



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **150609** (13) **U**
(51) МПК (2022.01)
G05B 11/00
G05B 11/01 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 04157	(72) Винахідник(и): Ніколаєнко Анатолій Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.07.2021	(73) Володілець (володільці): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 10.03.2022	пр. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006 (UA)
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 09.03.2022, Бюл.№ 10	

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ АСТАТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З ТРАНСПОРТНИМ ЗАПІЗНЮВАННЯМ**(57) Реферат:**

Спосіб автоматичного регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням включає регулювання за ПІ-законом і нелінійну корекцію в установлений час максимально допустимого коефіцієнта передачі регулятора для даного об'єкта автоматизації. Коефіцієнт передачі регулятора після зміни його структури розраховують за формулою $K_{p2} \frac{(\tau/T)^{1.02}}{1.89\tau}$, час зміни

структури ПІ-регулятора - за формулою $t_{зм} = \frac{1.89\tau}{(K_{p1}/K_{p2})^{0.52}} - \tau$, а час ізодрому - за формулою

$T_{із} = \frac{t_{зм} \cdot T \cdot (\tau/T)^{0.96}}{0.32 \cdot \tau}$, де τ - величина транспортного запізнювання; T - умовна постійна часу

астатичного об'єкта автоматизації; $t_{зм}$ - час змінення структури регулятора; K_{p1} - коефіцієнт передачі регулятора до зміни його структури $T_{із}$ - час ізодрому регулятора.

UA 150609 U

UA 150609 U

Корисна модель належить до області автоматизації і може бути використана в металургії для регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням.

Відомий спосіб автоматичного регулювання астатичного об'єкта [Патент РФ № 2103714, 27.01.1998], в якому для регулювання використовують ПІ-регулятор з керованими інтегратором і фазовипереджувальним фільтром вхідного сигналу, робота яких коригується при формуванні сигналу керування за логічними співвідношеннями знаків помилки вихідного сигналу керованого інтегратора, швидкості задаючого сигналу та різниці швидкостей задаючого сигналу і помилки.

Недоліком способу є те, що синтез алгоритму управління і розрахунок настроювальних параметрів здійснюється на основі методів аналітичного конструювання регулятора, що досить складно і незручно в інженерній практиці.

Найбільш близьким за сукупністю ознак до способу, що заявляється, є спосіб автоматичного регулювання рівня шихти в проміжному бункері агломашини [В.И. Гранковский и др. Исследования динамических свойств САУ уровня шихты в промежуточном бункере агломашины. Механизация и автоматизация производства. 1977, № 9, с. 33-34], який належить до астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням. Відповідно до цього способу система автоматичного регулювання забезпечує підтримку заданого значення рівня за ПІ-законом шляхом зміни продуктивності живильника шихти приймального бункера. Для підвищення якості регулювання регулятор має змінну структуру. При відхиленні рівня від заданого значення більше встановленого порогу спрацьовує перемикальний пристрій і в системі автоматизації встановлюється коефіцієнт передачі регулятора, який забезпечує компенсацію більшої частини відхилення рівня. Через встановлений час після початку перехідного процесу коефіцієнт передачі регулятора ступінчасто зменшується до величини, що забезпечує разом з інтегральною настройкою задану якість регулювання.

Недоліками цього способу є неможливість визначення настройок регулятора і часу зміни його структури залежно від властивостей об'єкта автоматизації. Він також не може використовуватися при регулюванні інших астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки способу автоматичного регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням, в якому за рахунок використання нової послідовності операцій забезпечується якісне регулювання за будь-якими динамічними характеристиками об'єкта автоматизації.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі автоматичного регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням, що включає регулювання за ПІ-законом і нелінійну корекцію в установлений час максимально допустимого коефіцієнта передачі регулятора для даного об'єкта автоматизації, згідно з корисною моделлю коефіцієнт передачі регулятора після зміни його структури розраховують за формулою

регулятора - за формулою $t_{зм} = \frac{1,89\tau}{(K_{p1}/K_{p2})^{0,52}}$, а час ізодрому - за формулою

$T_{із} = \frac{t_{зм} \cdot T \cdot (\tau/T)^{0,96}}{0,32 \cdot \tau}$, де τ - величина транспортного запізнювання; T - умовна постійна часу

астатичного об'єкта автоматизації; $t_{зм}$ - час змінення структури регулятора; K_{p1} - коефіцієнт передачі регулятора до зміни його структури; $T_{із}$ - час ізодрому регулятора.

Спосіб здійснюється за допомогою системи автоматичного регулювання, структурна схема якої приведена на фіг. 1. Астатичний об'єкт з транспортним запізнюванням і регулятор представлені передавальними функціями $W_{об(p)}$ і $W_{р(p)}$, відповідно, а обчислювальний пристрій регулювального приладу показаний як О.П. Перед вмиканням в роботу системи автоматичного регулювання в обчислювальний пристрій вводять значення транспортного запізнювання, умовної постійної часу астатичного об'єкта та максимально допустимого коефіцієнта передачі регулятора для даного об'єкта. За величинами цих параметрів обчислювальний пристрій О.П., використовуючи формули:

$$K_{p2} = \frac{0,56}{(\tau/T)^{1,02}}, \quad (1)$$

$$t_{3M} = \frac{189\tau}{(K_{p1}/K_{p2})^{0.52}} - \tau, \quad (2)$$

$$T_{i3} = \frac{t_{3M} \cdot T \cdot (\tau/T)^{0.96}}{0.32 \cdot \tau}, \quad (3)$$

розраховує коефіцієнт передачі регулятора після зміни його структури K_{p2} , час змінення структури t_{3M} , час ізодрому регулятора T_{i3} і переводить процес регулювання в автоматичний режим. Внаслідок таких настройок система автоматичного регулювання забезпечує перехідний процес з мінімальним динамічним відхиленням і тривалістю не більше чотирьох транспортних запізнювань на астатичних об'єктах автоматизації з будь-якими динамічними характеристиками.

Астатичний об'єкт регулювання з транспортним запізнюванням описується передавальною функцією $W_{об(р)} = \frac{K_p}{T_p(T_1 p + 1)}$, а рівняння синтезованого закону управління, що реалізує

$$y = K_p \left(x + \frac{1}{T_{i3}} \int x dt \right), \quad K_p \begin{cases} K_{p1} & \text{при } t \leq t_{3M} \\ K_{p2} & \text{при } t \geq t_{3M} \end{cases}$$

де τ - транспортне запізнювання, с; T - умовна постійна часу астатичного об'єкта автоматизації, с; $\%x.p.o./од.вим.рег.вел.$; T_1 - постійна часу, що характеризує інерційність об'єкта, с; $K_{p1} > K_{p2}$ - коефіцієнти передачі регулятора до та після зміни його структури, $\%x.p.o./од.вим.рег.вел.$; T_{i3} - час ізодрому регулятора, с; t_{3M} - час змінення структури регулятора, с; x - небаланс поточного і заданого значення регульованої величини, од.вим.рег.вел.; y - керувальний сигнал, $\%x.p.o.$; $\%x.p.o.$ - процент ходу регульовального органу; од.вим.рег.вел. - одиниця вимірювання регульованої величини.

За допомогою ЕОМ проведені дослідження моделі системи автоматичного регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням на базі ПІ-регулятора зі змінною структурою. За різними динамічними характеристиками астатичного об'єкта система автоматичного регулювання настраювалась на перехідний процес з мінімальними динамічним відхиленням і часом регулювання. На підставі одержаних результатів побудовані графіки, за допомогою яких можна визначитися з настройками регулятора, що забезпечують перехідний процес з мінімальним динамічним відхиленням і тривалістю не більше чотирьох транспортних запізнювань. Для цього необхідно за величиною τ/T визначити коефіцієнт підсилення регулятора після зміни структури K_{p2} , фіг. 2. Керуючись знайденим K_{p2} і максимально допустимим коефіцієнтом підсилення регулятора на даному об'єкті K_{p1} , задатися відношенням $K_{p1} > K_{p2}$. За величиною $K_{p1} > K_{p2}$ і часом транспортного запізнювання знайти час змінювання структури регулятора t_{3M} , фіг. 3 і за допомогою знайдених настройок, умовної постійної часу астатичного об'єкта і величини транспортного запізнювання визначити час ізодрому T_{i3} регулятора за відношенням τ/T , фіг. 4.

За математичною апроксимацією графіків, приведених на фіг. 2-4, залежності $K_{p2} = f(\tau/T)$, $(t_{3M} + \tau)/\tau = f(K_{p1}/K_{p2})$, $t_{3M}T/(\tau T_{i3}) = f(\tau/T)$, що отримані експериментально, описуються

$$K_{p2} = \frac{0.56}{(\tau/T)^{1.02}}, \quad (4)$$

$$(t_{3M} + \tau)/\tau = \frac{189}{(K_{p1}/K_{p2})^{0.52}}, \quad (5)$$

$$t_{зм}T / (\tau T_{із}) = \frac{0,32}{(\tau/T)^{0,96}}, \quad (6)$$

За допомогою цих рівнянь і обчислювальних можливостей регулювального пристрою за величинами транспортного запізнювання τ , умовної постійної часу астатичного об'єкта T і максимально допустимого коефіцієнта передачі регулятора K_{p1} на даному об'єкті, можна

5 автоматично розраховувати настроювальні параметри ПІ-регулятора з нелінійною структурою на перехідний процес з мінімальним динамічним відхиленням і тривалістю, яка не перевищує 4τ , на астатичних об'єктах з будь-якими динамічними характеристиками.

Спосіб, що заявляється, був перевірений на прикладі системи автоматичного регулювання рівня шихти у проміжному бункері агломераційної машини, робота якої моделювалась на ЕОМ. На підставі даних про величину транспортного запізнювання $\tau = 90\text{с}$, умовну постійну часу об'єкта регулювання $T = 225\text{с} \times \text{х.р.о./м}$ та максимально допустимий коефіцієнт передачі регулятора $K_{p1} = 8\% \times \text{х.р.о./м}$ за формулами (1), (2), і (3) були розраховані настроювальні параметри ПІ-регулятора $K_{p2} = 1,42\% \times \text{х.р.о./м}$, $T_{із} = 215\text{с}$ і час зміни його структури $t_{зм} = 66\text{с}$. Порівняльні перехідні процеси системи автоматичного регулювання рівня шихти, що отримані за використання типового ПІ-регулятора і ПІ-регулятора зі змінною структурою, приведені на фіг. 5. Як видно з графіків перехідних процесів, якість регулювання за способом, що заявляється, значно краще. Максимальне динамічне відхилення менше на 15 %, а час регулювання - в три рази і не перевищує 4τ .

Таким чином, завдяки запропонованому способу автоматичного регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням, що включає регулювання за ПІ-законом і нелінійну корекцією максимально допустимого коефіцієнта передачі в установлений час, обчислювальний пристрій регулювального приладу на підставі динамічних характеристик астатичного об'єкта автоматизації здійснює розрахунок настроювальних параметрів ПІ-регулятора, який забезпечує якісний перехідний процес з мінімальним динамічним відхиленням і тривалістю не більше чотирьох транспортних запізнювань на астатичних об'єктах з будь-якими динамічними характеристиками.

30 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб автоматичного регулювання астатичних об'єктів з транспортним запізнюванням, що включає регулювання за ПІ-законом і нелінійну корекцією в установлений час максимально допустимого коефіцієнта передачі регулятора для даного об'єкта автоматизації, який

35 **відрізняється** тим, що коефіцієнт передачі регулятора після зміни його структури розраховують за формулою:

$$K_{p2} = \frac{0,56}{(\tau/T)^{1,02}}$$

за формулою: $t_{зм} = \frac{189\tau}{(K_{p1}/K_{p2})^{0,52}} - \tau$, час зміни структури ПІ-регулятора - за формулою:

$$T_{із} = \frac{t_{зм} \cdot T \cdot (\tau/T)^{0,96}}{0,32 \cdot \tau}$$

, а час ізодрому - за формулою: , де τ - величина

транспортного запізнювання; T - умовна постійна часу астатичного об'єкта автоматизації; $t_{зм}$ - час змінення структури регулятора; K_{p1} - коефіцієнт передачі регулятора до зміни його структури $T_{із}$ - час ізодрому регулятора.

40

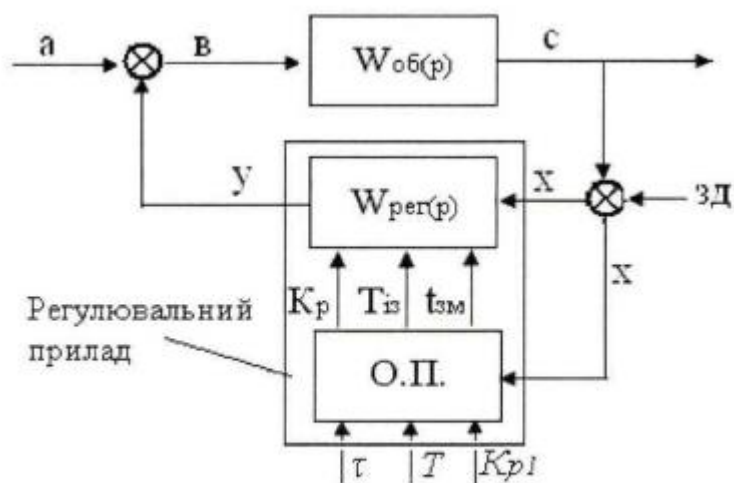


Fig. 1

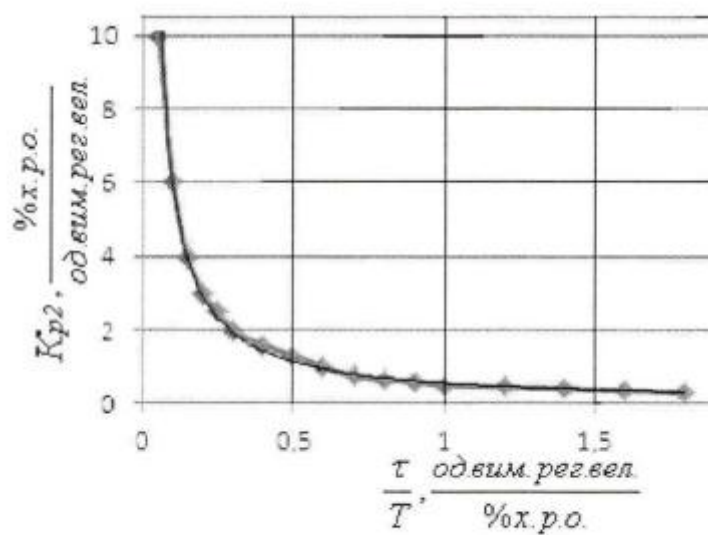


Fig. 2

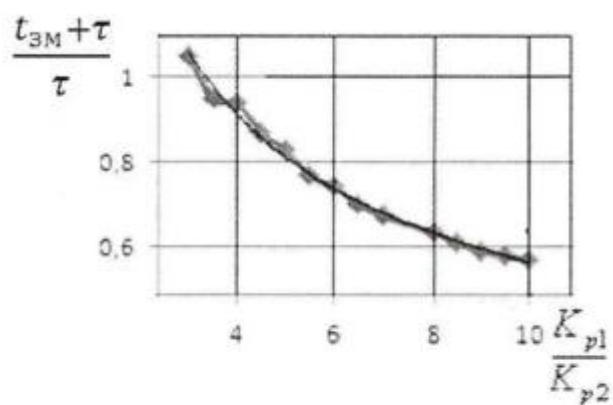


Fig. 3

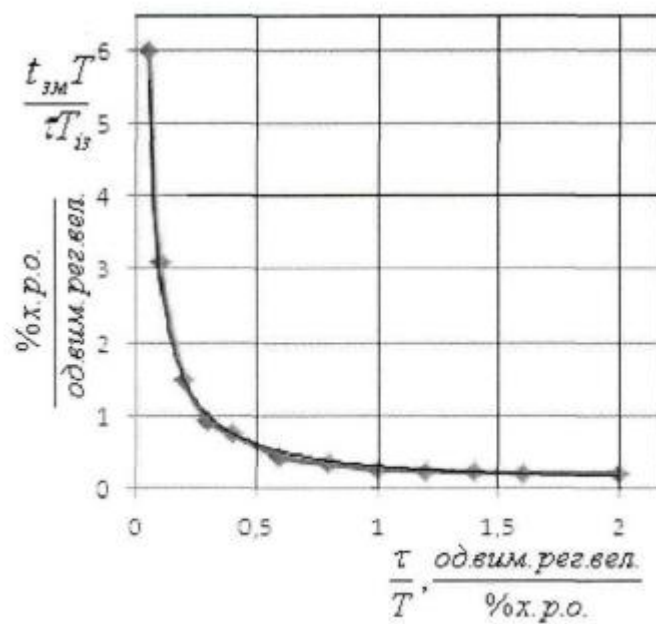


Fig. 4

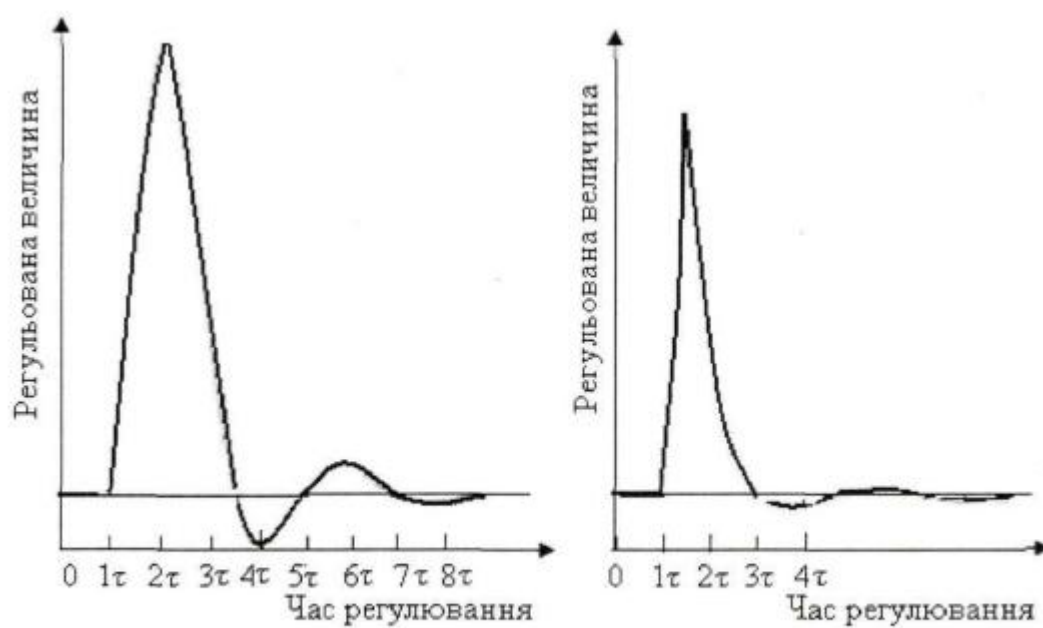


Fig. 5