

УДК (658.012.011.56:681.3):621.771.23-413

Г.Г. ГРАБОВСЬКИЙ*, М.Г. ІЄВЛЄВ**

**ПРЯМЕ ЦИФРОВЕ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

*ДНВК «Київський інститут автоматки», м. Київ, Україна

**Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. У системах прямого цифрового управління (ПЦУ) електронні обчислювальні машини (ЕОМ) замінюють традиційні аналогові керуючі пристрої. Системи прямого цифрового управління не тільки більш ефективно виконують функції, які виконували аналогові керуючі пристрої, але й надають нові можливості для збільшення гнучкості управління, такі, як перепрограмування на бажані управляючі впливи. Описано принципи побудови систем прямого цифрового управління на прикладі систем регулювання технологічних параметрів прокатки. Для управління механізмами та агрегатами стану на нижньому рівні ієрархії інтегрованої АСУ (ІАСУ), а також для регулювання технологічних параметрів прокатки використовуються як аналогові, так і дискретні системи автоматичного регулювання (САР). Широко застосовуються системи прямого цифрового управління, побудовані на мікропроцесорній обчислювальній техніці. Це базова автоматика. При традиційному управлінні за допомогою засобів локальної автоматки на нижньому рівні ІАСУ кожному виконавчому механізму відповідає окрема локальна система. У системі ПЦУ ЕОМ, що працює у мультиплексному режимі з поділом часу, одночасно регулює кілька контурів управління. ЕОМ працює за принципом поетапного управління з короткочасним послідовним підключенням до кожного з контурів управління, що обслуговуються. ЕОМ розраховує та видає кожному контуру нові значення управляючих впливів. Названо основні переваги застосування систем ПЦУ. Наведено алгоритми прямого цифрового управління на товстолистових станах, структуру алгоритму та програмного забезпечення ПЦУ. Описані у статті рішення щодо побудови систем ПЦУ використані для розробки систем автоматизації технологічних процесів на прокатних станах.

Ключові слова: пряме цифрове управління, керуючі пристрої, контури управління, вимірювальні перетворювачі, виконавчі механізми.

Abstract. In direct digital control (DDC) systems, computers replace traditional analog control devices. Direct digital control systems not only more efficiently perform the functions carried out by analog control devices but also provide new opportunities for increasing control flexibility, such as reprogramming to achieve the required control effects. The principles of developing direct digital control systems are described using the example of systems for regulating the technological parameters of rolling. Both analog and discrete automatic control systems (ACS) are used to control mechanisms and equipment at the lower level of the integrated automated control system (IACS) as well as to regulate the technological parameters of rolling. Direct digital control systems built on microprocessor computing technology are widely used. This is basic automation. With traditional control carried out using local automation tools at the lower level of the IACS, each executive mechanism is associated with a separate local system. In a DDC system, a computer operating in a multiplexed time-sharing mode simultaneously regulates several control loops. The computer works on the principle of step-by-step control with a short-term sequential connection to each of the serviced control circuits. It calculates and provides each control loop with new control input values. The main advantages of using DDC systems are listed in the paper. Some algorithms for direct digital control on heavy plate rolling mills and the structure of the algorithm and software of DDC are provided in the article. Some solutions regarding the development of DDC systems used for the creation of technological process automation systems at rolling mills are also described.

1. Вступ

Перш ніж для управління технологічними процесами стали використовувати ЕОМ, застосовували аналогові управляючі пристрої. Ці аналогові пристрої були або електронними, або пневматичними, а архітектура системи управління була або централізованою, або розподіленою. У період, який характеризувався появою ЕОМ, системи централізованого управління представлялись найбільш досконалими, оскільки забезпечували можливість управління технологічним процесом загалом і навіть можливість оптимізації в масштабах усього виробництва. У цей час (кінець 50-х і початок 60-х років) ЕОМ мали величезні розміри і були дорогими.

Розробники систем управління великими обробними підприємствами дійшли висновку про доцільність використання ЕОМ для управління технологічними процесами. Але єдиним економічно виправданим шляхом, що визначається рівнем розвитку обчислювальної техніки в цей період, було використання однієї великої ЕОМ для управління всім виробництвом. Саме в цей час народилася концепція прямого цифрового управління технологічним процесом.

У системах прямого цифрового управління ЕОМ замінює традиційні аналогові керуючі пристрої. При цьому ЕОМ здійснює управління процесом у режимі поділу часу, обробляючи інформацію в дискретній формі, що краще окремих безперервно працюючих аналогових пристроїв. У системах прямого цифрового управління ЕОМ обчислює необхідні значення вхідних параметрів, потім ці обчислені значення безпосередньо використовуються для управління процесом. Такий прямий зв'язок між ЕОМ і керованим процесом породив термін «пряме цифрове управління».

Спочатку системи прямого цифрового управління розглядалися лише як більш ефективний засіб для виконання тих самих керуючих функцій, що і аналогові пристрої, на зміну яким вони прийшли. Однак аналогові пристрої мали дуже обмежені можливості з точки зору реалізованих ними математичних операцій. ЕОМ у цьому сенсі є гнучкішим засобом, який реалізує безліч обчислювальних операцій, на які її можна запрограмувати. Отже, системи прямого цифрового управління не тільки більш ефективно виконують функції, які виконували аналогові управляючі пристрої, а й надають нові можливості для збільшення гнучкості управління, такі як перепрограмування на бажані управляючі впливи.

Метою цієї статті є опис принципів побудови систем прямого цифрового управління на товстолистових станах.

2. Принципи побудови систем прямого цифрового управління

Розглянемо принципи побудови систем прямого цифрового управління на прикладі систем регулювання технологічних параметрів прокатки.

Для управління механізмами та агрегатами стану на нижньому рівні ієрархії інтегрованої АСУ (ІАСУ), а також для регулювання технологічних параметрів прокатки використовуються як аналогові, так і дискретні системи автоматичного регулювання (САР). Широко застосовуються системи прямого цифрового управління (ПЦУ), побудовані на мікропроцесорній обчислювальній техніці. Це базова автоматика [1–3].

Розглянемо особливості побудови та функціонування САР і систем ПЦУ. При традиційному управлінні за допомогою засобів локальної автоматики на нижньому рівні ІАСУ кожному виконавчому механізму відповідає окрема локальна система. У системі ПЦУ ЕОМ, що працює у мультиплексному режимі з поділом часу, одночасно регулює

кілька контурів управління. ЕОМ працює за принципом поетапного управління з короткочасним послідовним підключенням до кожного з контурів управління, що обслуговуються. ЕОМ розраховує та видає кожному контуру нові значення управляючих впливів. Оскільки виконавчий механізм (наприклад, електропривод) відносно повільно реагує на зміну вхідного сигналу, то протягом циклу дискретизації ці зміни зберігаються в буферному запам'ятовуючому пристрої.

Крім ЕОМ, вимірювальних перетворювачів (датчиків) і виконавчих механізмів, у систему ПЦУ входять так звані узгоджувальні елементи. Вони, з одного боку, перетворюють аналогові сигнали вимірювань у дискретні для введення в ЕОМ, здійснюють розв'язки сигналів, короткочасне запам'ятовування їх, а з іншого, перетворюють вироблені ЕОМ дискретні сигнали управління в аналогову напругу. Крім того, у системі необхідні пристрої адресації, призначені для цільового вибору місць подачі команд, пристрої для керування послідовністю операцій у часі та ін. Ці елементи узгодження зазвичай об'єднуються в комплекс, який служить сполучною ланкою між вимірювальними та виконавчими органами, що належать до процесу, з одного боку, і ЕОМ, з іншого.

У фіксовані відрізки часу ЕОМ за допомогою цільової адресації виконує циклічне опитування датчиків. На опитування та аналого-цифрове перетворення величин витрачається час, який малий у порівнянні з постійними часу керованого процесу. Потім циклічно порівнюються задані та фактичні значення керованих величин, після чого за алгоритмами управління проводяться розрахунок та видача керуючих команд. Після закінчення заданого відрізка часу (інтервалу дискретності) описана процедура повторюється.

Застосування ПЦУ в інтегрованій системі управління ТЛС дозволяє легко реалізувати математично складні закони регулювання, що дозволяє застосовувати сучасні методи синтезу. Крім того, можлива побудова адаптивних систем регулювання зі складними методами ідентифікації об'єкта.

У багатьох випадках при побудові алгоритмів управління динамічними процесами на базі ЕОМ виходять із принципів дії добре досліджених лінійних аналогових регуляторів: пропорційного (П), інтегрального (І), пропорційно-диференціального (ПД), пропорційно-інтегрального (ПІ) та пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД), хоча цифрова ЕОМ у системі ПЦУ і дозволяє при використанні відповідних програм застосовувати більш складні та ефективні закони управління та регулювання. Завдяки застосуванню ЕОМ ефективні, але складні закони управління, виконання яких традиційними пристроями утруднено, просто реалізуються системами ПЦУ. Так, наприклад, на вирішення більшості завдань оптимізації потрібні нелінійні методи управління. У багатьох конкретних нелінійних задачах управління з використанням систем ПЦУ можна застосовувати лінійні алгоритми, що отримуються спеціальними процедурами розчленування рівнянь процесу на елементарні складові, які пристосовуються до складного процесу.

Для систем ПЦУ програмне забезпечення зазвичай містить такі алгоритмічні модулі:

- модулі збору, перевірки та обробки даних вимірювань по кожній точці вимірів, контролю обмежень та правильності введення інформації, а також оцінки градієнтів для виявлення збоїв у вимірюваннях. При цьому для кожної точки виміру передбачається контрольний двійковий розряд, який інформує про правильність даних, що заміряються, або про виникнення збоїв;
- модулі формування середніх значень із двох вимірів, оцінки та корекції отриманих величин з урахуванням інших характеристик процесу, підсумовування, перемноження тощо;
- модулі цифрового керування для розрахунку протікання динамічних процесів у керованих контурах;

- модулі, що реалізують функції видачі керуючих впливів окремих виконавчих механізмів; команд на перемикання на резервні регулятори, якщо виникла така потреба, тощо.

При виборі комплексу технічних засобів побудови систем ПЦУ конкретної САР зазвичай орієнтуються на мікропроцесорну техніку. Актуальною є задача синтезу дискретного регулятора, тобто визначення оптимальних параметрів різницевого управління та регулювання.

3. Алгоритми прямого цифрового управління на товстолистових станах

Основні переваги застосування систем ПЦУ: при використанні П-, ПІ-, ПІД-законів управління легко можна змінити структури контурів регулювання та забезпечити варіації їх параметрів. Без додаткових витрат можна передбачити будь-які тимчасові залежності керуючих та збурних впливів при введенні збурень.

Найважливішим завданням створення систем ПЦУ є розробка дискретних алгоритмів, які можуть реалізувати відомі ПІД-закони регулювання в аналогових системах. При розробці алгоритмів вирішується задача подання аналогової системи у вигляді дискретної, яка описується дискретними рекурентними алгоритмами. Велика перевага таких алгоритмів полягає в тому, що є можливість вибору передавальної функції та розрахунку параметрів регулятора з використанням відомих методів теорії автоматичного регулювання для безперервних систем: методу частотних характеристик, методу кореневого годографа, критеріїв оптимізації та ін.

Щоб дискретна система регулювання була близька до аналогічної безперервної системи, необхідний дуже малий інтервал дискретності для того, щоб забезпечити досить точне квантування аналогового сигналу за амплітудою. При швидкопротікаючих перехідних процесах, подібних до тих, які мають місце в системах електро- і гідроприводів, це викликає значне подорожчання системи, оскільки вимагає високорозрядних і швидкодіючих ЕОМ. Для усунення цього можна скористатися деякими штучними прийомами, наприклад, організацією роботи системи ПЦУ зі змінним інтервалом дискретності або зі змінним часом розрахунку управляючих впливів за алгоритмами різної складності. Однак, збільшення інтервалу T_0 або спрощення алгоритмів порушують подібність дискретної та відповідної їй аналогової системи і створюють проблему пошуку нових методів досліджень та оптимізації таких систем, оскільки традиційні методи теорії автоматичного регулювання при цьому втрачають силу.

Слід зазначити, що, якщо величина інтервалу досить мала (істотно менше значень найбільшої постійної часу контуру регулювання), то для розрахунку законів регулювання можливе застосування методів, що становлять ті чи інші модифікації традиційних.

Рівняння ідеалізованого безперервного ПІД-регулятора, як відомо, має вигляд

$$u(t) = K_p \left[y(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t y(\tau) d\tau + T_D \frac{dy(t)}{dt} \right], \quad (1)$$

де $u(t)$ – управляючий вплив, K_p – коефіцієнт посилення регулятора, $y(t) = y_1 - y_0$ – неузгодженість, y_1, y_0 – вихідна координата та завдання, T_I, T_D – постійні інтегрування та диференціювання.

Передаточну функцію реального ПІД-регулятора запишемо у вигляді

$$R(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{1 + T_\phi s} \right), \quad (2)$$

де T_ϕ – постійна часу низькочастотного фільтра диференціальної складової.

Рівняння цього ж регулятора дискретної дії має вигляд

$$u[n] = k_1 y[n] + k_2 \sum_1^n y(i) + k_3 [y[n] - y[n-1]] = \\ = u[n-1] + x_i y[n] - x_i y[n-1] + x_i y[n-2]. \quad (3)$$

Застосовуючи до рівняння (1) дискретне перетворення Лапласа (z -перетворення), одержуємо дискретну передаточну функцію:

$$w_p(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}, \quad (4)$$

в якій

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= K_p \left[1 + \frac{T_0}{2T_H} + \frac{T_D}{T_0} \left(1 - e^{-\frac{T_0}{T_\phi}} \right) \right]; \\ b_1 &= K_p \left[-1 + \frac{T_0}{2T_H} - 2 \frac{T_D}{T_0} + e^{-\frac{T_0}{T_\phi}} \left(1 - \frac{T_0}{2T_H} + 2 \frac{T_D}{T_0} \right) \right]; \\ b_2 &= K_p \left[\frac{T_D}{T_0} + e^{-\frac{T_0}{T_\phi}} \left(1 - \frac{T_0}{2T_H} + \frac{T_D}{T_0} \right) \right]; \\ a_1 &= - \left(1 + e^{-\frac{T_0}{T_\phi}} \right); \\ a_2 &= e^{-\frac{T_0}{T_\phi}}; \\ z &= e^{-pT_0}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де T_0 – інтервал дискретності.

Щоб дискретна система мала характеристики, близькі до властивостей аналогової системи, інтервал дискретності вибирається досить малим, відповідно до вимог імпульсної теореми Котельникова [4], тобто

$$T_0 \leq \frac{\pi}{\omega_c}, \quad (6)$$

де ω_c – частота зрізу. При цьому частота переривань сигналу f відповідно матиме вираз

$$f = \frac{1}{T_0} \geq \frac{\omega_c}{\pi}. \quad (7)$$

Для забезпечення стійкості квазінеперервної системи ПЦУ рекомендуються більш жорсткі обмеження щодо вибору величини інтервалу дискретності. Враховуючи, що смуга пропускання частот у замкнутій системі регулювання приблизно в 2–3 рази перевищує частоту зрізу, а також на підставі наявного досвіду при виборі T_0 доцільно виходити з умови

$$T_0 = \frac{1}{(2 \div 3)\omega_c}, \quad (8)$$

якій відповідає частота дискретизації

$$f = (2 \div 3)\omega_c, \quad (9)$$

У роботі [5] при регулюванні теплових процесів рекомендується величину T_0 вибрати згідно з умовою

$$T_0/T_{\max} \approx 0,02, \quad (10)$$

де T_{\max} – найбільша постійна часу керованого контуру.

Слід врахувати, що з подальшим зменшенням інтервалу дискретності диференціальна складова регулятора (Д) починає несприятливо впливати на стрибки квантування при аналого-дискретному перетворенні сигналів.

Застосовуються дві форми запису рівнянь регулювання: для *позиційного регулювання* повинен виконуватись розрахунок повної вихідної величини регулятора

$$u(k) = \varphi[\delta(k)], \quad (11)$$

де

$$\delta(k) = x_y(k) - x(k);$$

для *регулювання швидкості* розраховується її приріст

$$\Delta u(k) = f[\delta(k)]. \quad (12)$$

Для обчислення повної вихідної величини регулятора (11) та приросту швидкості регулювання (12) запропоновано цілу низку алгоритмів [1, 5].

Застосувавши до рівняння (1) зворотне перетворення Лапласа, запишемо його у дискретній формі:

$$u(k) = K_p \left\{ \delta(k) + \frac{1}{T_H} \left[\frac{\delta(0) + \delta(1)}{2} + \dots + \frac{\delta(k-1) + \delta(k)}{2} \right] + T_D \left[\frac{\delta(k) - \delta(k-1)}{T_\phi} \right] \right\} \quad (13)$$

або у вигляді П-, І-, Д- складових:

$$u(k) = u_P(k) + u_I(k) + u_D(k), \quad (14)$$

де $k = 1, 2, 3, \dots$;

T_ϕ – час затримки реальної ланки, що диференціює.

Останній доданок у рівнянні (13), що містить T_ϕ у знаменнику, при стрибкоподібних приростах $\delta(k)$ та малій величині T_ϕ може йти до нескінченності, особливо при різких змінах управляючого впливу на вході системи.

Розглянемо кожну із складових (14) алгоритму ПІД-регулятора (13) окремо. Пропорційна складова $u_P(k)$ може бути безпосередньо використана в алгоритмі позиційного управління. Для цього потрібно лише підставити до рівняння

$$u_P(k) = K_p \delta(k) \quad (15)$$

значення неузгодженості $\delta(k)$ у моменти часу kT_0 опитування датчиків положення керованих механізмів.

У швидкісному алгоритмі повинні використовуватися попередньо формовані збільшення регулюючого впливу:

$$\Delta u_{II}(k) = u_{II}(k) - u_{II}(k-1) = K_P [\delta(k) - \delta(k-1)]. \quad (16)$$

Інтегральна складова для позиційного регулювання може бути подана у вигляді

$$u_{II}(k) = K_P \frac{T_0}{T_{II}} \sum_{r=0}^k \frac{\delta(r-1) + \delta(r)}{2} \quad (17)$$

або
$$u_{II} = u_{II}(k-1) + K_{II} \delta(k), \quad (18)$$

де коефіцієнт
$$K_{II} = K_P \frac{T_0}{T_{II}}.$$

Безпосередньо з рівняння (18) одержуємо вираз для швидкісного алгоритму:

$$\Delta u_{II}(k) = \frac{u_{II}(k) - u_{II}(k-1)}{2} = K_{II} \delta(k). \quad (19)$$

Сигнал на виході ідеальної диференційної ланки для позиційного алгоритму матиме вигляд

$$u_D(k) = K_D [\delta(k) - \delta(k-1)], \quad (20)$$

а для швидкісного алгоритму

$$\Delta u_D(k) = u_D(k) - u_D(k-1) = K_D [\delta(k) - 2\delta(k-1) + \delta(k-2)], \quad (21)$$

де коефіцієнт

$$K_D = K_P \frac{T_D}{T_0}.$$

Практично для фільтрації високочастотних шумів застосовується реальна ланка, що диференціює, з постійного часу затримки T_3 . Сигнал на її виході при позиційному алгоритмі в аналоговій формі описується виразом

$$V_D(k) = \frac{d\delta(t)}{dt} - T_\Phi \frac{dV_D}{dt},$$

у дискретній формі він набуває вигляду

$$V_D(k) = \frac{\delta(k) - \delta(k-1)}{T_0} - \frac{T_\Phi}{T_0} [V_D(k) - V_D(k-1)]$$

або після перетворень

$$u_D(k) = \frac{T_\Phi}{T_3 + T_0} u_D(k-1) + \frac{K_P T_D}{T_\Phi + T_0} [\delta(k) - \delta(k-1)]. \quad (22)$$

Для швидкісного алгоритму отримаємо

$$\Delta u_d(k) = \frac{T_\phi}{T_\phi + T_0} \Delta u_d(k-1) + \frac{K_p T_d}{T_\phi + T_0} [\delta(k) - 2\delta(k-1) + \delta(k-2)]. \quad (23)$$

З отриманих залежностей для конкретних умов роботи даного контуру ЕОМ у системі ПЦУ розраховує складові рівняння (14), підсумовує їх, а потім перевіряє отриману величину управляючого впливу на обмеження по максимуму, тобто $u(k) \leq u_{\max}$, і, якщо ця умова дотримується, сигнал видається до виконання. При цьому дію кожної із складових програмним шляхом може бути посилено, ослаблено чи зовсім виключено, тобто можлива реалізація системи управління зі змінною структурою та динамічним вибором як типів регуляторів П, ПІ, ПД, І, так і їх параметрів.

Так, наприклад, усі аналогові регулятори мають обмежений діапазон регулювання; таке обмеження необхідно передбачати в алгоритмі дискретних регуляторів, тобто в обмеженні діапазону змін регулюючої дії $u(k)$. Часто це забезпечує покращення якості регулювання поряд із стабілізуючим ефектом. Структурно обмеження величини $u(k)$ проявляється як відключення інтегральної складової $u(k)$ ПІД-регулятора і є структурною зміною з переходом від ПІД- до ПД-регулятора.

Інший варіант алгоритму дискретного регулятора з обмеженням є нелінійний «напівпропорційний» алгоритм Фернера [5]. У цьому алгоритмі регулюючий вплив $u(k)$ змінюється пропорційно зміні відхилення регульованої величини $\delta(k)$ доти, поки $\delta(k)$ виростає по абсолютній величині і залишається незмінним, якщо збільшення відхилення регульованої величини $\Delta\delta(k)$ змінюється за знаком, тобто у виразі

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

приріст $\Delta u(k) = K_p \Delta\delta(k)$ при $|\delta(k)| = |\delta(k-1)| > 0$

і $\Delta u(k) = 0$ при $|\delta(k)| = |\delta(k-1)| < 0$, (24)

де $\Delta\delta(k) = \delta(k) - \delta(k-1)$.

У разі, якщо протягом часу $t_c = NT_0$, де N – деяке число циклів дискредитації, $\Delta\delta(k) = 0$ та $|\delta(k)| > P_z$, то

$$\Delta u(k) = K_c \Delta\delta(k).$$

По відношенню до коефіцієнта посилення регулятора K_p параметри N, K_c, P_z мають підпорядковане значення.

Безпосередньо з рівняння (3) можна отримати іншу форму рівняння для дискретного ПІД-регулятора:

$$u(k) = b_0\delta(k) + b_1\delta(k-1) + b_2\delta(k-2) - a_1u(k-1) - a_2u(k-2). \quad (25)$$

Коефіцієнтами для рівняння (25) були вирази (5), в які входять постійні часу складових цього регулятора, його коефіцієнт підсилення та інтервал дискретності, що підлягають визначенню з урахуванням параметрів керованого об'єкта.

4. Структура алгоритму та програмне забезпечення ПЦУ

Розрахунок та формування управляючих впливів за алгоритмами ПЦУ можна подати структурною схемою програми (рис. 1).

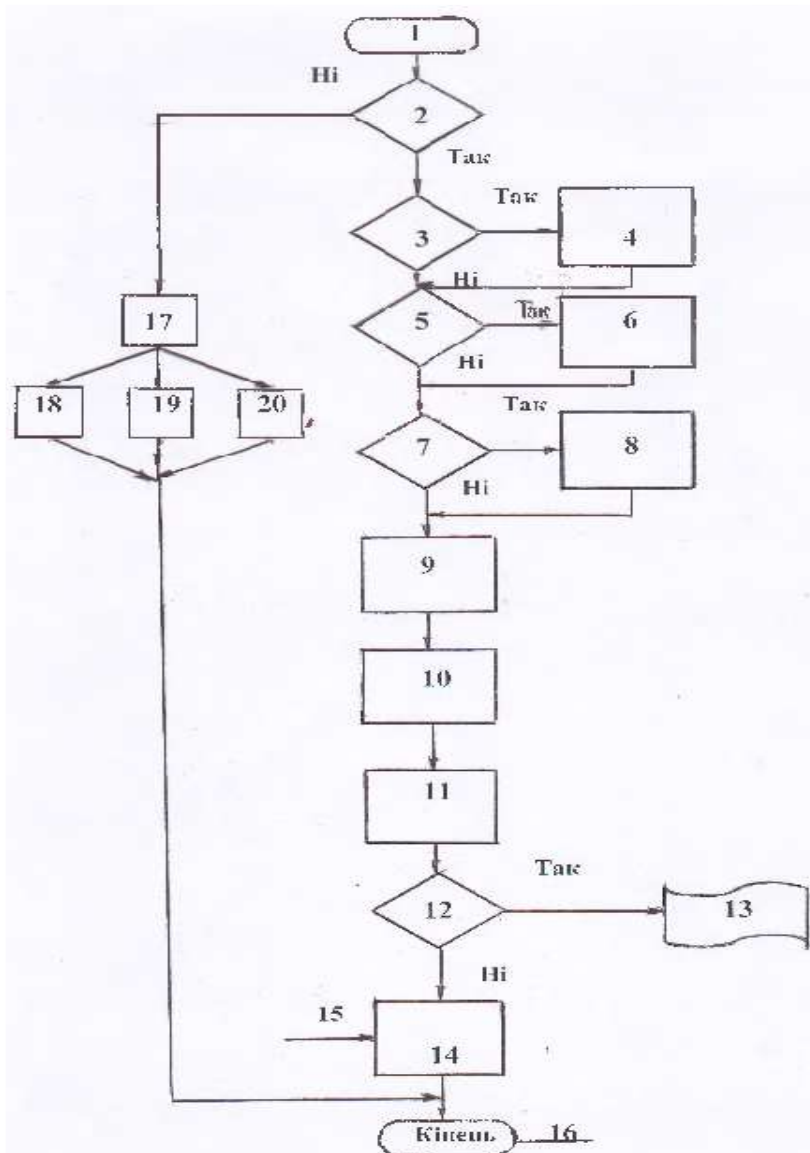


Рисунок 1 – Структурна схема програми розрахунку управляючих впливів за алгоритмами ПЦУ:

1 – початок роботи програми; 2 – який алгоритм підлягає розрахунку ПД-регулятора; 3 – складова П; 4 – розрахунок приросту складової П за рівнянням (16); 5 – складова I; 6 – розрахунок приросту складової I; 7 – складова Д; 8 – розрахунок приросту складової Д; 9 – підсумовування приростів складових П-, I-, Д-ПД алгоритму; 10 – розрахунок повного управляючого впливу (вихідної величини регулятора); 11 – контроль величини управляючого впливу по різниці між розрахунковим та вимірним значеннями $\Delta u(n) = u(n) - u_{\text{вим}}(n)$; 12 – оцінка приросту по максимуму $\Delta u(n) > \Delta u(n)_{\text{дон}}$; 13 – видача сигналу про неприпустимий приріст та його реєстрація; 14 – додаткова перевірка підготовленого до видачі управляючого впливу; 15 – вимірний управляючий вплив; 16 – кінець розрахунків; 17 – індекс алгоритму; 18, 19, 20 – програми розрахунку за іншими алгоритмами 1, 2, ..., N

Перед видачею обчисленої величини $\Delta u(n)$ або повного значення управляючого впливу $u(n)$ перевіряються максимальне та мінімальне значення зазначеної величини. Для виключення значних стрибків величини $u(n)$ її приріст $\Delta u(n)$ обмежується по максимуму, роздруковується (ланка 13) і враховується на наступному етапі розрахунку $\Delta u(n)$ з точки зору необхідності повторного обмеження. З іншого боку, якщо обчислені величини $\Delta u(n)$ менше заданого мінімального значення, вони не видаються у систему ПЦУ до виконання, а підсумовуються до того часу, поки через кілька кроків їх сума не перевищить заданий мінімум. Цим досягається зниження зносу виконавчих механізмів та більш спокійна робота контурів управління.

Розраховані ЕОМ прирости або повні значення управляючого впливу надходять через запам'ятовуючі буферні пристрої в центральний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Потім ці сигнали подаються на відповідні затримуючі підсилювачі, з яких вони в задані моменти часу надходять на входи виконавчих механізмів.

При виборі алгоритму управління повинні братися до уваги характер динаміки об'єкта, чутливість алгоритму до змін режиму роботи, витрати на розробку системи ПЦУ, а також необхідний обсяг пам'яті ЕОМ та тривалість розрахунків для його реалізації в реальному масштабі часу.

Слід наголосити, що все сказане про якість алгоритмів справедливе для систем ПЦУ, що працюють із відносно великими інтервалами дискретності. Це пояснюється тим, що потоки інформації, цілком достатні для управління системою, в якій відсутні збурення, або за наявності керованої координати, що плавно змінюється, стають недостатніми при різких стрибках збурних впливів і змінах параметрів об'єкта в широких межах. Тому з точки зору витрат на їх розробку та необхідної розрахункової потужності ЕОМ, такі алгоритми є прийнятними, а за вимогами подальшого зменшення інтервалу дискретності їх застосування може виявитися нераціональним.

Адаптивні алгоритми сильно завантажують ЕОМ. Тому, хоча ці алгоритми і вимагають незначних витрат при їх розробці, вони застосовуються лише для управління об'єктами зі значними змінами параметрів процесу. Алгоритми оптимального управління, навпаки, мало завантажують ЕОМ, але через велику трудомісткість розробки їх застосовують лише для складних об'єктів із багатьма керованими координатами.

5. Висновки

У системах прямого цифрового управління ЕОМ замінює традиційні аналогові керуючі пристрої. Системи прямого цифрового управління не тільки більш ефективно виконують функції, які виконували аналогові керуючі пристрої, але й надають нові можливості для збільшення гнучкості управління, такі, як перепрограмування на бажані управляючі впливи.

У статті описано принципи побудови систем прямого цифрового управління на прикладі систем регулювання технологічних параметрів прокатки, названо основні переваги застосування систем ПЦУ. Наведено алгоритми прямого цифрового управління на товстолистових станах, структуру алгоритму та програмного забезпечення ПЦУ.

Описані у статті рішення щодо побудови систем ПЦУ використані для розробки систем автоматизації технологічних процесів на прокатних станах.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Грабовский Г.Г. ИАСУ толстолистовыми прокатными станами. К.: Техніка, 2001. 448 с.
2. Ієвлев М.Г., Грабовський Г.Г. Математичні моделі і алгоритми керування в АСК ТП товстолистових прокатних станів. К.: Техніка, 2001. 248 с.
3. Ієвлев Н.Г. Автоматизированное управление режимами прокатки на толстолистовых станах. *Математичні машини і системи*. 2020. № 4. С. 95–112.
4. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи. *Успехи физических наук*. 2006. № 7. С. 762–770.
5. Архангельский В.И. Алгоритмы и техническая реализация систем прямого цифрового управления. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1978. 55 с.

Стаття надійшла до редакції 23.08.2023