміні T_1 (1-одноконтурної, 2-каскадної, 3-схеми з використанням демпфера)

Зміна T_2 :

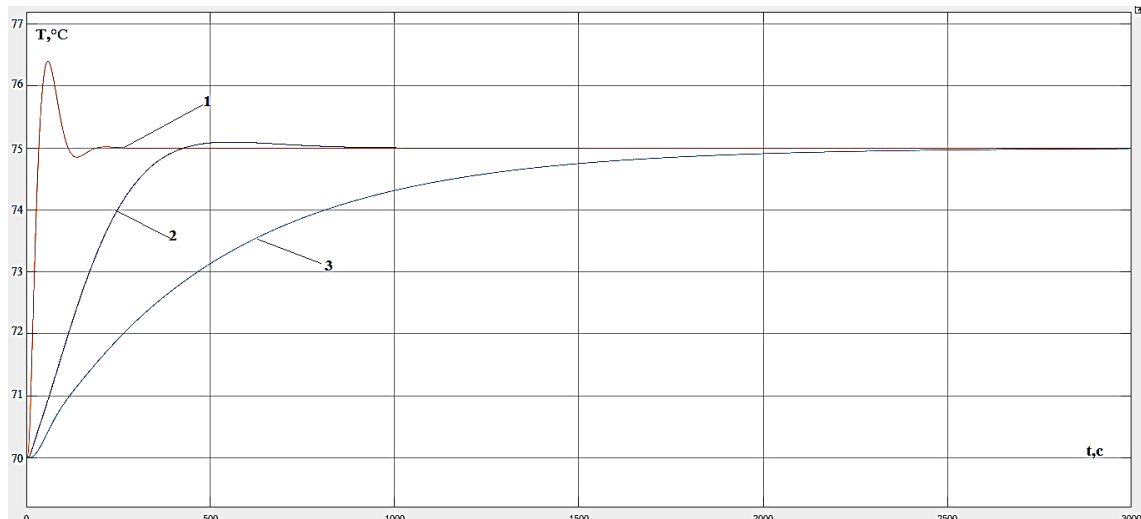


Рис. 7. Перехідні характеристики об'єкта з використанням існуючих схем регулювання при зміні T_2 (1-одноконтурної, 2-каскадної, 3-схеми з використанням демпфера)

ся з 45 до 90 с, T_1 збільшується з 0,27 до 20 с, K_1 збільшується з 1,334 до 5.

Результати досліджень (див. рис. 5-7).

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Аналіз перехідних процесів схем регулювання одноконтурної, каскадної та системи з використанням демпфера показав, що при зміні значення K_1 , T_1 , T_2 , якість САР виявилось незадовільним. А саме:

– Одноконтурна схема регулювання: динамічна похибка $\Delta_{дин} = 4^\circ\text{C}$.

– Каскадна схема регулювання: зтяжний перехідний процес $t_{pez} > 500\text{с}$.

– Схема з використанням демпфера: зтяжний перехідний процес $t_{pez} > 1500\text{с}$, а також складність конструкційної реалізації встановлення.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка нового адаптивного алгоритму регулювання, здатного без безпосередньої участі людини визначати параметри об'єкта, налаштовувати регулятор в процесі роботи і забезпечувати достатню швидкодію системи з високою точністю регулювання, що дозволить підвищити якість оброблених виробів. Дисертаційна робота, спрямована на вирішення зазначених проблем, актуальна в умовах сучасного виробництва. Після дослідження усіх технологічних процесів які відбуваються після водо-водяного теплообмінника, було поставлено задачу підтримки вихідної температури в інтервалі (70-80°C). Це обумовлене тим, що якщо температура буде більша за верхню межу, то виникає можливість гідравлічного удару в трубопроводі, що може призвести до аварійної ситуації. Якщо температура буде менша за нижню межу, то ускладнюється процес видалення газів у деаераторі. Вирішення розгля-

нутих проблем є актуальним в питанні енергозбереження та модернізації систем опалення та гарячого водопостачання.

Виклад основного матеріалу. Для покращення якості регулювання температури і зменшення негативного впливу неконтрольованих збурень і нестационарності об'єкта управління на процес регулювання запропоновано ввести в САР послідовно адаптивний псевдолінійний коригуючий пристрій з амплітудним подавленням [3, 4]. Даний адаптивний коригуючий пристрій збільшує запас стійкості по амплітуді при зміні параметрів об'єкта управління.

На рис. 8 представлена схема САР з адаптивним псевдолінійним коригуючим пристроєм з амплітудним подавленням (g – заданий вплив системи регулювання; ε , ε_1 – вхідний і вихідний сигнали коригуючого пристрою; u – управляючий вплив; y – вихід об'єкта управління; КП – псевдолінійний коригуючий пристрій з амплітудним подавленням; БН – блок налаштування псевдолінійного коригуючого пристрою; БАЯ – блок аналізу якості системи; ГПС – генератор пробного сигналу; z – вплив збурення; q – параметр, що характеризує нестационарність об'єкта управління; T – постійна часу об'єкта управління; I – критерій якості системи; S_1 , S_2 – сигнал запуску (зупинки) генератора пробного сигналу).

Спосіб адаптації запропонованої САР характеризується тим, що в процесі роботи системи регулювання параметри ПІ-регулятора не змінюються і відповідають налаштуванню, попереднього запуску системи в роботу. Коректор змінює запас стійкості по амплітуді в залежності від зміни параметрів об'єкта. Ці зміни відбуваються тільки в тих випадках, коли якість регулювання

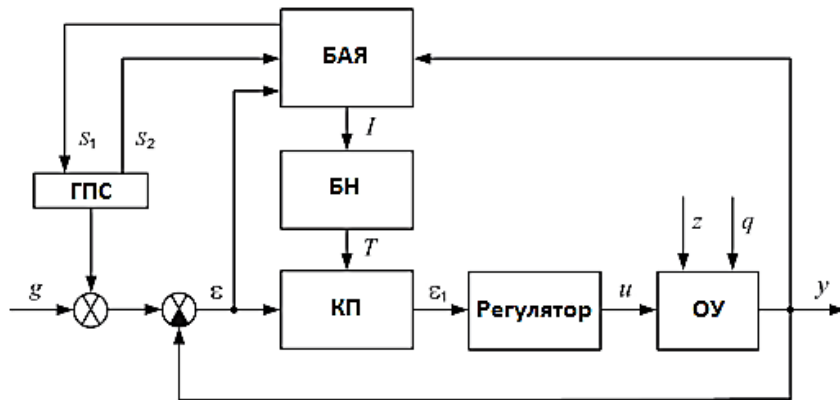


Рис. 8. Схема системи автоматичного регулювання з адаптивним псевдолінійним коригуючим пристроєм з амплітудним подавленням

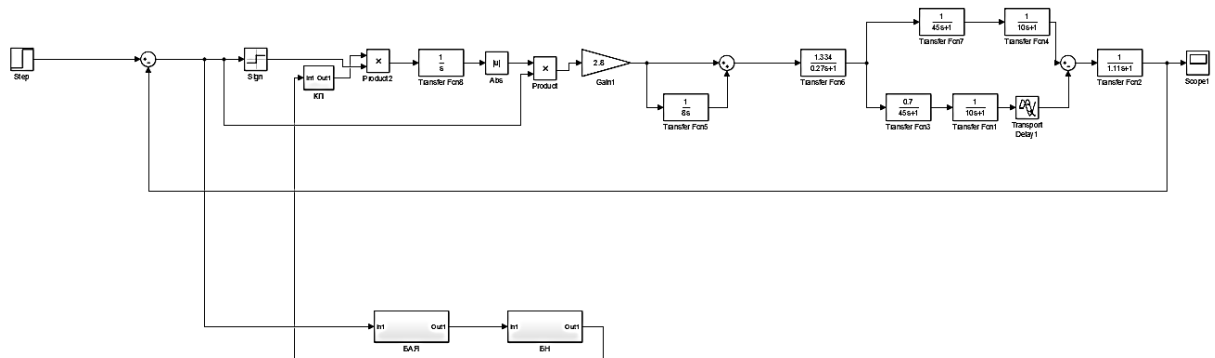


Рис. 9. Схема системи автоматичного регулювання з адаптивним псевдолінійним коригуючим пристроєм з амплітудним подавленням в середовищі Matlab (Simulink)

САР стає незадовільною, а саме динамічне відхилення більше, ніж 20%. Це дозволяє забезпечити стійкість системи і підвищити якість управління.

Робота адаптивної САР здійснюється наступним чином [1]. При першому запуску системи в роботу в сталому режимі ГПС подає в САР прямокутний пробний імпульс, амплітуда якого дорівнює значенню сигналу завдання. Після подачі пробного імпульсу в блоці БАЯ визначається оцінка критерію якості системи за час тривалості пробного імпульсу. Критерієм якості системи є інтегральний критерій, який має вигляд:

$$I_1 = \int_{t_1}^{t_2} |\varepsilon(t)| dt,$$

де ε – помилка регулювання.

Обчислена оцінка критерію якості запам'ятовується в блоці БН в якості еталонної оцінки. Через певний проміжок часу ГПС знову подає в систему прямокутний пробний імпульс, потім БАЯ обчислює оцінку критерію якості САР за час, що дорівнює тривалості пробного імпульсу. Далі поточна оцінка критерію порівнюється з еталонною оцінкою, і по результату порівняння приймається рішення про необхідність підстроювання коригуючого пристрою. Якщо прийнято рішення про підстроювання коригуючого пристрою, то в блоці БН розраховується значення постійної часу T коригуючого пристрою, після чого значення даного параметра надходить в КІП і запам'ятовується в ньому. Діапазон значень постійної часу КІП визначається з урахуванням забезпечення стійкості системи та необхідної якості перехідних процесів при зміні параметрів об'єкта керування.

Розглянемо випадок, коли питома теплоємність стінки трубки теплообмінника зменшується на стільки, що значення постійної часу T_2 передаточної функції теплообмінника збільшується з 45 до 90 с, T_1 збільшується з 0,27 до 20 с, K_1 збільшується з 1,334 до 5.

Результати досліджень (див. рис. 11-13)

Висновки і пропозиції. Застосування запропонованого коригуючого засобу дозволило реалізувати адаптивну систему регулювання температури об'єкта з нестационарними параметрами. Експериментальні дослідження показали ефективність запро-

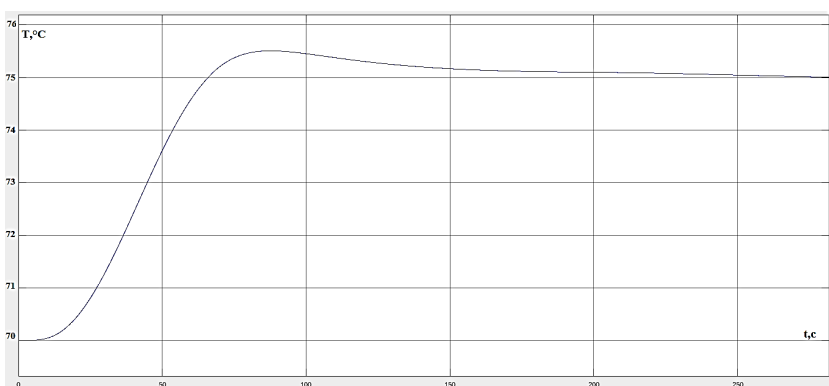


Рис. 10. Перехідна характеристика об'єкта з використанням коригуючого пристрою в номінальному режимі

Зміна K_1 :

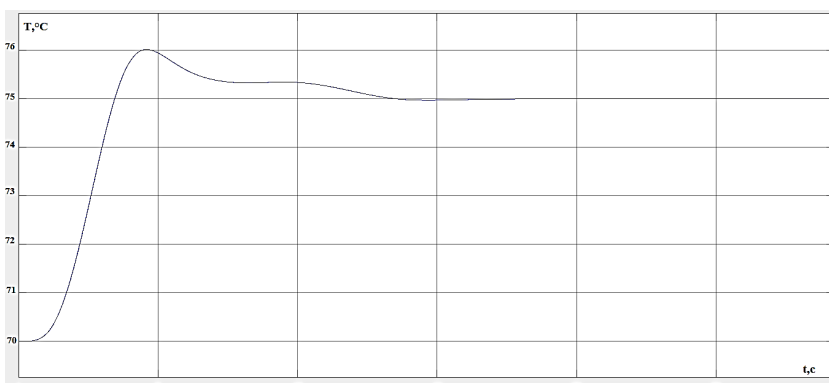


Рис. 11. Перехідна характеристика об'єкта з використанням коригуючого пристрою при зміні K_1

Зміна T_1 :

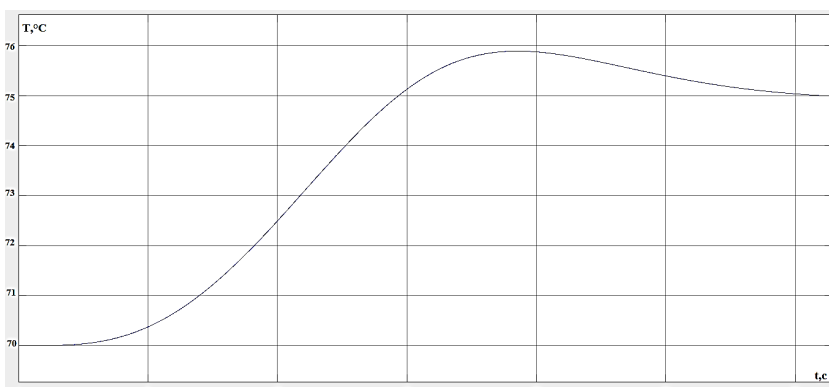


Рис. 12. Перехідні характеристики об'єкта з використанням коригуючого пристрою при зміні T_1

Зміна T_2 :

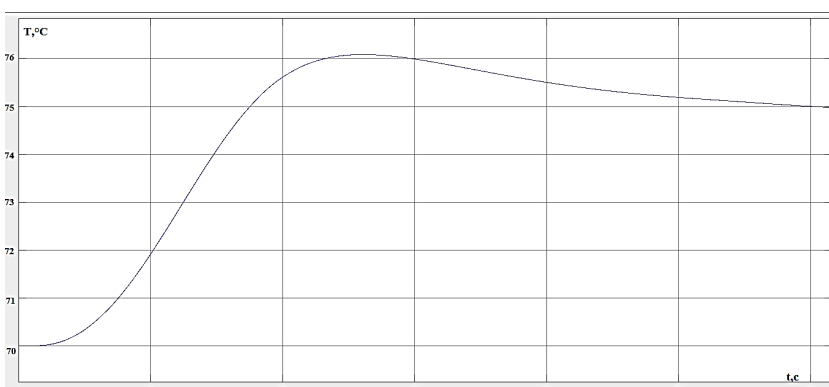


Рис. 13. Перехідні характеристики об'єкта з використанням коригуючого пристрою при зміні T_2

понованої адаптивної системи регулювання при зміні параметрів об'єкта управління з плином часу і відповідність вимогам до перехідного процесу (динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}} < 1,1^\circ\text{C}$, тривалість перехідного процесу значно менша в порівнянні з

існуючими схемами регулювання $t_{\text{рег}} < 320$ с). Коригуючий засіб можна додавати в діючі системи регулювання на базі мікропроцесорів без додаткових затрат на апаратну частину, що дозволить збільшити якість регулювання.

Список літератури:

1. Солдатов В.В., Ухаров П.Е. Адаптивная настройка систем управления с ПИД регуляторами в условиях информационной неопределенности // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 8. – С. 16-20.
2. Штейнберг Ш.Е., Залуцкий И.Е., Серезин Л.П., Варламов И.Г. Настройка и адаптация автоматических регуляторов. Инструментальный комплект программ // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – № 10. – С. 43-47.
3. Скороспешкин М.В. Адаптивные псевдолинейные корректоры динамических характеристик систем автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. № 7. – С. 172-176.
4. Скороспешкин М.В., Цапко Г.П. Адаптивный корректор динамических характеристик систем автоматического регулирования // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Труды XII Междунар. научно-технич. конф. студентов и аспирантов. – Т. 1. – М.: МЭИ, 2006. – С. 498-499.

Шпарук Б.А., Полищук И.А.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫМИ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация

Исследованы особенности работы бойлерного цеха завода Энергия. Исследована работа системы автоматического регулирования температуры воды после водо-водяного теплообменника. Исследованы способы регулирования температуры воды после водо-водяного теплообменника. Исследованы основные проблемы регулирования температуры воды после водо-водяного теплообменника. Исследована работа адаптивного корректирующего устройства с амплитудным подавлением.

Ключевые слова: завод, цех, температура, система автоматического регулирования, адаптивное устройство, инерционный квазистационарный объект.

Shparuk B.O., Polishchuk I.A.

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ADAPTIVE CONTROL OF INERTIAL QUASI-STATIC ELEMENTS

Summary

Investigated the working peculiarities of heating-water converter plant of «Energy» factory. Investigated the working of automatic temperature control system of water after water-to-water heat exchanger. Investigated the methods of water temperature control after water-to-water heat exchanger. Investigated the main problems of water temperature control after water-to-water heat exchanger. Investigated the working of an adaptive compensating device with an amplitude quenching.

Keywords: power plant, installation, temperature, automatic control system, adaptive element, inertial quasi-static element.