УДК 628.007.52

М.М. Ткач

ВИЗНАЧЕННЯ ВИДІВ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ГВС

Вступ. Сучасні темпи науково-технічного прогресу викликають суттєві зміни у сфері виробництва. Це пов'язано головним чином з постійним вдосконаленням та оновленням продукції, яка випускається, що у свою чергу, викликає необхідність постійної перебудови виробництва. У зв'язку з цим визначальне значення набуває використання гнучких виробничих систем (ГВС), які побудовані на базі окремих гнучких виробничих модулів (ГВМ) і являють собою якісно новий рівень технічного оснащення та організації виробництва [1].

Широке впровадження ГВС потребує вирішення ряду задач, які виникають при їх проектуванні. Однією з таких задач є вибір необхідної кількості ГВМ, закріплення за ними відповідних операцій та пошук раціональних компонувальних рішень. Суть цієї задачі полягає в тому, щоб виходячи з заданого опису операцій технологічних структур (ТС) окремих групових операцій та безпосередніх зв'язків між ними отримати інформацію про ТС ГВС у цілому та визначити основні її структурні компоненти [2].

Аналіз попередніх досліджень. Отримані в роботах [3,4] групові операції $\text{ГрОП}=\{\text{ГрОПj}\}, j=[1,J]$ та їх технологічні структури $TS_{Гр}=\{TS_{Гр_i}\}, i=[1,I]$ можуть бути використані для вивчення питань, які пов'язані з закріпленням операцій за ГВМ. Математичний опис структурних співвідношень між операціями *ГрОП* дає можливість побудувати формальні процедури та машинні алгоритми їх структурного аналізу, які дозволять чітко визначити різні структурні утворення та провести закріплення їх за ГВМ.

В залежності від глибини структурного дослідження групових операцій приймаються до уваги ті або інші групи факторів, які визначають відношення між операціями. Так, при первинному аналізі технологічної структури $TS_{Гр_k}$ групової операції $ГрОП_k$ вже достатнім є встановлення самого факту наявності зв'язків між тими або іншими операціями [5]. Більш глибоке дослідження технологічної структури $TS_{Гр_k}$ потребує врахування напрямку цих зв'язків, а при подальшому поглибленні структурного аналізу і взаємозв'язків між операціями.

Мета роботи – визначення та побудова формального опису різних видів взаємозв'язків між операціями, які концентрують у собі дані про технологічні структури групових операцій ГВС.

Матеріал і результати дослідження. Для визначення видів взаємозв'язків між елементами технологічних структур ГВС розглянемо пару операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}, i,k = 0,1,...,P$, які належать j-й технологічній структурі і пов'яжемо з ними двомісний предикат [5]

$$\alpha(i,k) = \beta(i,k) \vee \gamma(i,k), \tag{1}$$

де $\beta(i,k)$ - компонента вхідних зв'язків операції $ОП_{ji}$ від операції $ОП_{jk}$, а $\gamma(i,k)$ - компонента вихідних зв'язків операції $ОП_{ji}$ до операції $ОП_{jk}$. Тоді, якщо

$$\left[\alpha(i,k) \vee \alpha(k,i)\right] = 1, \tag{2}$$

то операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ мають назву безпосередньо пов'язаних в даній структурі. Очевидно, що в силу (1) співвідношення (2) еквівалентне

$$\left[\beta(i,k) \vee \beta(k,i) \vee \gamma(i,k) \vee \gamma(k,i)\right] = 1. \tag{3}$$

Виконання співвідношень (2) або (3) означає, що хоча б одна із множин $\left[X^{(i,k)}\right], \left[Y^{(i,k)}\right], \left[X^{(k,i)}\right]$ або $\left[Y^{(k,i)}\right]$ є не пустою ($\left[X^{(i,k)}\right]$ - множина вхідних зв'язків $ОП_{ji}$ від $ОП_{jk}$, $\left[Y^{(i,k)}\right]$ - множина вихідних зв'язків $ОП_{ji}$ до $ОП_{jk}$, $\left[X^{(k,i)}\right]$ та $\left[Y^{(k,i)}\right]$ - відповідно множини вхідних та вихідних зв'язків від $ОП_{jk}$ до $ОП_{ji}$), тобто між двома елементами ТС є безпосередній зв'язок. На прикладі ТС, яка наведена на рис. 1 операція $ОП_1$ безпосередньо зв'язана з операціями $ОП_2$ та $ОП_3$, операція $ОП_6$ - з операціями $ОП_3$, $ОП_5$, $ОП_7$, $ОП_{10}$ і т.д.

 ISSN 1562-9945

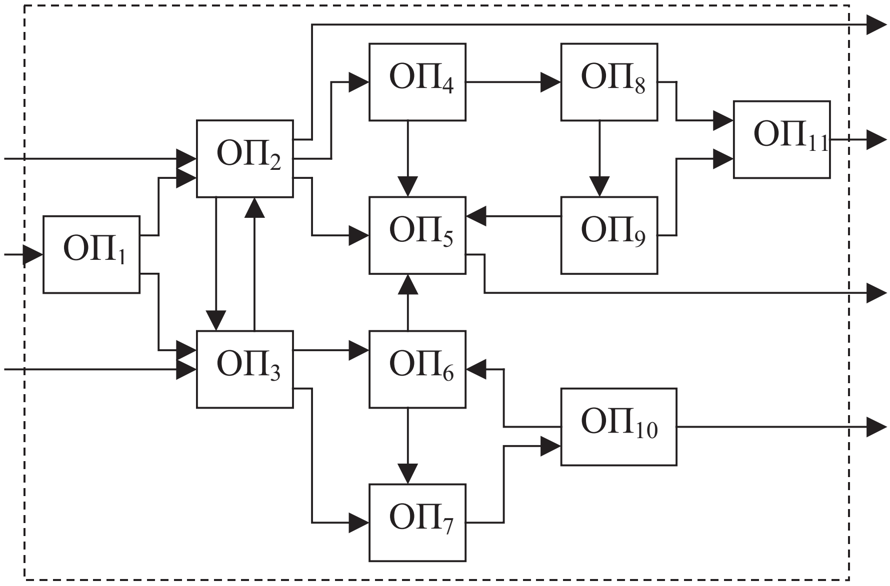

Рисунок 1 - Приклад ТС групової операції

Безпосередні зв’язки між елементами ТС можна наочно відобразити у вигляді неорієнтованого графа, вершини якого відповідають операціям відповідної групової операції, а ребра – зв’язкам між ними. Граф безпосередніх зв’язків для попереднього прикладу ТС наведений на рис. 2.

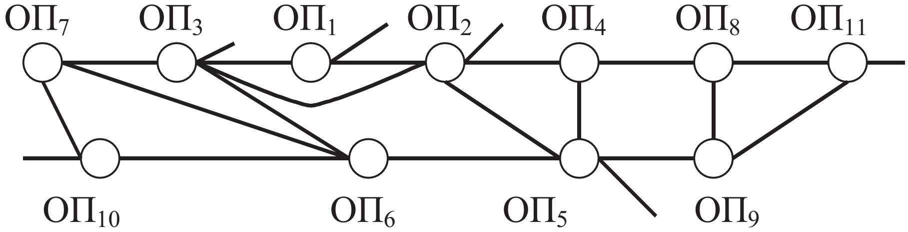

Рисунок 2 - Граф безпосередніх зв’язків між елементами ТС

Для проведення аналізу ТС суттєве значення мають види безпосередніх зв’язків між її елементами.

Будемо вважати, що операція $ОП_{jk}$ безпосередньо іде слідом за операцією $ОП_{ji}$ (операція $ОП_{ji}$ безпосередньо передує операції $ОП_{jk}$), якщо

$$\gamma(i,k)=1. \tag{4}$$

Це означає, що вихідні зв’язки, які йдуть від елемента $ОП_{ji}$ до інших елементів ТС, потраплять і до $ОП_{jk}$. Причому сприймаються останньою як вхідні зв’язки (наряду із вхідними зв’язками, які йдуть від інших елементів ТС та зовнішнього середовища).

Очевидно, що даний елемент, якщо він навіть є зовнішнім елементом, може безпосередньо йти слідом за декількома (безпосередньо передувати декільком) елементам ТС.

Звернімось до прикладу ТС, який представлений на рис. 1. Операція $ОП_1$ безпосередньо передує операціям $ОП_2$, $ОП_3$; операція $ОП_2$ безпосередньо йде слідом за операціями $ОП_1$ та $ОП_3$ і в той же час безпосередньо передує операціям $ОП_3$, $ОП_4$ та $ОП_5$; операція $ОП_7$ безпосередньо йде слідом за операціями $ОП_3$ та $ОП_6$ і безпосередньо передує операції $ОП_{10}$ і т.д.

Безпосередні зв’язки цього виду відображаються за допомогою орієнтованих графів (напрямки дуг співпадають із напрямками послідовностей виконання операцій). Для приклада ТС, який розглядається, орієнтований граф зв’язків між її елементами зображений на рис. 3.

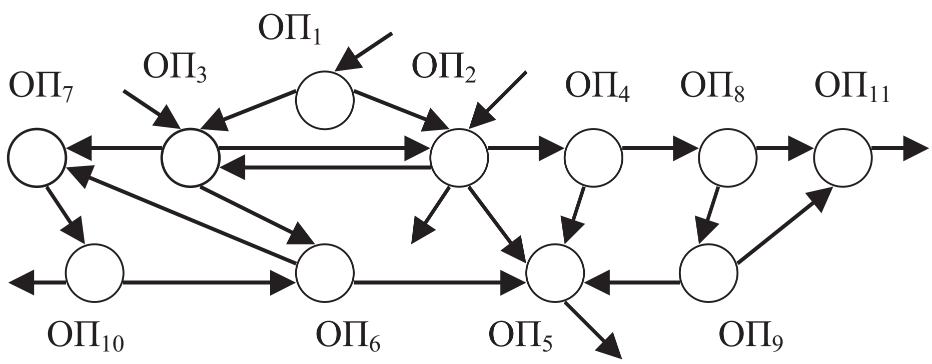

Рисунок 3 - Орієнтований граф зв’язків між елементами ТС

З точки зору аналізу ТС великий інтерес представляють різні види зв’язків між її елементами, які здійснюються не на пряму, а через інші елементи.

В технологічній структурі $TS_{Гр_k}$, яка має операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$, $i,k=1,2,...,N$, утворимо сукупність операцій E_m виду $ОП_{ji}, ОП_{jl_1}, ОП_{jl_2}, ..., ОП_{jl_r}, ОП_{jk}$ розміщуючи між $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ будь-які сукупності з операцій, що залишились. Пронумеруємо отримані сукупності E_m в деякому фіксованому для даної ТС порядку $m=1,2,...,s$. Крім того, уведемо нумерацію операцій $\{ОП_{jp}\}$ в кожній

 ISSN 1562-9945

сукупності E_m, $p = 0,1,...,f_m$. При цьому під $ОП_{j0}$ будемо розуміти $ОП_{ji}$, а під $ОП_{jf_m}$ - $ОП_{jk}$. Уведені означення будемо використовувати для опису відносин між елементами ТС.

Будемо вважати, що операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ слабко зв'язані в даній ТС, якщо в цій ТС існує хоча б одна сукупність операцій E_m така, що будь-які дві її сусідні (p-а та $p+1$-а, $p = 0,1,2,...,f_m$) операції безпосередньо зв'язані.

Відношення слабкого зв'язку між елементами ТС можуть бути представлені за допомогою ланцюгів (послідовностей ребер графа, в яких кожні два сусідніх ребра мають загальну кінцеву точку) на графі безпосередніх зв'язків (рис. 2). На цьому графі, наприклад, між операціями $ОП_3$ та $ОП_5$ існують наступні ланцюги: $ОП_3ОП_6ОП_5$, $ОП_3ОП_1ОП_2ОП_5$, $ОП_3ОП_2ОП_5$, і т.д. Таким чином, порівнюючи ці означення можна зробити висновок, що безпосередньо зв'язані операції слабко зв'язані, тобто, що відношення безпосереднього зв'язку є поодиноким випадком відношення слабкого зв'язку (коли сукупність E_m складається тільки з двох операцій $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$).

Наведене вище означення відношення слабкого зв'язку для будь-яких двох операцій $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ потребує, щоб існувала хоча б одна сукупність операцій E_m така, яка має наступні властивості:

1) операція $ОП_{ji}$ є першим елементом E_m, а $ОП_{jk}$ - останнім;

2) для будь-якого p за умови $0 \subseteq p \subseteq f_m$ випливає наявність безпосереднього зв'язку між $ОП_{jn(p,m)}$ та $ОП_{jn(p+1,m)}$.

Першу з цих властивостей можна описати тримісним предикатом

$$\xi(i,k,m) = \left(\left\{n(0,m) = i\right\} \wedge \left\{n\left[f_m, m\right] = k\right\}\right). \tag{5}$$

Другу властивість можна описати за допомогою двох предикатів: предиката умови

$$\mu(p,m) = \left[0 \subseteq p \subseteq f_m\right], \tag{6}$$

та предиката наслідку

$$\left(\alpha\left[n(p,m), n(p+1,m)\right] \vee \alpha\left[n(p+1,m), n(p,m)\right]\right). \tag{7}$$

Використовуючи квантори існування $(\exists E_m)$ - "існує така сукупність E_m" та загальності $(\forall p)$ - "для будь-якого p" відношення слабкого зв'язку між операціями $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ даної ТС можна описати двомісним предикатом

$$\begin{aligned}&\nu(i,k)=(\exists E_m)[\xi(i,k,m)\wedge(\forall p)(\mu(p,m))\rightarrow\\&\{\alpha[n(p,m),n(p+1,m)]\vee\alpha[n(p+1,m),n(p,m)]\}].\end{aligned} \tag{8}$$

Оскільки в силу тотожностей булевої алгебри $X_1 \rightarrow X_2 = \overline{X_1} \vee X_2$, вираз для $\nu(i,k)$ можна записати у вигляді

$$\begin{aligned}&\nu(i,k)=(\exists E_m)(\xi(i,k,m)\wedge(\forall p)\{\overline{\mu}(p,m)\vee\\&\alpha[n(p,m),n(p+1,m)]\vee\alpha[n(p+1,m),n(p,m)]\}).\end{aligned} \tag{9}$$

Виходячи із предиката $\nu(i,k)$ очевидне означення відношення слабкого зв'язку між елементами ТС: елементи ТС $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ мають назву слабко зв'язаних, якщо для фіксованих i та k предикат $\nu(i,k)=1$.

Якщо елементи $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ не є слабко зв'язані, то вони мають назву не зв'язані. Тоді для фіксованих i та k предикат $\nu(i,k)=0$.

Таким чином, якщо операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ не є зв'язані в будь-якій сукупності E_m, яка має властивості (5), знайдеться хоча б одна пара сусідніх операцій, які не є безпосередньо зв'язаними.

Будемо вважати, що операція $ОП_{ji}$ передує операції $ОП_{jk}$ (операція $ОП_{jk}$ іде слідом за операцією $ОП_{ji}$), якщо в даній ТС існує хоча б одна сукупність E_m така, що будь-яка операція, яка їй належить, безпосередньо іде слідом за попередньою.

На орієнтованому графі зв'язків між елементами ТС (рис. 3) операція $ОП_7$ іде слідом за операціями $ОП_3$, $ОП_6$ і передує операції $ОП_{10}$, операція $ОП_6$ передує операціям $ОП_7$, $ОП_5$ і йде слідом за операціями $ОП_3$, $ОП_{10}$ і т.д. Якщо операція $ОП_{ji}$ передує операції $ОП_{jk}$ то на графі зв'язків існує шлях $ОП_{ji}, ОП_{jk}$ (орієнтований ланцюг або послідовність дуг, початок кожної з яких є кінцем попередньої), наприклад, шляхи $ОП_3ОП_2ОП_5$, $ОП_3ОП_6ОП_5$, $ОП_3ОП_7ОП_{10}ОП_6ОП_5$ і т.д. Очевидно, що дана операція може йти слідом за декількома операціями та передувати декільком операціям в ТС.

 ISSN 1562-9945

Сукупність E_m, існування якої в даному випадку вимагається означенням відношення “передує - іде слідом”, володіє властивістю (5). Крім того, повинна мати місце умова (6), а наслідок, який випливає з неї, буде мати вид $\gamma\left[n(p,m),n(p+1,m)\right]$. Тому відношення “передує – іде слідом” описується двомісним предикатом

$$\eta(i,k)=(\exists E_m)[\xi(i,k,m)\wedge(\forall p)\{\mu(p,m)\rightarrow \gamma\left[n(p,m),n(p+1,m)\right]\}] \qquad (10)$$

або

$$\eta(i,k)=(\exists E_m)[\xi(i,k,m)\wedge(\forall p)\{\overline{\mu}(p,m)\vee \gamma\left[n(p,m),n(p+1,m)\right]\}]. \qquad (11)$$

Очевидно можна дати визначення відношенню “передує – іде слідом”: операція $ОП_{ji}$ передує операції $ОП_{jk}$ (операція $ОП_{jk}$ іде слідом за операцією $ОП_{ji}$), якщо $\eta(i,k)=1$.

Якщо операція $ОП_{ji}$ передує операції $ОП_{jk}$, або іде слідом за операцією $ОП_{jk}$, то операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ мають назву сильно зв’язані.

Відношення сильного зв’язку між елементами ТС еквівалентне наявності хоча б одного із двох шляхів $ОП_{ji}\,ОП_{jk}$ або $ОП_{jk}\,ОП_{ji}$ на орієнтованому графі зв’язків між елементами ТС (рис. 3).

Слід відмітити різницю відношень сильного та слабкого зв’язку між операціями. Ця різниця гарно інтерпретується на наведених вище графах. На відміну від сильно зв’язаних операцій для слабко зв’язаних операцій існування шляхів не обов’язкове, достатньо існування хоча б одного ланцюга.

Для нашого прикладу операції $ОП_4$ та $ОП_1$ сильно зв’язані (шляхи $ОП_1ОП_2ОП_4$, $ОП_1ОП_3ОП_2ОП_4$ на графі рис. 3), але операції $ОП_4$ та $ОП_6$ слабко зв’язані (ланцюги на графі $ОП_4ОП_5ОП_6$, $ОП_4ОП_2ОП_3ОП_6$ і т.д.); операції $ОП_3$ та $ОП_9$, а також $ОП_3$ та $ОП_{11}$ сильно зв’язані (шляхи $ОП_3ОП_2ОП_4ОП_8ОП_9$ та $ОП_3ОП_2ОП_4ОП_8ОП_{11}$); операції $ОП_4$ та $ОП_{10}$ слабко зв’язані і т.д.

Відношення слабкого зв’язку між операціями має властивість транзитивності, тобто якщо операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ слабко зв’язані, операції $ОП_{jk}$ та $ОП_{jl}$ слабко зв'язані, то операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jl}$ теж слабко зв'язані.

Для відношення сильного зв'язку між операціями властивість транзитивності в загальному випадку не має місця. В нашому прикладі операції $ОП_6$ та $ОП_5$ сильно зв'язані, операції $ОП_5$ та $ОП_4$ сильно зв'язані, але операції $ОП_6$ та $ОП_4$ зв'язані лише слабко.

Висновки. Отримані предикати (8) – (11) можуть бути використані для розробки алгоритмів розпізнавання видів зв'язків між елементами ТС, які являються обов'язковою складовою процедур їх структурного аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

2. 1.Гибкие производственные комплексы/Под ред. П.Н. Белянина, В.А. Лещенко, М.Машиностроение, 1984. – 384с.
3. 2.Ткач М.М. Основні концепції методології структурного системного аналізу і проектування ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2003 №6(26). С.90-93.
4. 3.Ткач М.М., Поліщук М.М. Методологія формування групових операцій при проектуванні ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2005 №8(28). С. 142-146.
5. 4.Ткач М.М. Моделювання технологічних структур ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2007 №10(306). С.142-151.
6. 5.Ткач М.М. Формалізований опис відносин між елементами технологічних структур ГВС //Вісник ХНАДУ - 2007 №37. С. 134-135.

Получено 07.09.2007 г.