

ПРИЛАДИ

А.І. Корнійчук

УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМАМИ БАГАТОРЕЖИМНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ

В роботі вперше розроблена узагальнена модель управління (керування) багаторежимною технологічною лінією. Ця модель розглядає як лінію, так і її гілки, як один механізм, що дозволяє розробляти моделі взаємодії її з іншими технологічними лініями. Введення узагальненої моделі технологічної лінії значно спрощує процес управління (керування) окремими механізмами. Для механізмів першої групи рівняння управління (керування) не залежить від типу технологічного процесу. Для механізмів другої групи лише невелика частина рівнянь визначається конкретним технологічним процесом, інші – від нього не залежать.

Багаторежимною лінією будемо вважати лінію, в якій в процесі виконання технологічного процесу періодично включаються та виключаються окремі її гілки. Можна сказати, що багаторежимна лінія є лінією зі змінною конфігурацією.

Управління такою лінією вимагає наявності двох рівнів управління: на рівні окремих гілок та на рівні самої лінії.

Кожна конфігурація утворює певний режим роботи лінії. Для гілок, стан яких змінюється в ході технологічного процесу, можна скласти таблицю, в якій нуль означає виключену гілку, а одиниця – включену. При наявності в лінії трьох таких гілок матимемо таблицю 1:

Таблиця 1

Можливі режими роботи лінії

Номер п/п	Стан гілок			Режими лінії
	N1	N2	N3	
1	0	0	0	P_0
2	0	0	1	P_1
3	0	1	0	P_2
4	0	1	1	P_3
5	1	0	0	P_4
6	1	0	1	P_5
7	1	1	0	P_6
8	1	1	1	P_7

Ця таблиця являє собою ряд двійкових чисел, розташованих в порядку їх зростання. В цій таблиці можуть бути режими, які фізично неможливі. Так, неможливими будуть режими, в яких виключені всі вхідні або всі вихідні гілки. З решти режимів потрібно відібрати ті режими, які використовуються в даному технологічному процесі. Вирішення цього питання для конкретної лінії (тим більше, що кількість гілок, які змінюють свій стан, невелика) не є складною задачею.

Нехай необхідними будуть режими P_2 , P_5 та P_7 . Ці режими визначаються станом відповідних гілок лінії:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \bar{N}_1 \cdot N_2 \cdot \bar{N}_3, \\
 P_5 &= N_1 \cdot \bar{N}_2 \cdot N_3, \\
 P_7 &= N_1 \cdot N_2 \cdot N_3.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Для включення лінії в певному режимі необхідно мати замовлення на цей режим:

$$L(AD) = P_1 + P_5 + P_7. \tag{2}$$

Лінію можна включати, якщо є замовлення хоч на один її режим, тобто тоді, коли $L(AD) = 1$.

Математичну модель управління багаторежимної лінії, як і для звичайного механізму, представимо у вигляді контрольної та управляючої частин [1].

Стан кожної гілки з динамічних параметрів визначимо як кон'юнкцію стану контрольних тригерів її механізмів:

$$\begin{aligned} N3(TK) &= (p+1)TK \dots nTK, \\ N1(TK) &= 1TK - 2TK - mTK, \\ N2(TK) &= (m+1)TK \dots pTK, \\ N3(TK) &= (p+1)TK \dots nTK. \end{aligned} \tag{3}$$

Стан кожної гілки з статичних параметрів визначимо як кон'юнкцію станів статичних параметрів її механізмів:

$$\begin{aligned} N1(S) &= 1S \cdot 2S \dots mS, \\ N2(S) &= (m+1)S \dots pS, \\ N3(S) &= (p+1)S \dots nS. \end{aligned} \tag{4}$$

Стан кожного режиму з динамічних та статичних параметрів можна визначити, якщо рівняння (3) та (4) підставити в рівняння (1), за винятком тих гілок, які не включені в цьому режимі і стан параметрів яких не повинен впливати на роботу решти гілок лінії:

$$\begin{aligned} P_2(TK) &= \overline{N1(TK)} \cdot N2(TK) \cdot \overline{N3(TK)}, \\ P_5(TK) &= N1(TK) \cdot \overline{N2(TK)} \cdot N3(TK), \\ P_7(TK) &= N1(TK) \cdot N2(TK) \cdot N3(TK), \\ P_2(S) &= \overline{N1(S)} \cdot N2(S) \cdot \overline{N3(S)}, \\ P_5(S) &= N1(S) \cdot \overline{N2(S)} \cdot N3(S), \\ P_7(S) &= N1(S) \cdot N2(S) \cdot N3(S). \end{aligned} \tag{5}$$

Тоді стан лінії з динамічних та статичних параметрів має вигляд:

$$\begin{aligned} L(TK) &= [P_2(TK) + P_5(TK) + P_7(TK)] / [L(TK)_p], \\ L(S) &= [P_2(S) + P_5(S) + P_7(S)] / [L(S)_p], \end{aligned} \tag{6}$$

де $L(TK)_p$ та $L(S)_p$ – стан з відповідних параметрів тих гілок лінії, які в даному технологічному процесі працюють безперервно.

Рівняння (3) ÷ (6) є рівняннями контрольної частини багаторежимної лінії.

Управляюча частина ММу багаторежимної лінії має вигляд:

$$\begin{aligned} (S1) \quad L(TY)_S &= SA_{i-j} \cdot LSb2 \cdot L(AD) \cdot L(TK) \cdot L(S), \\ (R1) \quad L(TY) &= \overline{L(TK)}, \\ (R2) \quad L(TY) &= \overline{L(S)}, \\ (R3) \quad L(TY) &= \overline{L(AD)}, \\ (R4) \quad L(TY) &= LSb1, \\ (R5) \quad L(TY) &= \overline{SA_{i-j}}. \end{aligned} \tag{7}$$

Лінію можна включити (рівняння S1) пусковою кнопкою $LSb2$, якщо:

- положення диспетчерського ключа відповідає автоматичному режимові управління лінією ($SA_{i-j} = 1$);

- є замовлення хоч на один режим роботи лінії ($L(AD) = 1$);

- динамічні параметри працюючих гілок відповідають нормі ($L(TK) = 1$);

- статичні параметри працюючих гілок відповідають нормі ($L(S) = 1$).

Лінія виключається при порушенні її динамічних (рівняння R1) або статичних (рівняння R2) параметрів. Вона може бути виключена стоповою кнопкою $LSb1$ (рівняння R4), при від-

сутності замовлення на режим (рівняння $R3$) або при переводі ключа в ручне положення (рівняння $R5$).

Як і для однорежимної лінії, ММу багаторежимної лінії відповідає ММу механізму безперервного руху [1, 2]. Тому таку лінію можна назвати узагальненим або умовним механізмом. Контрольна частина ММу такої лінії складніша за таку ж однорежимної, але коло задач, яке вирішує ця модель, більш широке.

Модель управління на рівні гілок може складатися лише з управляючої частини, при умові, що вона буде мати у своєму складі і змінну $L(TY)$:

$$Ni(TY) = L(TY) \cdot Ni. \quad (8)$$

В цьому разі порушення якогось з контрольних параметрів виключає $L(TY)$, а значить і $Ni(TY)$.

Остаточний вигляд моделі управління на рівні гілки лінії залежить від способу задання необхідного стану гілки Ni . Найбільш простим є спосіб задання цього стану диспетчерським ключем на два положення:

$$Ni = SA_{i-j}. \quad (9)$$

За допомогою диспетчерських ключів можна задати тільки один режим роботи лінії. Перехід з одного режиму роботи на інший може здійснити лише оператор. В той же час може виникнути задача автоматичного переходу з режиму на режим в залежності від ситуації, яка склалась. Такі задачі можуть виникнути, наприклад, на елеваторах, де питання вибору працюючих гілок лінії визначається наявністю матеріалу в одних ємностях та наявністю місця в інших. Автоматичний режим управління можливий тільки при наявності датчика, який визначає технологічну можливість роботи даної гілки. Назвемо цей датчик «приведеним» датчиком – $X_{np}(i)$. Тоді:

$$Ni = X_{np}(i). \quad (10)$$

Конкретний вигляд $X_{np}(i)$ буде наведений далі.

При наявності датчика замовлені режими будуть мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} P_2 &= \overline{X_{np1}} \cdot X_{np2} \cdot \overline{X_{np3}}, \\ P_5 &= X_{np1} \cdot \overline{X_{np2}} \cdot X_{np3}, \\ P_7 &= X_{np1} \cdot X_{np2} \cdot \overline{X_{np3}}. \end{aligned} \quad (11)$$

В системі (11) число можливих режимів роботи лінії задається кількістю рівнянь. Виконується один з них в залежності від стану відповідних датчиків.

Особливості технологічного процесу можуть вимагати, щоб деякі режими були на деякий час виключені. Це не можна зробити виключенням рівнянь з системи (11), тому що ці режими можуть знадобитися в інший час. У цьому випадку доцільно дати можливість оператору виключити з роботи відповідні режими, що можна зробити за допомогою диспетчерських ключів.

$$\begin{aligned} P_2 &= \overline{X_{np1}} \cdot X_{np2} \cdot \overline{X_{np3}} \cdot SA_{2j}, \\ P_5 &= X_{np1} \cdot \overline{X_{np2}} \cdot X_{np3} \cdot SA_{5j}, \\ P_7 &= X_{np1} \cdot X_{np2} \cdot \overline{X_{np3}} \cdot SA_{7j}. \end{aligned} \quad (12)$$

Датчики, які визначають технологічну можливість роботи гілки лінії, можуть бути різноманітними, в тому числі й математичні датчики (тригерні змінні). Це можуть бути датчики наявності матеріалів у вхідних гілках лінії, датчики наявності місця у вихідних гілках. В будь-якому випадку треба надати оператору можливість імітувати як включений, так і виключений стан цих датчиків.

При використанні одного датчика SQi модель «приведеного» має вигляд:

$$\begin{aligned}
 X_{np}(i)_{S1} &= \overline{SQ}_i \cdot \overline{SA}_{i-1} \cdot \overline{SA}_{i-2}, \\
 X_{np}(i)_{S2} &= \overline{SA}_{i-1} \cdot \overline{SA}_{i-2}, \\
 X_{np}(i)_{R1} &= SQ_i \cdot \overline{SA}_{i-1} \cdot \overline{SA}_{i-2}, \\
 X_{np}(i)_{R2} &= SA_{i-2}.
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Наведена модель дозволяє реалізувати три необхідних варіанти управління датчиком $X_{np}(i)$. При $SA_{i-1} = 0$ та $SA_{i-2} = 0$, $X_{np}(i) = SQ_i$. (Включення рівнянням $S1$, виключення – рівнянням $R1$). При $SA_{i-1} = 1$ та $SA_{i-2} = 0$, $X_{np}(i) = 1$ (включення рівнянням $S2$). При $SA_{i-2} = 1$, $X_{np}(i) = 0$ (виключення рівнянням $R2$).

Досить часто технологічну можливість роботи гілки лінії визначають два датчики (наприклад, заповнення ємності по двох рівнях):

SQ_b – датчик верхнього рівня;

SQ_h – датчик нижнього рівня.

Модель «приведеного» датчика в цьому разі має вигляд:

$$\begin{aligned}
 X_{np}(i)_{S1} &= \overline{SA}_{j-1} \cdot \overline{SA}_{i-1} \cdot \overline{SA}_{i-2} \cdot \overline{SQ}_h \cdot \overline{SQ}_b, \\
 X_{np}(i)_{S2} &= \overline{SA}_{j-1} \cdot \overline{SA}_{i-1} \cdot \overline{SA}_{i-2} \cdot \overline{SQ}_b, \\
 X_{np}(i)_{S3} &= \overline{SA}_{j-1} \cdot \overline{SA}_{i-1} \cdot SA_{i-2} \cdot \overline{SQ}_h, \\
 X_{np}(i)_{S4} &= \overline{SA}_{j-2}, \\
 X_{np}(i)_{R1} &= SQ_b \cdot \overline{SA}_{i-2}, \\
 X_{np}(i)_{R2} &= SQ_h \cdot SA_{i-1} \cdot \overline{SA}_{i-2}, \\
 X_{np}(i)_{R3} &= SA_{j-1}.
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Положення диспетчерських ключів визначає рівняння, які переключають приведений датчик $X_{np}(i)$. При $SA_{j-1} = 0$, $SA_{i-1} = 0$ та $SA_{i-2} = 0$, $X_{np}(i)$ включається рівнянням $S1$, а виключається – рівнянням $R1$, що відповідає заповненню ємності по двох рівнях. В цьому разі ємність вважається незаповненою до тих пір, доки рівень матеріалу в ній не досягне верхньої контрольної точки. При витраті матеріалу ємність вважають заповненою, доки рівень в ній не опуститься до нижньої контрольної точки.

При $SA_{j-1} = 0$, $SA_{i-1} = 1$ та $SA_{i-2} = 0$ $X_{np}(i)$ включається рівнянням $S2$, а виключається – рівнянням $R1$. В цьому разі контрольною точкою ємності є верхня.

При $SA_{j-1} = 0$, $SA_{i-1} = 0$ та $SA_{i-2} = 1$ $X_{np}(i)$ (включається рівнянням $S3$, а виключається рівнянням $R2$), що відповідає заповненню ємності по нижньому датчику.

Рівняння $S4$ встановлює $X_{np}(i)$ в одиничний стан, а рівняння $R3$ – в нульовий, незалежно від стану датчиків.

Якщо немає потреби імітувати стан датчиків, диспетчерські змінні в системах рівнянь (13) та (14) можна виключити.

При використанні одного датчика рівня без імітації його стану модель «приведеного» має вигляд:

$$\begin{aligned}
 X_{np}(i)_{S1} &= SQ_i, \\
 X_{np}(i)_{R1} &= \overline{SQ}_i.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

При використанні двох датчиків рівня без імітації модель «приведеного» має вигляд:

$$\begin{aligned}
 X_{np}(i)_{S1} &= \overline{SQ}_b \cdot \overline{SQ}_h, \\
 X_{np}(i)_{R1} &= SQ_b.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Введення моделей $X_{np}(i)$ дозволяє залишити без змін всі рівняння управління як на рівні лінії, так і на рівні її гілок. Легше скласти модель «приведеного» датчика, ніж трансформу-

вати під нього моделі управління.

Змінні $Ni(TY)$ не вимагають RS-тригерів для пам'яті (достатньо мати D-тригер). Вони дорівнюють нулю тоді, коли необхідно виключити гілку ($Ni = 0$), або коли необхідно виключити лінію ($L(TY) = 0$).

Управління процесом пуску або зупинки багаторежимної лінії складніше, ніж однорежимною. Кожен механізм повинен мати команди включення та виключення як від рівня гілки, так і від рівня лінії, а алгоритми такого управління можуть бути різними. Для того, щоб система управління могла розрізнити режими роботи гілки, введемо тригер Tz (тригерну змінну), який включається командою $Ni(TY)$ з затримкою на час пуску гілки $t(nz)$, а виключається інверсним значенням цієї команди з затримкою на час зупинки гілки $t(3nz)$.

$$(T_r)_S = N_i(TY) \rightarrow t(nz) \rightarrow .$$

$$(T_r)_R = \overline{N_i(TY)} \rightarrow t(3nz) \rightarrow .$$

Тоді комбінації змінних $Ni(TY)$ та Tz означають:

$$\overline{T_z} \cdot \overline{N_i(TY)} \text{ --- гілка не працює;}$$

$$\overline{T_z} \cdot N_i(TY) \text{ --- запуск механізмів гілки;}$$

$$T_z \cdot N_i(TY) \text{ --- нормальний режим роботи гілки;}$$

$$T_z \cdot \overline{N_i(TY)} \text{ --- зупинка механізмів гілки.}$$

Якщо останній механізм гілки належить до першої групи, то його модель управління має вигляд:

$$pTY_{S1} = N_p(TY), \tag{17}$$

$$pTY_{R1} = \overline{pTK},$$

$$pTY_{R2} = \overline{pS} \rightarrow t(s) \rightarrow ,$$

$$pTY_{R3} = \overline{N_p(TY)} \rightarrow t(3\Gamma) \rightarrow .$$

Механізм включається від команди власної гілки. Команда R3 виключає механізм, якщо виключається гілка. Час $t(3z)$ дорівнює часу сходу матеріалу з механізмів гілки.

Як і для однорежимної лінії, модель управління механізмом не залежить від типу технологічного процесу.

Якщо останній механізм гілки належить до другої групи, то його модель управління має вигляд:

$$pTY_{S1} = \dots N_p(TY) \cdot T_\Gamma ,$$

$$pTY_{S2} = N_p(TY) \cdot \overline{T_\Gamma} ,$$

$$pTY_{R1} = \overline{pTK},$$

$$pTY_{R2} = \overline{pS} \rightarrow t(s) \rightarrow ,$$

$$pTY_{R3} = T_\Gamma \cdot N_p(TY) \dots \rightarrow t(3z),$$

$$pTY_{R4} = T_\Gamma \cdot \overline{N_p(TY)} \rightarrow t(3nz). \tag{18}$$

Рівняння S2 включає механізм при пуску гілки. Рівняння S1 включає його в нормальному режимі роботи гілки. Рівняння R3 виключає механізм в нормальному режимі роботи гілки. Рівняння R4 виключає механізм із затримкою $t(3nz)$ при виключенні гілки.

В цій моделі необхідно дозаповнити лише два рівняння, щоб урахувати особливості управління механізмом в конкретному технологічному процесі.

Для проміжних та перших механізмів гілки моделі управління механізмами не наводяться, тому що вони відрізняються від раніше наведених тільки тим, що в них, замість змінної $L(TY)$, стоїть змінна Ni .

При складанні цих моделей управління треба мати на увазі, що існує певна послідовність

включення гілок лінії. Це визначає і послідовність включення механізмів. Нехай послідовність включення гілок лінії буде такою, як це зображено на рис. 1.

В цьому разі останній механізм гілки *N3* буде включено тоді, коли включені перші механізми гілок *N4* та *N5*. Взагалі, послідовність включення гілок вирішується на рівні механізмів із застосуванням змінних вищого рівня. Цілком можливо, що деякі механізми різних гілок лінії повинні включатися або виключатися одночасно. Наприклад, необхідно одночасно включити перший механізм гілки *N3*, коли будуть включені останні механізми гілок *N4* та *N5*. В цьому разі серед умов включення цього механізму будуть змінні стану останніх механізмів гілок *N4* та *N5*.



Рис. 1. Послідовність включення гілок лінії

ММу багаторежимної лінії дозволяє організовувати управління як окремими механізмами лінії, так і її гілками, а також забезпечує взаємодію декількох технологічних ліній.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Корнійчук А. І. Методика складання рівнянь управління логічних об'єктів. – Житомир: ЖІТІ, 1996. – 194 с.
2. Корнійчук А. І. Базова математична модель управління механізму безперервного руху // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту, 199 . – № 4, – С. 153 - 156.

КОРНІЙЧУК Анатолій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматика та управління в технічних системах» Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– автоматизація технологічних процесів у промисловості.