

В.А. Кирилович, д.т.н., проф.
Житомирський державний технологічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Всезростаючий випуск та впровадження промислових роботів (ПР) як універсальних засобів гнучкої автоматизації машино- та приладобудування, а також недосконалість існуючих методів проектування гнучких виробничих комірок (ГВК) та автоматизованого синтезу (АС) оптимальних роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) на них вказують на те, що дослідження конкретних завдань цих проблем є актуальним.

Метою роботи є висвітлення особливостей організації обчислень при АС РМСТ в механоскладальних ГВК машино- та приладобудування, що відтворюють змістовну сутність вказаних технологій та обрану стратегію синтезу. За загальну стратегію автоматизованого синтезу (АС) як методичної основи досліджень обрано розгалужено-циклічну стратегію. Остання разом із генерувальним принципом організації обчислювальних процедур, трирівневою стратегією АС РМСТ, що запропонована раніше, та сутністю РМСТ є загальною основою щодо розкриття особливостей організації обчислень. Розроблені формалізми при цьому враховують вхідні дані, обмеження, математичні моделі, ресурси, мету проектування та критерії оцінки отриманих результатів. Формальною основою обчислювальних процедур є функція автоматизованого синтезу (ФАС) РМСТ. В основу формування системних зв'язків між рівнями та всередині них покладено інформаційні, адаптивні та концептуальні зв'язки.

Вказане реалізовано алгоритмічно та програмно як складова системи АС РМСТ в ГВК, що розроблена в Житомирському державному технологічному університеті.

Ключові слова: автоматизований синтез; стратегія; принципи; роботизована технологія; формалізми; зв'язки.

Вступ. Одним зі шляхів забезпечення гнучкості виробництва є використання таких універсальних засобів автоматизації, як промислові роботи (ПР), схвати (Сх) яких з/без об'єктів маніпулювання (ОМ) виконують допоміжні технологічні операції типу завантажити, розвантажити, перевстановити, транспортувати, є тією зв'язковою ланкою, що значною мірою визначає ефективність роботизації виробництва як такого [1, 3, 11, 12].

Важливість досліджень даної проблеми підкреслюється тим, що, незважаючи на кризові явища сучасної світової економіки та виробництва, за даними міжнародної федерації робототехніки (IFR), кількість ПР, що випускаються та впроваджуються в різні галузі сучасного виробництва, невпинно збільшується [14]. Це однозначно вказує на необхідність продовження наукових та прикладних досліджень, що пов'язані з ефективною експлуатацією ПР як гнучких та універсальних засобів автоматизації механоскладальних виробництв машино- та приладобудування. Однією з необхідних та реальних науково-технічних проблем при проектуванні роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) є їх синтез на попередньо обраному і тому відомому технічному базисі (ВТБ), тобто при відомих кількості та моделях одиниць основного (ОТО) та допоміжного (ДТО) технологічного обладнання, що формують множину робочих позицій гнучких виробничих комірок (ГВК). Синтез РМСТ є невід'ємною складовою проектування ГВК та РМСТ на них [1, 15, 17].

Автоматизований синтез (АС) РМСТ на ВТБ ГВК означає автоматизоване генерування множини РМСТ на множині відомих структурних складових та елементів ГВК – ОТО, ДТО, ПР та ОМ з наступним автоматизованим вибором оптимальної РМСТ за попередньо обраним критерієм та прийнятими обмеженнями. При цьому організація процесу АС РМСТ є апіорі однозначно невизначеною.

Аналіз публікацій. Як показує практика проектування роботизованих технологічних структур [1, 11–13, 16], при прийнятті системних технологічних рішень (СТР) АС РМСТ можуть бути використані принципи: генерувальний та варіантний.

За варіантним принципом організації процесу синтезу вихідна інформація є результатом відповідних розрахунків за попередньо обраним варіантом параметрів щодо постановки

загальної задачі синтезу. При цьому, як правило, достатньо ймовірним є отримання результату розрахунків, що не є оптимальними.

Варіантний принцип здебільшого є характерним для одноразових перевірочних розрахунків параметрів та показників РМСТ при модернізації існуючих ГВК.

Принципи генерування рішень, в даному випадку – СТР, порівняно з варіантним принципом, передбачає врахування при синтезі РМСТ різноманітних поєднань конструктивних та технологічних параметрів та порівняльний вибір множини допустимих СТР, серед якої, за необхідністю, в свою чергу, обирається оптимальне СТР.

Порівняльний зміст варіантного та генерувального критеріїв синтезу РМСТ спрощено проілюстровано рисунком 1.

Як *стратегія автоматизованого синтезу* (САС) взагалі в подальшому розуміється укрупнений план розв'язування задач автоматизованого синтезу РМСТ, що визначають структуру РМСТ та склад підсистеми синтезу [12, 13]. Фактично, це – укрупнений план розв'язування задач синтезу, що означає послідовність дій для перетворення вхідних даних In^{d_s} , інформаційних $I(\tau)$, матеріальних $M(\tau)$ та енергетичних $E(\tau)$ даних в кінцеві дані Ou^{d_s} .

Постановка завдання та мета роботи. Найбільш проста – *лінійна* САС, що складається з ланцюга послідовних етапів, в якій кожна дія залежить від результатів попередньої й не залежить від результатів наступних дій. *Циклічна* САС передбачає ітераційне повернення до одного з попередніх етапів для покращення синтезованих варіантів СТР. *Розгалужена* САС відрізняється можливістю паралельного використання задач певних етапів, що значно спрощує тривалість синтезу та оцінювання альтернативних варіантів синтезу. В *адаптивних* САС вибір кожної дії залежить від результатів попередньої дії за умови, що попередньо визначеним є лише попередній крок синтезу. САС *прирошення*, що є варіантом адаптивної стратегії, дозволяє виконувати автоматичну оптимізацію. Її ризики визначаються можливістю пропустити прийнятні рішення або за достатньо великих, або за достатньо малих природженнях, коли неможливо охопити все поле пошуку синтезованих СТР. Абсолютна відсутність плану є відмінною рисою *випадкової* САС. При цьому при виборі кожного етапу свідомо не враховуються результати інших етапів, що вказує на неупереджений характер пошуку.

Тому **метою** роботи є висвітлення особливостей організації обчислень при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій, що відтворюють змістовну сутність вказаних технологій та обрану стратегію синтезу.

З врахуванням прийнятої багаторівневої стратегії АС РМСТ [10], принципів [4] та сутності [2, 3, 7, 17,18] РМСТ та на підставі аналізу згаданих вище та інших інформаційних джерел як робочу САС обрано *розгалужено-циклічну*. При цьому на певних рівнях синтез ведеться послідовно або паралельно, а розв'язування деяких задач вимагає циклічності (ітераційного уточнення). Наприклад, при розв'язуванні задач функціональної реалізованості [9] паралельно можна розв'язувати задачі щодо визначення функцій WP_i – геометричної досяжності ${}_f\varphi_i^{d_s}$ для кожної з T^{d_s} робочих технологічних позицій ГВК, а розв'язування комплексу задач за рівнями виконується послідовно з можливим ітераційним коригуванням СТР як всередині рівнів, так і між ними [6, 9].

Викладення основної частини. Ілюстрацією обраного принципу розгалужено-циклічної стратегії є рисунок 1, де представлена пропонувана загальна схема синтезу РМСТ на ВТБ ГВК згідно з прийнятою в [10] стратегією АС РМСТ.

Прийнята розгалужено-циклічна стратегія АС РМСТ визначає лише загальний план синтезу. Методи і засоби розв'язання задач синтезу базуються на теоретичних положеннях методик автоматизованого проектування ГВК та обираються при реалізації конкретних процедур синтезу.

Принцип декомпозиції об'єкта та процесу синтезу, тобто РМСТ та її АС в даній постановці, визначається прийнятою стратегією АС і тому як результат застосування принципу декомпозиції [4] виконується на трьох рівнях lv : функціональному, параметричному та критеріальному [6, 9]:

– перший рівень (f -рівень функціональної реалізованості) є відображенням функціональності як такої і ставить за мету зіставити конструктивні та геометрично-кінематичні параметри ПР та ТО ГВК з чи без наявності ОМ в СхПР [9];

– другий рівень (p -рівень параметричної реалізованості) вказує на параметри реалізації визначеної на першому рівні множини показників РМСТ в їх дещо розширеній постановці з врахуванням технологічних можливостей ПР, що визначають параметри РМСТ [8];

– третій рівень (c -рівень критеріальної реалізованості) враховує прийнятий глобальний критерій оптимізації її обмеження та формує множину РМСТ, що ранжовані за глобальним критерієм і відповідають прийнятним умовам та обмеженням [5].

У цьому випадку процес синтезу може бути представлений у вигляді впорядкованої множини задач, що розв'язуються на відповідному рівні. У загальному випадку дія вирішувальної процедури ${}_{lv}Dp^{d_g}$ на певному рівні lv означає переведення вхідних даних ${}_{lv}In^{d_g}$ в деяке СТР, що є ${}_{lv}Ou^{d_g}$:

$${}_{lv}Dp^{d_g} : {}_{lv}In^{d_g} \xrightarrow{\begin{matrix} \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \end{matrix}} \begin{matrix} {}_{lv}L^{d_g} \\ {}_{lv}M^{d_g} \\ {}_{lv}Z^{d_g} \\ {}_{lv}V^{d_g} \\ {}_{lv}F^{d_g} \end{matrix} {}_{lv}Ou^{d_g} \mid lv \in \{f, p, c\} \quad (1)$$

Тут порівняні (lv): ${}_{lv}L^{d_g}$ – обмеження; ${}_{lv}M^{d_g}$ – математичні моделі; ${}_{lv}Z^{d_g}$ – ресурси; ${}_{lv}V^{d_g}$ – цілі проектування; ${}_{lv}F^{d_g}$ – критерії оцінки.

З іншого боку, процес синтезу РМСТ в загальному випадку може бути представлений як частково узгоджена реалізація множини функцій автоматизованого синтезу (ФАС) на відповідних lv -тих рівнях $\langle {}_{lv}\phi_{i_{\varphi_{lv}}}^{d_g} \mid i_{\varphi_{lv}} = \overline{1, n_{\varphi_{lv}}} ; lv \in \{f, p, c\} \rangle$ загальною кількістю $n_{\varphi_{lv}}$, що відтворює розгалужено-циклічну САС, а також принципи [4] абстрагування, ієрархії, структурованості, системності, імерджентності, рекурентності, інваріантності, ітераційності та рекурсивності, концептуальності, аксіоматичності, декомпозиції та композиції, а також результативності і приводить кожен отриманий $i_{n_i Ou_{lv}}$ -тий результат в $(i_{n_i Ou_{lv}} + 1)$ -тий (тобто СТР) lv -го рівнях:

$$\left. \begin{aligned} & \left(\forall {}_{lv}Ou_{i_{n_i Ou_{lv}}}^{d_g} \in Ou_{i_{n_i Ou_{lv}}}^{d_g} \mid i_{n_i Ou_{lv}} = \overline{1, n_{n_i Ou_{lv}}} \right) \exists \left({}_{lv}\phi_{i_{\varphi_{lv}}}^{d_g} \mid i_{\varphi_{lv}} = \overline{1, n_{\varphi_{lv}}} \right); \\ & {}_{lv}Ou_{i_{n_i Ou_{lv}}}^{d_g} \longrightarrow {}_{lv}Ou_{i_{n_i Ou_{lv}+1}}^{d_g} \mid lv \in \{f, p, c\}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Кожна ${}_{lv}\phi_{i_{\varphi_{lv}}}^{d_g}$ -та ФАС з врахуванням системного підходу до АС РМСТ комплексно враховує всі складові (1) і для виготовлення d_g -го вибору ($d_g = \overline{1, D_g}$) їх g -тої групи ($g = \overline{1, G}$) в розгорнутому вигляді може бути подана таким чином:

$$\left. \begin{aligned} & {}_{lv}\phi_{i_{\varphi_{lv}}}^{d_g} : {}_{lv}In_{i_{n_i In_{lv}}}^{d_g} \xrightarrow{\begin{matrix} \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \end{matrix}} \begin{matrix} {}_{lv}L_{i_{n_i L_{lv}}}^{d_g} \\ {}_{lv}M_{i_{n_i M_{lv}}}^{d_g} \\ {}_{lv}Z_{i_{n_i Z_{lv}}}^{d_g} \\ {}_{lv}V_{i_{n_i V_{lv}}}^{d_g} \\ {}_{lv}F_{i_{n_i F_{lv}}}^{d_g} \\ {}_{lv}DP_{i_{n_i DP_{lv}}}^{d_g} \end{matrix} {}_{lv}Ou_{i_{n_i Ou_{lv}}}^{d_g} \mid lv \in \{f, p, c\}; \\ & i_{\varphi_{lv}} = \overline{1, n_{\varphi_{lv}}}; i_{n_i In_{lv}} = \overline{1, n_{n_i In_{lv}}}; i_{n_i L_{lv}} = \overline{1, n_{n_i L_{lv}}}; \\ & i_{n_i M_{lv}} = \overline{1, n_{n_i M_{lv}}}; i_{n_i Z_{lv}} = \overline{1, n_{n_i Z_{lv}}}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Тут $i_{\varphi_{lv}}; i_{n_i In_{lv}}; i_{n_i L_{lv}}; i_{n_i M_{lv}}; i_{n_i Z_{lv}}; i_{n_i V_{lv}}; i_{n_i F_{lv}}; i_{n_i DP_{lv}}; i_{n_i Ou_{lv}}$ – поточні значення відповідних складових множин; $n_{\varphi_{lv}}; n_{n_i In_{lv}}; n_{n_i L_{lv}}; n_{n_i M_{lv}}; n_{n_i Z_{lv}}; n_{n_i V_{lv}}; n_{n_i F_{lv}}; n_{n_i DP_{lv}}; n_{n_i Ou_{lv}}$ – потужності відповідних множин з їх показниками, на множині яких реалізується ФАС РМСТ lv -го рівня.

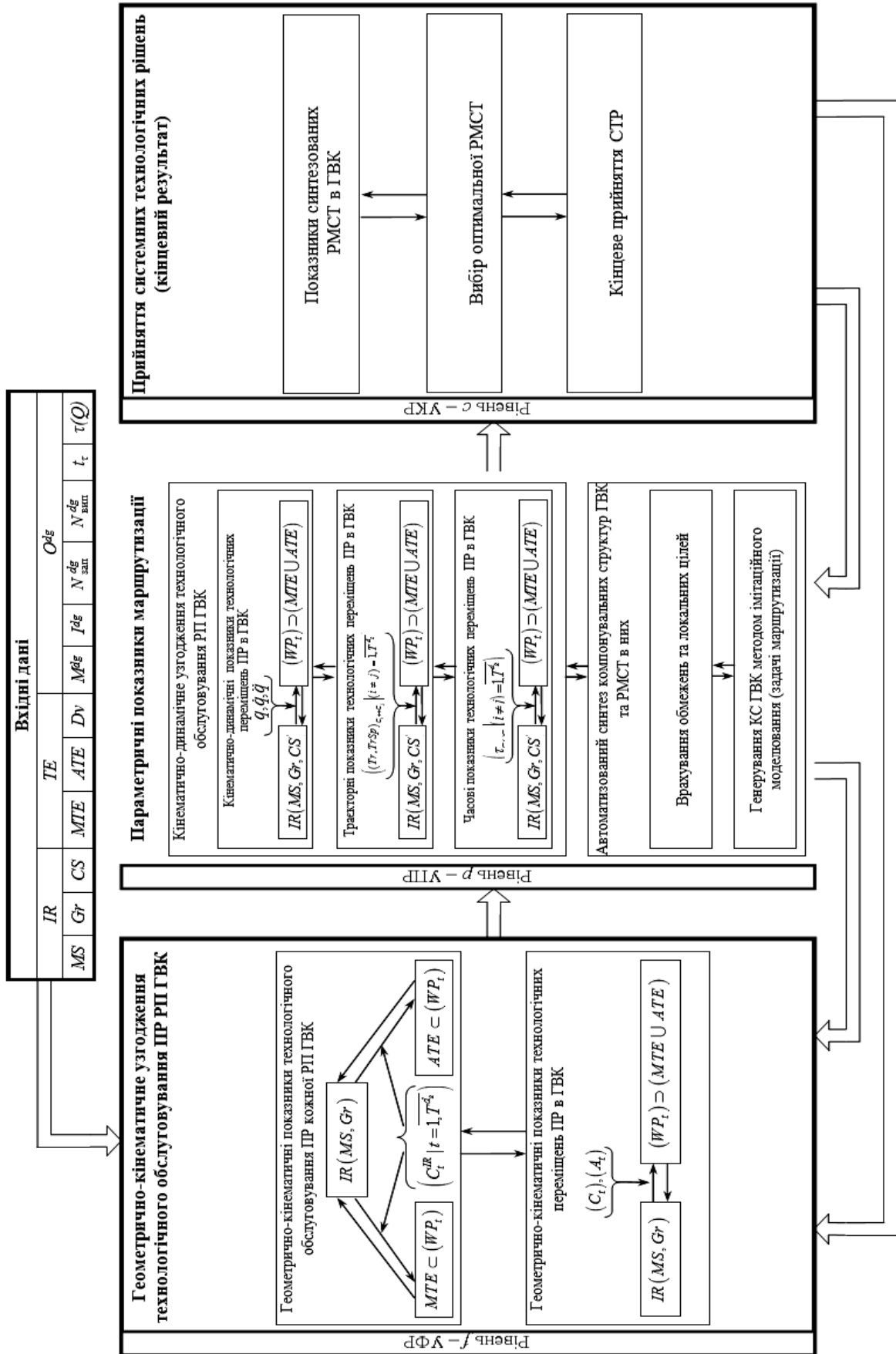


Рис. 1. Загальна схема синтезу РМСТ на ВТБ за принципом розгалужено-циклічної стратегії

Суттєвою відмітністю системного проектування та його невід'ємної складової – синтезу – є те, що система моделей ${}_{lv}M^{d_g}$, що використовується на різних рівнях, являє собою неоднорідну в математичному оформленні множину. Це пов'язано з різноманітністю явищ та процесів, що описуються різними математичними апаратами (теорія множин, графів, кватерніонів, диференціальних рівнянь тощо).

Неоднорідність математичних моделей призводить до необхідності використання необхідних систем цілей ${}_{lv}V^{d_g}$ та критеріїв ${}_{lv}F^{d_g}$, що також характеризуються неоднорідністю.

Таку систему критеріїв апіорі сформуванню достатньо важко. Тому в реальних умовах не вдається сформуванню єдиної вирішувальної процедури прийняття СТР для всіх рівнів і тому варіант “наскрізного” синтезу РМСТ є неможливим. Це породжує циклічність, ітераційність та рекурсивність при прийнятті відповідних СТР, що є результатом реалізації відповідних ФАС.

У результаті використання кожної ${}_{lv}i_{\varphi_{lv}}^{d_g}$ -тої ФАС на кожному рівні виконується взаємозв'язок всіх ФАС через складові входу ${}_{lv}In^{d_g}$ та виходу (тобто отримуваних СТР) ${}_{lv}Ou_{i_{\varphi_{lv}}^{d_g}}$ (документи, параметри, інформаційні множини, програми, методики тощо). У результаті виконання деякої ${}_{lv}i_{\varphi_{lv}}^{d_g}$ -тої ФАС ${}_{lv}\varphi_{i_{\varphi_{lv}}^{d_g}}$ можуть бути отримані СТР, які є щодо кінцевого результату проміжними, але одночасно є вхідними для наступної $(i_{\varphi_{lv}}^{d_g} + 1)$ -тої ФАС, як всередині рівня, так і між ними.

В основу формування системи зв'язків між виразами ФАС, за (3), покладено інформаційні, адаптивні та концептуальні зв'язки [10].

Інформаційні зв'язки є самими простими і передбачають зміну вихідних даних при пошуку оптимального СТР при реалізації як двох послідовних ФАС, так і, певною мірою, їх множиною як всередині рівнів, так і між ними. Вказане виконується проектувальником ГВК, що трактується нижче як деяка функціональна система ${}^{In}FS$, де верхній лівий індекс тут та в (5), (6) та (7) вказує на вид зв'язків:

$$\begin{aligned} & {}_{lv}FS_{i_{n_{FS_{lv}}+K_{FS}}}^{d_g} : {}_{lv}Ou_{i_{k_{Ou_{lv}}+K_{Ou}}}^{d_g} \longrightarrow {}_{lv}In_{i_{n_{In_{lv}}+K_{In}}}^{d_g} \quad | \\ & {}_{lv} \in \{ \{f, \neg f\}, \{p, \neg p\}, \{c, \neg c\} \}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$k_{FS} = 0, 1, \dots, n_{n_{FS_{lv}}}; k_{Ou} = 0, 1, \dots, n_{n_{Ou_{lv}}}; k_{In} = 0, 1, \dots, n_{n_{In_{lv}}}.$$

Адаптивні зв'язки є більш складними і використовуються для коригування математичних моделей та/або вирішуваних процедур відповідними функціональними системами MFS та ${}^{Dp}FS$:

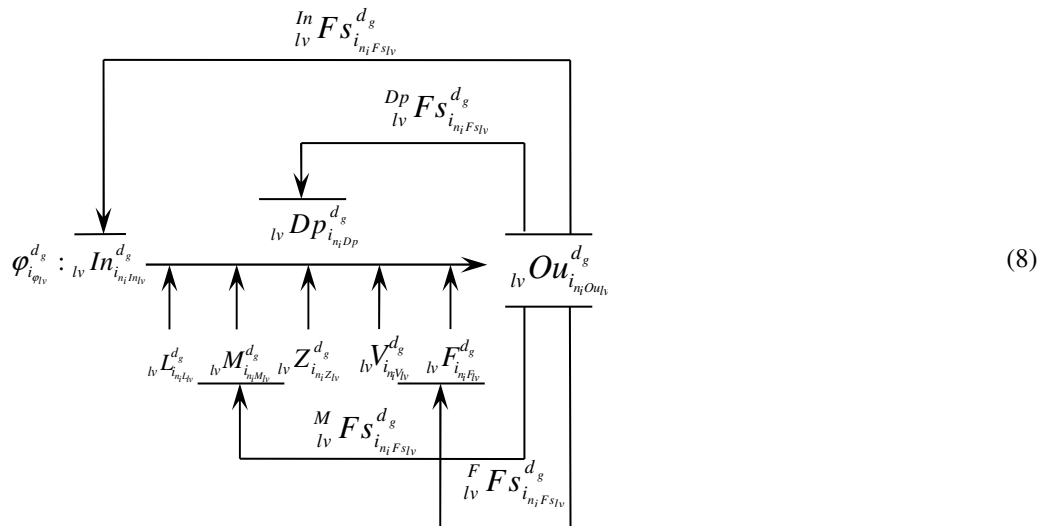
$$\left. \begin{aligned} & {}_{lv}FS_{i_{n_{FS_{lv}}+K_{FS}}}^{d_g} : {}_{lv}Ou_{i_{k_{Ou_{lv}}+K_{Ou}}}^{d_g} \longrightarrow {}_{lv}M_{i_{n_{M_{lv}}+K_{M}}}^{d_g} \quad | \\ & {}_{lv} \in \{ \{f, \neg f\}, \{p, \neg p\}, \{c, \neg c\} \}; \\ & k_{FS} = 0, 1, \dots, n_{n_{FS_{lv}}}; k_{Ou} = 0, 1, \dots, n_{n_{Ou_{lv}}}; k_M = 0, 1, \dots, n_{n_{M_{lv}}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} & {}_{lv}FS_{i_{n_{FS_{lv}}+K_{FS}}}^{d_g} : {}_{lv}Ou_{i_{k_{Ou_{lv}}+K_{Ou}}}^{d_g} \longrightarrow {}_{lv}Dp_{i_{n_{Dp_{lv}}+K_{Dp}}}^{d_g} \quad | \\ & {}_{lv} \in \{ \{f, \neg f\}, \{p, \neg p\}, \{c, \neg c\} \}; \\ & k_{FS} = 0, 1, \dots, n_{n_{FS_{lv}}}; k_{Ou} = 0, 1, \dots, n_{n_{Ou_{lv}}}; k_{Dp} = 0, 1, \dots, n_{n_{Dp_{lv}}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При *концептуальних* зв'язках, що є найбільш глибокими, переглядається концепція та ослаблюється система критеріїв, що має місце при невирішуваній задачі синтезу, що в даному випадку, згідно з прийнятою стратегією, є множиною задач умов вирішуваності [6, 10]:

$$\left. \begin{aligned} & {}_{lv}FS_{i_{n_{FS_{lv}}+K_{FS}}}^{d_g} : {}_{lv}Ou_{i_{k_{Ou_{lv}}+K_{Ou}}}^{d_g} \longrightarrow {}_{lv}F_{i_{n_{F_{lv}}+K_F}}^{d_g} \quad | \\ & {}_{lv} \in \{ \{f, \neg f\}, \{p, \neg p\}, \{c, \neg c\} \}; \\ & k_{FS} = 0, 1, \dots, n_{n_{FS_{lv}}}; k_{Ou} = 0, 1, \dots, n_{n_{Ou_{lv}}}; k_F = 0, 1, \dots, n_{n_{F_{lv}}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

У загальному випадку зв'язки за (4)–(7) можна трактувати як відповідно інформаційні, адаптивні та концептуальні керуючі зв'язки, і (3) можна представити так:



З врахуванням (2)–(8) та тривірневої стратегії вирішуваності АС РМСТ [5–10] вплив відповідних корегуючих зв'язків при реалізації прийнятої стратегії визначення вирішуваності умовно можна представити схемою (рис. 2), де лівим нижнім індексом $lv \in \{lv_i - lv_j\} | lv_{i,j} \in \{f, p, c\}, (i \neq j) = \overline{1,3}$ позначено міжрівневі (два символи) та рівневі (один символ) корегуючі зв'язки, а лівим верхнім – позначення складових за (1), які підлягають корегуванню. Інші позначення відповідають наведеним вище.

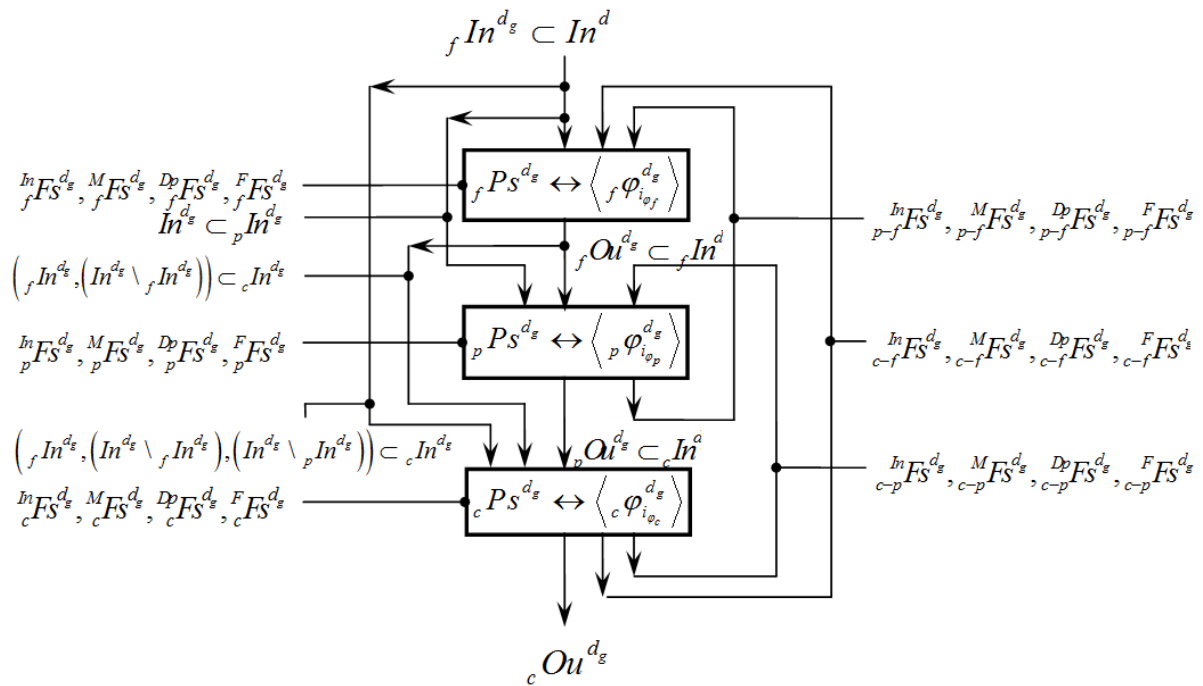


Рис. 2. Умовне зображення корегуючих впливів при АС РМСТ на рівнях f, p, c та між ними $(p - f), (c - f), (c - p)$

Висновки. Як стратегії АС обрано розгалужено-циклічну стратегію, що змістовно передбачає обчислювальних процедур відповідає прийнятій тривірневій концепції АС РМСТ з можливістю ситуативного корегування сформованих системних технологічних рішень як всередині рівнів, так і між ними.

В основу організації обчислюваних процедур покладено генерувальний принцип. Він враховує послідовне та/або паралельне розв'язування задач АС. Це за змістом організації означає генерування кінцевих множин СТР, що формуються на кожному із рівнів тривірневої концепції АС РМСТ. При цьому основою є прийнята функція автоматизованого синтезу, що математично забезпечує реалізацію кожної із

обчислювальних процедур на кожному із рівнів з можливістю корегування СТР всередині рівнів та між ними.

Список використаної літератури:

1. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, керування / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остатченко, О.І. Лісовиченко. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – 786 с.
2. Кирилович В.А. Аксиоматичний підхід до сутності роботизованих механоскладальних технологій та їх синтезу / В.А. Кирилович // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2013. – Вип. 8. – С. 263–271.
3. Кирилович В.А. Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович, І.В. Сачук // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. Кіровоградського держ. технологічного ун-ту. – Вип. 12. – Кіровоград : КДТУ, 2003. – С. 210–214.
4. Кирилович В.А. Принципи автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок / В.А. Кирилович // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2011. – № 3 (58). – С. 33–47.
5. Кирилович В.А. Система техніко-економічних критеріїв як основа умов критеріальної реалізованості при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович // Енергетика і автоматика / Технічні науки. – К. : НУБР і П України, 2015. – № 3 (25). – С. 5–18.
6. Кирилович В.А. Системний підхід до роботизованих механоскладальних технологій як об'єкта синтезу / В.А. Кирилович // Сб трудов XIX междунар. научно-технич. конф. “Машиностроение и техносфера XXI века”. – Донецк, 2012. – Т. 2. – С. 38–39.
7. Кирилович В.А. Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих технологій в гнучких виробничих комірках // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2010. – № 2 (53). – Т. 1. – С. 35–43.
8. Кирилович В.А. Умови параметричної реалізованості при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович // Енергетика і автоматика / Технічні науки. – К. : НУБР і П України. – 2015. – № 3 (25). – С. 121–130.
9. Кирилович В.А. Умови функціональної реалізованості роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / В.А. Кирилович // Технологічні комплекси. – Луцьк, 2010. – № 1. – С. 136–145.
10. Кирилович В. Формальна стратегія автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій // Технічні вісті. Науковий часопис. – Львів, 2015. – 1 (41), 2 (42). – С. 98–100.
11. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Л.Ю. Лищинский. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.
12. Пуховский Е.С. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства / Е.С. Пуховский, А.Б. Кукарин. – К. : Техника, 1997. – 221 с.
13. Штур Г. Автоматизированное проектирование в машиностроении / Г.Штур, Ф.-Л. Краузе ; пер. с нем. В.И. Волковой и др. ; под. ред. Ю.М. Соломенцева, В.П. Диденко. – М. : Машиностроение, 1988. – 648 с
14. International Federation of Robotics [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ifr.org/>.
15. Handbook of industrial automation / E.Castillo, Hadi Ali S., Murio Diego A. and others ; edited by Shall Richard L., Hall Ernest L. – New York : Marcel Dekker, 2000. – 857 p.
16. Kostal P. Flexible Manufacturing System / P.Kostal, K.Velisek // World Academy of Science, Engineering and Technology 77. – 2011. – P. 825–829.
17. Saha S.K. Introduction to Robotics / S.K. Saha // Tata McGraw-Hill, New Delhi – 2008. – 400 p.
18. Siciliano B. Handbook of robotics / B.Siciliano, O.Khatib. – Berlin : Springer ; Verlag, 2008. – 1628 p.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування.

Тел.: (093)77–030–77.

E-mail: kiril_va@yahoo.com

Стаття надійшла до редакції 10.11.2015.