

коэффициента сжимаемости. 7. ГОСТ 30319.3-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния. 8. Рид Р., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. – Л.: Химия, 1971. – 704 с. 9. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Под ред. Н.Б. Варгафтика. – М.: Надра, 1972 – 720 с. 10. Чиркин В.С. Теплофизические свойства веществ. – М.: Физматгиз, 1959. – 356 с. 11. Методы расчета систем автоматического регулирования: Учеб. пособие по специальности “Автоматизация производственных процессов” / Под ред. В.В. Волгина. – М., 1972. – 192 с.

УДК 681.325.65:519.714

Н.М. Якимчук

Національний університет “Львівська політехніка”  
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

## ПІДГОТОВКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ СИНТЕЗУ ОБ’ЄКТІВ КЕРУВАННЯ ЦИФРОВИХ АВТОМАТНИХ СИСТЕМ

© Якимчук Н.М., 2007

**Розглянуто методику отримання структурних формул для відображення умов роботи промислових автоматних систем на основі методу часових діаграм, що дає змогу одержати логічну послідовність операцій та здійснити реалізацію об’єктів керування за допомогою мікропроцесорних засобів. Розроблена методика дає можливість побудувати блок-схему алгоритму розв’язання задач.**

**The method of reception of structural formulas for display of operating conditions of industrial automatic systems on the basis of a time diagrams method is considered, it allows to receive logic sequence of operations and to realize objects of control by means of microprocessor means. The developed method allows constructing the block diagram of algorithm for the decision of problems.**

**Постановка проблеми.** Доцільність розробки і дослідження цифрових автоматних систем полягає у все більшому ускладненні задач керування в промисловості, необхідності розширення логічних функцій сучасних автоматичних пристроїв, збільшенні вимог до їх швидкодії та надійності. Ці задачі вимагають розробки таких методів та методик, які б давали можливість формалізувати і спростити процес синтезу алгоритмів керування технологічними об’єктами з метою подальшої їх реалізації як у вигляді створення спеціальних логічних пристроїв керування, так і для використання під час складання програм обробки інформації засобами сучасної обчислювальної техніки.

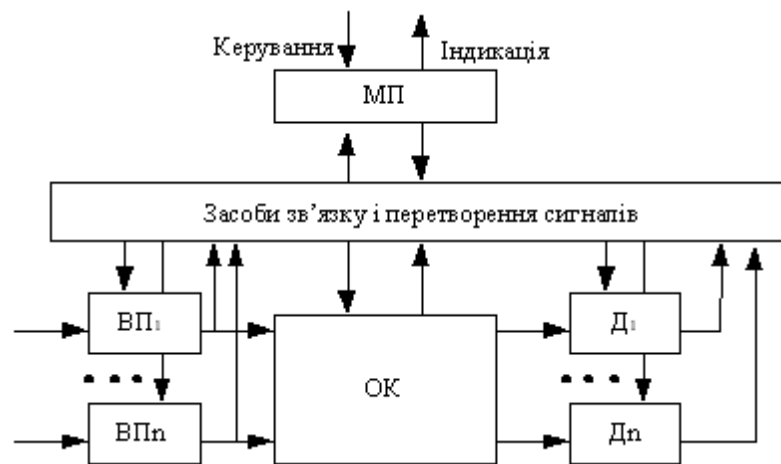
**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Універсальні формальні методи системного проектування, придатні для загального випадку, сьогодні не розроблені. Тому здебільшого проектування ґрунтується на евристичному методі і спрямоване на створення спеціальних елементів і вузлів обчислювальних пристроїв. Для окремих класів цифрових пристроїв формальні методи проектування існують, наприклад, формалізована методика синтезу ЕОМ, створена під керівництвом академіка В.М. Глушкова [1, 4], а також метод блокового синтезу, розроблений М.А. Гавриловим [2, 5], який уможливує синтезувати складні цифрові пристрої із простих блоків, що виконують окремі функції. Більш ефективними в цій галузі стають роботи з алгоритмізації процесів синтезу й аналізу.

**Формулювання цілі статті.** Мета роботи – сформулювати методику підготовки технологічних даних для синтезу об’єктів керування цифрових автоматних систем, на основі чого формується алгоритм управління технологічними процесами з використанням мікропроцесорних засобів.

**Виклад основного матеріалу.** Загальна структура цифрової автоматної системи (рис. 1) складається власне з технологічного об'єкта керування (ОК), який контролюється давачами  $D_1 \dots D_n$  технологічних сигналів (первинними вимірювальними пристроями), інформація з яких поступає до устаткування узгодження та нормування (засобів зв'язку і перетворення сигналів), звідки вже в цифровій формі подається на вхід цифрового регулятора (мікропроцесора МП), в якому, згідно з законом регулювання, здійснюється оброблення і видача керуючих сигналів, які через систему виконавчих пристроїв  $ВП_1 \dots ВП_n$  безпосередньо впливають на процес роботи об'єкта з заданою точністю.

З розвитком сучасної обчислювальної техніки процес проектування технологічних автоматних систем можна звести до синтезу логічної структури закону функціонування об'єкта керування, який реалізується у вигляді алгоритму обробки цифрової інформації на мікропроцесорному пристрої. Здійснивши формалізоване подання закону функціонування промислового автомата як логічної функції, що здійснює перетворення вхідних сигналів від об'єкта керування у вихідні сигнали до виконавчих елементів і пристроїв, можна стверджувати, що з використанням цифрових методів обробки сигналів можна описати структуру промислових автоматів різного рівня складності. Причому необхідно забезпечити виконання двох умов:

- можливість подання процесу керування у формі причинно-наслідкових зв'язків між сигналами, що визначають положення (стан) системи у будь-який момент часу, та керуючими сигналами, що визначають стан системи в наступний момент часу;
- однозначність визначення стану системи – стан системи у будь-який момент часу визначається певним визначеним набором значень сигналів елементів.



*Рис. 1. Загальна структура цифрової автоматної системи*

Отже, цифровий автоматичний регулятор, або цифровий автомат можна однозначно описати множинами вхідних і вихідних сигналів, внутрішніх станів та функціями переходів та виходів. Послідовність синтезу включає два основні етапи [1]. Перший – абстрактний синтез, який розглядає формування математичної моделі, алгоритму функціонування деякого перетворювача вхідних числових послідовностей у вихідні керуючі впливи.

Другим етапом є структурний синтез – створення фізичної моделі пристрою, структурної схеми керуючого автомата. При цьому кожен елемент абстрактної логічної системи відповідає еквівалентному фізичному елементу з врахуванням його технічних характеристик, способів кодування сигналів і передачі даних в реальному процесі. На сучасному рівні розвитку мікропроцесорної техніки структурний синтез можна здійснити вибором типу мікропроцесора (мікроконтролера) по здійсненому абстрактному синтезі системи.

Очевидно, що під час здійснення процедури синтезу ключовою є проблема визначення зручних і ефективних способів подання технологічної інформації – вибір мови опису дискретного

автомата. Вимоги до мов запису умов роботи: близькість мови до природної, врахування особливостей роботи різних класів дискретних керуючих пристроїв, а саме: особливостей запису умов й операцій з заздалегідь заданими виконавчими елементами, особливостей роботи з потенціальними і імпульсними впливами, простота запису і можливість спрощень і перетворень.

У практиці проектування дискретних систем керування електроприводами та промисловими установками використовуються переважно такі інженерні методи запису умов роботи і синтезу багатотактних схем, які реалізують перемикальні функції, а саме: словесний опис, мова таблиць включень, мова таблиць переходів і станів, мови графічних і матричних схем алгоритмів, часових логічних функцій, циклограм.

Недоліком більшості з них є інтуїтивність початкового етапу побудови, обмеження кількості використовуваних змінних, незначне збільшення якої веде до значного ускладнення процесу синтезу. У той самий час під час роботи устаткування необхідно врахувати процеси включення, виключення, підготовки до проведення основних операцій, врахувати елементи захисту від неправильних включень, техніку безпеки під час роботи на цьому об'єкті.

Розглянемо методику підготовки технологічних даних для синтезу промислових автоматів на прикладі зміни параметрів технологічних сигналів (рис. 2) на основі методу циклограм [7]. Методика дає змогу реалізувати умови керування будь-якого циклічно-працюючого механізму, а також пристроїв, які працюють по кількох циклах. Переважна більшість автоматних пристроїв має саме циклічний характер роботи, тому розробка такої методики, що ґрунтується на аналізі циклограм і їх описі за допомогою рівнянь алгебри логіки та побудові блок-схеми алгоритму по одержаних рівняннях, є актуальною.

Першим етапом методики є збір і підготовка технологічних даних. Для виконання логічного синтезу необхідно оперувати вичерпною інформацією про технологічний процес. При цьому уточнюються послідовність операцій і необхідні затримки, встановлюються параметри, що підлягають контролю в ході процесу, і вибираються засоби автоматичного контролю і захисту. Велика увага приділяється вибору давачів, що видають вхідні сигнали у функціональну частину схеми керування.

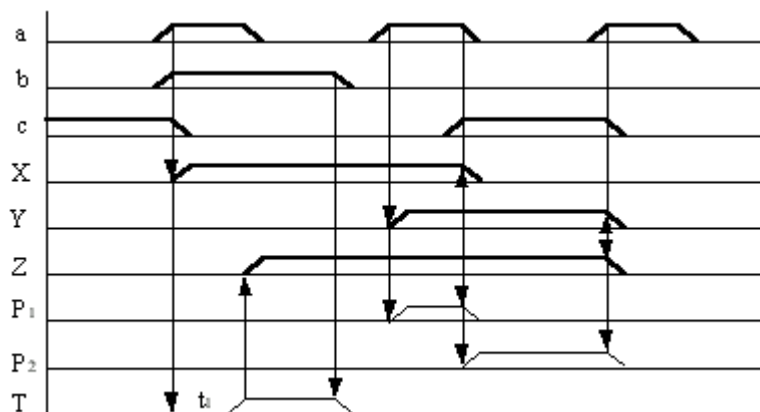


Рис. 2. Приклад циклограми роботи механізму

Повинні бути ретельно проаналізовані і визначені умови появи і зникнення вхідних сигналів. Здійснюється вибір виконавчих елементів, що сприймають вихідні сигнали схеми керування. Виявляється можливість спрощення схеми шляхом розбиття її на окремі блоки, які виконують згідно з конструктивними, функціональними, технологічними чи іншими міркуваннями, які незалежні один від одного, але взаємопов'язані послідовністю періодів роботи, блокувальними ланками, керуючими сигналами тощо. Переважно синтез схем проводиться окремо для автоматичного, дистанційного і для місцевого керування.

Наступним етапом є здійснення опису вхідних і вихідних змінних кожного блока, їм присвоюються літерні позначення. Кожній логічній змінній відповідає один двійковий вхід або

вихід пристрою. Крім вхідних і вихідних змінних (після них), можуть вказуватися також і внутрішні змінні, які використовуються проектувальником під час опису алгоритму функціонування автомата для відзначення того, що деякі умови виконані або не виконані.

Після цього з'ясовуються умови появи і зникання визначених сигналів згідно з послідовністю спрацювання елементів системи, за результатами чого будується циклограма роботи блока і цілого механізму, шляхом графічного зображення послідовності роботи окремих елементів керуючого пристрою в часі. Робота елементів дискретної дії в логічному пристрої характеризується появою і зникненням сигналів у визначеній послідовності.

На осі ординат циклограми показують сигнали, що надходять від вказаних елементів пристрою в порядку їх появи під час роботи з початку циклу, на осі абсцис – час в безрозмірному масштабі. Наявність сигналу зображається на циклограмі відрізком горизонтальної прямої. Жирною лінією позначаються сигнали вхідних і вихідних елементів, тонкою – додаткових проміжних елементів, пунктиром – умовне вмикання елемента. Умовне вмикання елемента відповідає умовному стану, тобто включений чи виключений стан цього елемента у цей період не здійснює впливу на стан вихідних елементів пристрою.

Зліва від відрізка, що відображає роботу елемента, на границі циклограми проставляється позначення відповідного сигналу. Послідовність роботи елементів визначається положенням кінців відрізків, що показують їх роботу щодо лівої границі циклограми. На циклограмі відбивається будь-яка зміна стану елементів і вказується власний час їхнього спрацювання. При використанні мікропроцесорної техніки досить вказати частоту тактуючих сигналів і кількість машинних тактів (машинних циклів), які забезпечують виконання тієї чи іншої операції під час реалізації програми.

Вплив одного елемента на інший зображається на циклограмі стрілкою, що вказує напрямок впливу. У циклограмі час не оцінюється кількісно, тому вона виконується без масштабу. Відзначаються лише факт спрацювання елемента, факт наявності чи відсутності сигналу. За наявності спеціального елемента затримки його сигнал на циклограмі позначається буквою  $T$ , а час, після закінчення якого він з'являється чи зникає, – буквою  $t$ . Робота пристрою тактується.

Тактами назвемо періоди, протягом яких у схемі не змінюється стан жодного з вхідних, проміжних чи вихідних сигналів. Кожна зміна стану одного чи одночасно декількох елементів є початком нового такту.

Періодом вмикання елемента назвемо безупинний ряд тактів, протягом якого цей елемент знаходиться у включеному стані. Періодом вимикання елемента назвемо безупинний ряд тактів, протягом якого цей елемент знаходиться у відключеному стані. Тактом вмикання назвемо такт, що передує періоду вмикання цього елемента. Тактом вимикання назвемо такт, що передує періоду вимикання цього елемента.

Циклограма буде реалізованою, якщо в будь-який час роботи (циклу) не існує такого положення, щоб той самий стан виходів зустрічався у вмикаючому і вимикаючому періодах вихідного елемента. У разі нереалізованої циклограми необхідно ввести проміжні елементи, що змінюють свій стан в такий спосіб, щоб він був різним у вмикаючому і вимикаючому періодах вихідного елемента за тих самих комбінацій вхідних сигналів. Кількість проміжних елементів у циклограмі залежатиме від максимальної кількості однакових комбінацій вхідних сигналів за різних періодів роботи вихідних елементів. Для визначення кількості проміжних елементів відповідно до вищевказаного необхідно:

- виявити комбінації, що роблять циклограму нереалізованою;
- для кожної з комбінацій підрахувати за циклограмою, скільки разів вона зустрічається ( $\tau$ );
- вибрати максимальний з отриманих результатів ( $m_{\max}$ );
- визначити кількість проміжних елементів, необхідних для переведення нереалізованої

циклограми в реалізовану ( $P$ ) з нерівності  $2m_{\max} - 1 \geq 2^P \geq m_{\max}$ .

Під час введення проміжних елементів викликає утруднення визначення тривалості їхньої дії, а отже, і умов вмикання і вимикання. Тому спочатку необхідно в періоді циклу виділити: мінімально необхідний період вмикання цього елемента і заборонену зону цього ж елемента.

Мінімально необхідний період вмикання в циклі виділяється залежно від призначення елемента, що вводиться в циклограму, тривалість його визначається в результаті перевірок реалізованості циклограми. Заборонена зона для цього елемента виходить у той час циклу, коли цей елемент під час свого включення буде виконувати небажані функції. Потім варто зробити перевірки умов роботи цього проміжного елемента. Якщо будь-яка із умов не задовольняється, то варто спробувати змінити період вмикання цього елемента в межах зони можливого вмикання, охоплюючи мінімально необхідний період вмикання доти, поки не виконається потрібна умова. Якщо цього досягти не вдається, то доводиться вводити ще один додатковий елемент.

Зона можливого вмикання являє собою різницю між тривалістю циклу і забороненою зоною цього елемента.

Побудова циклограми закінчується після проведення усіх перевірок для вихідних і проміжних елементів. Аналіз циклограми полягає у визначенні комбінацій вхідних сигналів, за появи яких відбувається видача вихідних сигналів керування.

Зміна стану будь-якого вихідного чи проміжного елемента, тобто його вмикання і вимикання, обумовлена зміною стану інших елементів, що впливають на нього. Умови, що викликають зміну стану елемента, виникають у вмикаючому і вимикаючому тактах і називаються умовами спрацьовування. До умови спрацьовування входить сигнал елемента, що змінює свій стан у вмикаючому такті. Позначається умова спрацьовування  $f'(x)$ . Коли в цьому такті змінюють свій стан кілька елементів, то в умову спрацьовування досить ввести сигнал одного (будь-якого з елементів) основного елемента, від якого на циклограмі відходить стрілка в напрямку розглянутого вихідного чи проміжного елемента. В умову спрацьовування записується сигнал цього елемента в тому стані, який він має в такті.

Умови неспрацьовування  $f''(x)$  елемента виникають у вимикаючому такті. У ці умови входить сигнал елемента, що змінює свій стан у цьому такті. За наявності декількох елементів, що змінюють свій стан у вимикаючому такті, варто ввести в умову неспрацьовування сигнал кожного з основних елементів, від якого на циклограмі відходить стрілка в напрямку розглянутого вихідного чи проміжного елемента. В умову неспрацьовування сигнал основного елемента записується в тому стані, у якому він знаходиться у вимикаючому такті зі знаком інверсії. Умова неспрацьовування приписується до попередньої умови спрацьовування зі знаком логічного множення. Отже, структурна формула для одного періоду вмикання виконавчого чи проміжного елемента має такий вигляд:

$$X = f'(x)\overline{f''(x)}. \quad (1)$$

За наявності кількох періодів вмикання і вимикання елемента, умови спрацьовування і неспрацьовування складаються для кожного періоду. Загальна структурна формула записується у вигляді суми

$$X = f'_1(x)\overline{f''_1(x)} + f'_2(x)\overline{f''_2(x)} + \dots + f'_n(x)\overline{f''_n(x)}. \quad (2)$$

Введення тільки основних елементів в умови спрацьовування чи неспрацьовування інколи буває недостатнім для забезпечення роботи пристрою по цій циклограмі. У цих випадках доводиться вводити проміжні елементи. Для визначення необхідності введення проміжних елементів й їхньої кількості необхідно зробити три перевірки реалізованості циклограми. Усі три перевірки проводяться окремо для кожного вмикаючого періоду.

Перша перевірка полягає в аналізі того, чи існують записані раніше умови спрацьовування протягом усього вмикаючого періоду. Якщо функція  $f'(x)$  незмінна в цьому періоді, то ці умови для цього періоду є достатніми. Якщо ж функція двічі змінює своє значення протягом вмикаючого періоду, то необхідно в схему ввести додатковий елемент (P') в такий спосіб, щоб він змінював свій стан до зміни стану  $f'$  і залишався у цьому стані далі протягом усього аналізованого періоду. Отже, якщо на циклограмі подумки сполучити лінії дії сигналів  $f'$  і P', то це буде безперервна пряма протягом усього вмикаючого періоду розглядуваного елемента. Бажано як проміжний елемент за можливості використати вихідний елемент, застосовуючи самоблокування або інші елементи циклограми, лінії дії сигналів яких задовольняють умовам вибору P'. Сигнал додаткового елемента (P') або самоблокування приписується до умови неспрацьовування  $f''(x)$  у вигляді логічного

добутку  $P' f''(x)$ , а добуток, своєю чергою, приписується до первісної умови спрацьовування у вигляді суми. Ця перевірка здійснюється для кожного періоду вмикання цього елемента і записується у вигляді

$$X = f'(x) + P' \overline{f''(x)}, \quad (3)$$

або для самоблокування

$$X = f'(x) + x \overline{f''(x)}. \quad (4)$$

У схемах автоматики часто потрібно, щоб після спрацьовування вимикаючого елемента схему не можна було знову запустити в роботу доти, поки він не прийде у вихідний стан. Наприклад, якщо натиснуто кнопку СТОП, що відключає будь-який апарат, то одночасне натискання кнопки ПУСК не повинно викликати навіть короткочасного його включення.

З цієї точки зору надійніше перетворити структурну формулу до такого вигляду:

$$X = (f'(x) + P') \overline{f''(x)}, \text{ або } X = (f'(x) + x) \overline{f''(x)}. \quad (5)$$

Друга перевірка призначена для з'ясування, чи існують записані раніше умови неспрацьовування упродовж всього вмикаючого періоду. Якщо функція  $f''$  незмінна в цьому періоді, то ці умови неспрацьовування для цього періоду включення є достатніми. Якщо ж функція вдруге змінює свій стан протягом вмикаючого періоду, то необхідно ввести в схему проміжний елемент ( $P''$ ), що змінює свій стан у періоді вмикання розглянутого елемента, але після того, як змінить своє значення функція  $f''$ . Якщо функція  $f''$  змінює свій стан кілька разів, то проміжний елемент ( $P''$ ) повинен змінювати свій стан після останньої зміни стану функції  $f''$ .

Умови неспрацьовування в цьому випадку записуються у вигляді інверсії добутку двох сигналів  $f''$  і  $P''$ , тобто  $\overline{f'' P''}$ . Значення сигналів  $f''$  і  $P''$  беруться такими, якими вони мають бути у вимикаючому такті.

Третя перевірка призначена для контролю того, щоб після відключення вихідного елемента не створилися знову умови для його повторного (неправильного) включення. Із цією метою необхідно перевірити кожну комбінацію сигналів у виразах  $f' \overline{f''}$ ,  $f' + P' \overline{f''}$ ,  $f' \overline{f'' P''}$  або  $f' + P' \overline{f'' P''}$  після того, як будуть розкриті усі дужки й виключені загальні знаки інверсії, тобто отриманий вираз функції в диз'юнктивній нормальній формі. Причому вираз виду  $X = f'(x) \overline{f''(x)}$  виходить, якщо прийняті спочатку умови спрацьовування й неспрацьовування задовольняють усьому вмикаючому періоду цього елемента; вираз  $X = f'(x) + P' \overline{f''(x)}$  виходить, якщо в умови спрацьовування вводиться додатковий елемент; вираз  $X = f'(x) \overline{f''(x) P''}$  отримується, якщо в умови неспрацьовування вводиться додатковий елемент; вираз  $X = f'(x) + P' \overline{f''(x) P''}$  виходить, якщо додаткові елементи вводяться в умови спрацьовування й неспрацьовування.

Кожен доданок у ДНФ функції  $X$  у цьому періоді включення після здійснення двох перевірок дає певну комбінацію сигналів й їхніх інверсій. Жодна із цих комбінацій не повинна зустрічатись у вимикаючих періодах елемента. Якщо у вимикаючому періоді є одна із цих комбінацій, то в цю комбінацію повинен бути введений додатковий проміжний елемент  $P''$ . Стани цього елемента повинні бути різні для цієї комбінації у вмикаючих і вимикаючих періодах.

Як проміжний елемент, як і в попередніх випадках, бажано використовувати вже введені в циклограму проміжні чи вихідні елементи. Сигнал допоміжного елемента приписується у вигляді добутку до того доданка, який дає комбінацію, що зустрічається у вмикаючому і вимикаючому періодах. Його стан приймають таким, який він має у вмикаючому періоді.

Отже, після третьої перевірки загальний вигляд структурної формули для виконавчого елемента в  $n$ -ному періоді матиме вигляд

$$X_n = f'_n(x) \overline{f''_n(x) P''_n}. \quad (6)$$

Після того, як проведено по три перевірки для кожного періоду включення цього елемента, отриману структурну формулу можна спрощувати, використовуючи алгебраїчні рівності й інші перетворення з метою одержання раціональної структурної схеми:

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_n = f'_1(x)\overline{f''_1(x)} + f'_2(x)\overline{f''_2(x)} + \dots + f'_n(x)\overline{f''_n(x)}. \quad (7)$$

Аналогічно виходять структурні формули для інших вихідних елементів. Для проміжних елементів структурні формули складаються так само, як і для вихідних.

Загальна структурна формула всього логічного пристрою складається у вигляді суми добутків загальної формули кожного вихідного або проміжного елемента на сигнал цього елемента:

$$F = (X_1 + X_2 + \dots + X_n)X + (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_m)Y + \dots \quad (8)$$

Загальна структурна формула за можливості перетворюється з метою спрощення в загальну схему логічного пристрою.

Основним перетворенням цієї формули, як правило, є винесення загальних множників за дужки, що під час реалізації алгебраїчних виразів дає можливість виділяти в схемі вузли, загальні для декількох виходів, і викреслювати їх один раз, не повторюючи для кожного виходу окремо.

За синтезу логічних пристроїв, що працюють по декількох циклах, варто дотримуватися наведеного нижче порядку:

- складаються циклограми роботи усіх елементів для кожного циклу. Усі циклограми поєднуються в одну, загальну для пристрою, розділену на цикли;
- за циклограмою кожного циклу складаються структурні формули, здійснюються три перевірки, передбачені методом, і корегування формул;
- здійснюється четверта перевірка, у результаті якої встановлюється, чи не зустрічаються однакові комбінації змінних у циклограмах різних циклів.

Якщо однакові комбінації змінних зустрічаються, то вводяться додаткові елементи так само, як і при третій перевірці. При цьому, якщо в умови спрацьовування входить кілька основних сигналів, то в структурну формулу умови спрацьовування записуються у вигляді логічної суми. Якщо в умови неспрацьовування входить кілька основних, то в структурній формулі умови неспрацьовування записуються у вигляді інверсії логічної суми.

Розглянемо циклограму рис. 2 для пояснення основних принципів методики (умовно можна припустити, що циклограма є частиною будь-якого робочого циклу).

В роботі пристрою використовується елемент затримки  $T$  з затримкою на  $t_1$  с.

Структурна формула для  $X$  :

$$\text{Умова спрацьовування } f'(x) = abc\bar{c}.$$

$$\text{Умова неспрацьовування } f''(x) = \bar{a}.$$

$$\text{Початкова структурна формула } X = f'(x)\overline{f''(x)} = abc\bar{c}.$$

Перша перевірка. Функція  $f'(x) = abc\bar{c}$  змінює своє значення у вмикаючому періоді  $X$ , а отже, необхідно ввести додатковий елемент, що залишається незмінним протягом всього вмикаючого періоду. У цьому випадку як додатковий елемент можна використовувати  $X$ , тобто застосувати самоблокування.

Структурна формула матиме такий вигляд:  $X = f'(x) + x\overline{f''(x)} = abc\bar{c} + xa$  або  $X = (\overline{abc} + x)a$ .

Друга перевірка. Оскільки функція  $f''(x) = \bar{a}$  двічі змінює своє значення протягом вмикаючого періоду  $X$ , то необхідно ввести проміжний сигнал  $P_1$ .  $X = (\overline{abc} + x)\overline{ap_1}$ .

Третя перевірка. Перетворимо формулу

$$X = (\overline{abc} + x)\overline{ap_1} = (\overline{abc} + x)(a + p_1) = abc\bar{c} + ax + abc\bar{c}p_1 + xp_1.$$

У вимикаючому періоді  $X$  не зустрічається жодна з цих комбінацій, а тому не потрібно вносити зміни в структурну формулу.

Структурна формула для  $Y$ .

Умова спрацьовування  $f'(y) = a$ .

Умова неспрацьовування  $f''(y) = \bar{a}\bar{c}$ .

Початкова структурна формула  $Y = f'_1(y)f''_1(y) = a\bar{a}\bar{c}$ .

Перша перевірка. Функція  $f'_1(y) = a$  змінює своє значення у вимикаючому періоді  $Y$ , тому вводиться самоблокування і структурна формула матиме вигляд  $Y = a + y\bar{a}\bar{c}$  або  $Y = (a + y)\bar{a}\bar{c}$ .

Друга перевірка. Функція  $f''_1(y)$  змінює своє значення у вимикаючому періоді  $Y$ , а отже, необхідно вести додатковий елемент  $P_2$ , що змінює свій стан до останньої зміни стану  $a$ , і залишається в цьому стані упродовж всього відрізка вимикаючого періоду  $Y$ .  $Y = (a + y)\bar{a}\bar{c}p_2$ .

Третя перевірка. Перетворимо вираз для  $Y$ :

$$Y = (a + y)\bar{a}\bar{c}p_2 = (a + y)(\bar{c} + a + p_2) = a\bar{c} + yc + y\bar{a} + ap_2 + yp_2.$$

Ні один з цих доданків не зустрічається у вимикаючому періоді  $Y_1$ , отже, залишаємо формулу без змін. Аналогічно складаємо формули для інших елементів.

Структурна формула для  $Z$ .

$$f'(z) = t \text{ і } f''(z) = \bar{c}, \text{ тоді } Z = tc.$$

Перша перевірка.  $Z = t + zc = (t + z)c$ .

Друга перевірка.  $Z = (t + z)\bar{c}x$ .

Третя перевірка.  $Z = (t + z)\bar{c}x = (t + z)(\bar{c} + x) = t\bar{c} + tx + z\bar{c} + zx$ .

Структурні формули для  $P_1$  і  $P_2$ :

$P_1 = \bar{a}\bar{c}$  після другої перевірки перетворюється до вигляду  $P_1 = \bar{a}\bar{c}\bar{b}$ .

$P_2 = \bar{a}\bar{c}$  після другої перевірки перетворюється до вигляду  $P_2 = \bar{c}\bar{a}y$ .

Структурна формула для  $T$ :  $T = \bar{b}\bar{b} = \bar{b}$  – задовольняє усім перевіркам.

Загальна структурна формула для пристрою, що реалізує роботу автоматної схеми за циклограмою рис. 2, матиме такий вигляд:

$$F = [(abc + x)\bar{a}p_1]X + [(a + y)\bar{a}\bar{c}p_2]Y + [b]T + [\bar{a}\bar{c}\bar{b}]P_1 + [\bar{c}\bar{a}y]P_2.$$

Отже, результатом аналізу циклограми є логічний вираз, що відображає залежність між значеннями вхідних і вихідних змінних системи. Наступними кроками проектування є мінімізація логічних виразів. Зведення функцій до мінімізованої форми може бути здійснене на основі тотожних перетворень алгебри логіки, використання теорії графів, карт Карно (діаграми Вейча), методу Квайна-Мак-Класкі тощо [3, 6].

Запропонована методика отримання логічних функцій, що відображають закон функціонування дискретного керуючого автомата, наочна, у ній чітко видно вплив вхідних елементів на стан зміни стану процесу та послідовність видачі сигналів, що відповідає послідовності спрацьовування обладнання. Результуючі структурні формули не вимагають перевірки на можливість аварійних режимів, тому що вони досліджуються і враховуються під час побудови циклограм. Методика дає змогу повністю врахувати технологічні особливості роботи пристрою.

Отже, розглянута структура, описана за допомогою використання графічного методу, показує можливість і перспективи аналізу та синтезу промислових систем керування за допомогою теорії цифрових автоматів. З одержаної структурної формули легко побудувати блок-схему алгоритму розв'язання задачі, яка реалізується на цифровому (мікропроцесорному) пристрої.



**Висновки:** 1. Розроблено методику отримання логічних функцій, що враховує закон функціонування автоматної системи і особливості зміни технологічних параметрів пристроїв в часі.

2. Розроблена методика наочна, в ній чітко видно вплив вхідних елементів на стан зміни процесу та послідовність видачі сигналів, що відповідає послідовності спрацювання технологічного обладнання у вигляді структурних формул. Результуючі структурні формули не вимагають перевірки на можливість виникнення аварійних режимів, тому що вони досліджуються під час побудови циклограм роботи обладнання.

3. За одержаними структурними формулами легко будується алгоритм роботи керуючого пристрою, який враховує технологічні особливості автоматної системи.

4. За одержаним алгоритмом зі структурними формулами вибирається цифровий (мікропроцесорний) пристрій керування автоматною системою, в якому і реалізується одержаний алгоритм керування в реальному часі.

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с. 2. Гаврилов М.А. Избранные труды. Теория релейных устройств и конечных автоматов. – М.: Наука, 1983. 3. Грейнер Г.Р., Ильяшенко В.П., Май В.П. и др. Проектирование бесконтактных управляющих логических устройств промышленной автоматики. – М.: Энергия, 1977. – 384 с. 4. Кибернетика, вычислительная техника, информатика // Избранные тр. В 3 т. / В.М. Глушков. – К.: Наук. думка, 1990. 5. Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. Логическое проектирование дискретных автоматов (языки, методы, алгоритмы). – М.: Наука, 1977. – 352 с. 6. Петраков Ю.В., Мельничук П.П. Автоматизация технологических процессов в машиностроении средствами микропроцессорной техники: Навч. посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 194 с. 7. Чернов Е.А. Проектирование станочной электроавтоматики. – М.: Энергия, 1989. – 304 с.

УДК 681.121.4

**Н.М. Демидова, В.О. Поджаренко**

Вінницький національний технічний університет,  
кафедра метрології та промислової автоматики

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБІННОГО ВИТРАТОМІРА АВТОМОБІЛЬНОГО ПАЛИВА**

© Демидова Н.М., Поджаренко В.О., 2007

**Запропоновано можливий варіант реалізації витратоміра автомобільного палива. Здійснено дослідження і розрахунок основних статичних метрологічних характеристик запропонованого приладу.**

**The alternate solution of automobile fuel flowmeter designing was proposed. The main static metrological performance of proposed device were analyzed and evaluated.**

**Постановка проблеми.** Сьогодні перед Україною доволі гостро стоїть питання щодо забезпечення належної економії паливно-енергетичних ресурсів в усіх галузях народного господарства. Особливо актуальною є ця проблема у сфері автотранспорту, що, згідно з [1], є одним з основних світових споживачів нафти. При цьому відсутність контролю витрат пального під час руху автомобіля призводить до його нераціонального використання та значних перевитрат. Вирішенням цієї проблеми є розробка і впровадження на транспортних засобах спеціалізованих витратомірів автомобільного палива. Використання таких витратомірів дало б водію змогу в будь-який момент часу одержувати інформацію про величину витрат і здійснювати на основі цієї інформації вибір найоптимальнішого режиму руху з точки зору економії палива.