

### ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ВІДОМОМУ ТЕХНІЧНОМУ БАЗИСІ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМІРОК

*На підставі аналізу змістовної сутності та особливостей задач, що понятійно закладені в термін “автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок” (АС РМСТ на ВТБ ГВК), виділено та описано відповідні принципи, що в своїй інтегрованій сукупності формують їх нову якість. Наведено приклади їх (принципів) прояву в РМСТ та їх АС.*

**Постановка проблеми.** За даними міжнародної федерації робототехніки, кількість промислових роботів (ПР), що випускаються та використовуються в різних галузях сучасного виробництва, незважаючи на кризові явища світової економіки, невпинно збільшується [52]. Це однозначно вказує на необхідність продовження наукових досліджень, що пов'язані з ПР як універсальними засобами автоматизації.

Однією із найбільш необхідних та реальних науково-прикладних задач при проектуванні роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) є їх синтез на попередньо обраному і тому відомому технічному базисі (ВТБ) гнучких виробничих комірок (ГВК). Це означає, що відомими є кількість та моделі одиниць основного (що визначають його (обладнання) параметри і характеристики, наприклад, металорізальні верстати, штампи, преси тощо) та допоміжного (промислові роботи, пристрої орієнтування, транспортування тощо) технологічного обладнання (відповідно ОТО та ДТО), що формують множину робочих позицій  $\{PP_t | t = \overline{1, T}\}$  ГВК, де  $T$  – загальна кількість РП. У контексті викладеного термін “синтез” означає генерування такої РМСТ, що реалізується на множині елементів ВТБ, включаючи заготовки, складальні елементи (компоненти) та відповідно виготовлені та складені вироби, що є для роботизованих технологій об'єктами маніпулювання (ОМ) і, яка (технологія) є оптимальною в прийнятому розумінні.

Існуючі на сьогодні наукові, дослідницькі та практичні напрацювання щодо розв'язку розрізних практичних та теоретичних задач важливої науково-технічної проблеми АС РМСТ на ВТБ ГВК характеризуються, з одного боку, достатньо глибокими, науково обґрунтованими, часто готовими до реального виробничого впровадження певними, в більшості своїй локальними результатами, а з іншого – не повною мірою враховують системний підхід до АС РМСТ в даній постановці. Це призводить в більшості випадків до частковості, фрагментарності, альтернативності як щодо постановок реальних задач синтезу, так і щодо отримуваних кінцевих результатів.

Такий стан значною мірою визначається відсутністю єдиних принципів АС РМСТ на ВТБ для ГВК, що об'єктно-орієнтовано відтворюють змістовну сутність, специфіку постановки та розв'язання складових задач синтезу. Особливістю даних принципів є необхідність інтегрованого підходу щодо їх формування та подальшого застосування. Це означає необхідність врахування відомих принципів, які є характерними для певної множини напрямів наукової, дослідницької та практичної діяльності, що впливають із вказаного терміна “АС РМСТ на ВТБ ГВК” та спрямовані на розв'язок локальних задач даної проблеми, а саме множину принципів: технологій механоскладання  $\{P_{MC}\}$ , роботизованих технологій  $\{P_{PP}\}$ , синтезу як такого та як складової процесу проектування  $\{P_C\}$ , автоматизації процесу синтезу  $\{P_A\}$  та гнучкого виробництва  $\{P_G\}$ .

Аналіз принципів вказаних вище множин дає можливість трактувати множину принципів АС РМСТ на ВТБ ГВК  $\{P_{AC}\}$  як множину, що є перетином згаданих множин:

$$\{P_{AC}\} = \{P_{MC}\} \cap \{P_{PP}\} \cap \{P_C\} \cap \{P_A\} \cap \{P_G\}. \quad (1)$$

Вказане вище графічно представлено на рисунку 1.

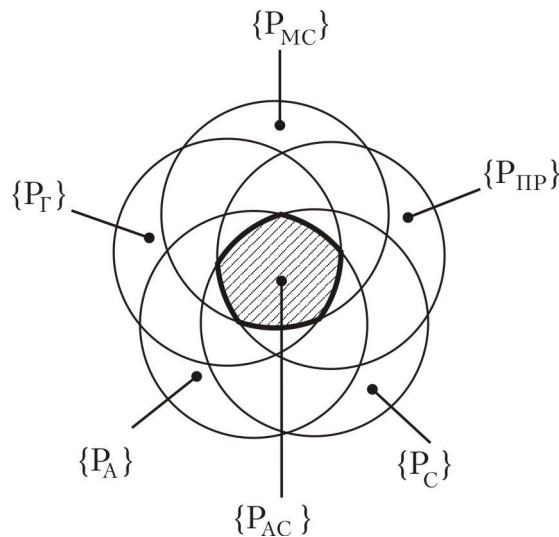


Рис. 1. Спрощена схема формування складових принципів АС РМСТ на ВТБ ГВК

Необхідно зазначити, що використання в подальшому множини принципів  $\{P_{AC}\}$  означає використання не тільки загальних для множин (1) принципів, а й принципів, що сформовані в результаті інтеграції окремих принципів із відомих множин в будь-якій композиції з іншими відомими принципами. Сказане обумовлене змістовними особливостями постановки задач розглядуваної проблеми, що буде акцентовано розглядатись далі.

**Сучасний стан проблеми.** Розробка (проекування, синтез) будь-яких технологій, включаючи РМСТ, є достатньо складним процесом, що базується на певних початкових умовах, вхідних даних, емпіричних значеннях, кваліфікації розробника тощо.

Зазвичай проектування/синтез або підходи щодо проектування/синтезу технологій повинні базуватись на новому принципі та/або на множині відомих принципів, що в своїй сукупності та різній інтегрованості повинні надавати процесу проектування/синтезу якісно нові властивості. В окремих предметних областях принципи є достатньо пропрацьованими та широко використовуються при розробці нових технологій, досконало забезпечуючи розв'язок окремих частин (задач) загальної задачі АС.

Для розробки якісно нової технології або якісно нового підходу до розробки відомих технологій повинна використовуватись або система нових принципів проектування/синтезу, або проектування/синтез на базі нових принципів, або поєднання відомих принципів з новими [24].

На сьогодні системи нових принципів, що є композицією відомих принципів проектування/синтезу технологій та знаходиться на перетині їх множин, дозволяє формувати якісно нові підходи до створення нових та відомих технологій з новими властивостями та можливостями.

Тому метою роботи є конкретизовані тлумачення, розкриття сутності та прояву принципів, що інтегровано визначені з єдиних системних позицій за результатами аналізу, систематизації, постановкою, змістом та розв'язанням задач, що понятійно визначені терміном “АС РМСТ на ВТБ ГВК”.

**Викладення основного матеріалу.** Визначене вище свідчить про те, що АС РМСТ на ВТБ ГВК є комплексним, складним процесом, при реалізації якого необхідно враховувати складові та результати за виразом (1). Нижче наводиться перелік принципів, їх стислі характеристики та прояви, що рекомендовано використовувати при АС РМСТ на ВТБ ГВК і в основу формування яких покладено підхід, що базується на особливостях процесу та подій, що відтворюють його (процесу) зміст та направленість.

Очевидно, що принципова більшість виділених показників АС є взаєморельованими, коли з одного принципу слідує інший, що в свою чергу породжує інший або уточнює попередній тощо, та такими, що визначені постановкою, змістом та послідовністю на емпіричному та на апіорі інтуїтивному рівні розв'язання складових задач розглядуваної проблеми.

Принцип абстрагування є загальним фактично для всіх складових виразу (1). Він базується на понятті “абстракція”, під яким розуміються суттєві характеристики деякого об'єкта/процесу, що відрізняють об'єкт/процес від всіх інших об'єктів/процесів, чітко виділяючи особливості даного об'єкта/процесу щодо його подальшого розгляду та аналізу.

Цей принцип дає можливість виділяти основні властивості процесу/синтезу РМСТ та його результати, уточнювати структуру процесу АС, визначати та виділяти особливості останнього, виділяти самі суттєві особливості процесу АС від другорядних.

Принцип абстрагування, визначаючи в загальному випадку абстракцію сутності будь-якої технології як такої, широко використовується, наприклад, при проектуванні технологічних процесів (ТП) складання, коли

проектант абстрагується від всіх інших властивостей складальних елементів і зосереджується тільки на властивостях доступу та базуванні складальних елементів [25], при автоматизованому проектуванні маршрутних ТП складання з врахування бінарних відношень обмеження рухливості складальних елементів [26] тощо. Іншим прикладом використання даного принципу є зміст та параметри переміщень схвата (Сх) ПР з/без ОМ при виконанні міжагрегатних переміщень (глобальні переміщення), технологічного обслуговування СхПР РП ГВК (регіональні переміщення) та встановлення/зняття ОМ схватом в/з пристосування РП<sub>і</sub> (локальні переміщення) тощо. При цьому переміщення розглядаються в 3D-вимірі як переміщення сукупності всіх точок технологічного роботизованого комплексу (ТРК) (див. нижче принцип системності) певного складу з врахуванням геометричної форми та розмірів складових, що геометрично “зв’язані” з полюсом Сх – точка Р<sub>сх</sub>. В цьому випадку поняття “траєкторія Сх” – Tr трансформується в поняття “траєкторний простір ТРК” – TrSp, що також є абстракцією:

$$TrSp = tr_{u(\tau)}(\hat{O}\hat{D}\hat{E}) = \bigcup_{D(\hat{O}\hat{D}\hat{E}) \in \hat{O}\hat{D}\hat{E}} tr_{u(\tau)} D(\hat{O}\hat{D}\hat{E}), \quad (2)$$

тобто TrSp за (2) розглядається як слід певного складу ТРК tr(ТРК), який переміщується за законом  $u(\tau)$ , що є фактично переміщенням за вказаним законом множини траєкторій всіх точок ТРК [14].

Доцільно наголосити, що незважаючи на достатньо відомі дослідження щодо схватів як складових ПР [30, 37, 42, 54], на формальному рівні опис схватів, що є також певною абстракцією, на сьогодні відсутній.

Використання принципу модульності передбачає можливий поділ процедури АС або технології на окремі складові-модулі, що частково зменшує її (процедури, технології) складність та дозволяє покращити детальне пропрацювання цих складових. Широко відомим щодо цього є модульний принцип розробки технології механообробки [1]. Обов’язковим при поділі процесу/технології на складові є наявність засобів зв’язування складових-модулів між собою. За таким принципом виконується задача декомпозиції складального виробу на складальні одиниці та окремі складальні компоненти, які можуть слугувати основою для автоматизованого проектування технології подетального та подетально-вузлового складання [7, 9, 26].

Можна стверджувати, що модульність процесу проектування технологій є властивістю всієї системи проектування, що пов’язана з можливістю її декомпозиції на ряд певним чином сформованих та пов’язаних між собою модулів [24].

Використання принципу модульності в роботизованих механоскладальних технологіях особливо ілюстративне для ПР, що мають позиційну систему ЧПУ (Ф2). Тоді РМСТ щодо виконуваних ПР рухів його ланок можна умовно поділити на два базових модулі: модуль міжагрегатного переміщення Сх з/без ОМ та модуль технологічного обслуговування ПР робочих позицій ГВК. Кожен базовий модуль може бути поділений на окремі підмодулі, а ті в свою чергу на інші. Наприклад, підмодуль перевстановлювання ОМ у пристосуванні (Пр) РП<sub>і</sub> може виконуватись в робочій зоні ТО, поза робочою зоною ТО РП<sub>і</sub> та з використанням позиції проміжного зберігання [15].

Вказане щодо модулів, підмодулів тощо в РМСТ, однозначно вказує на існування принципу ієрархії, що базується на понятті ієрархія, під яким розуміється впорядкована або ранжована система абстракцій, наприклад, модулів, підмодулів тощо.

Застосування принципу ієрархії значно спрощує розуміння складних задач проектування/синтезу технологій за рахунок утворення певних ієрархічних структур із абстракцій. При АС РМСТ принцип ієрархій може бути проілюстрований на прикладі запропонованих умов вирішуваності (УВ) [14]. При цьому ієрархічно умови критеріальної реалізованості можуть виконуватись на глобальному рівні тільки після визначення умов функціональної та параметричної реалізованості в зазначеній послідовності.

Очевидним є працездатність принципу ієрархії при плануванні траєкторій переміщення СхПР з/без ОМ при плануванні траєкторій ПР [23, 44].

Значною мірою конкретизація ієрархії буде визначатись методикою АС РМСТ на ВТБ ГВК.

Прояв та зміст принципу ієрархії нерозривно пов’язані із принципом структурованості. Він означає, що будь-який об’єкт проектування/синтезу (технологія, процес автоматизації тощо) складається із певних структурних елементів, які в певній методичній послідовності активно використовуються в процесі (процедурі) проектування / синтезу того чи іншого об’єкта / процесу із прийняттям відповідних кінцевих рішень. Прикладом використання принципу структурованості може бути запропонований в [14] підхід до розв’язання задач АС РМСТ на ВТБ ГВК, що полягає у визначенні запропонованих умов вирішуваності (УВ), що визначені з використанням принципу абстрагування. УВ у свою чергу складаються із умов функціональної, параметричної та критеріальної реалізованості (УФР, УПР, УКР відповідно) (рис. 2).

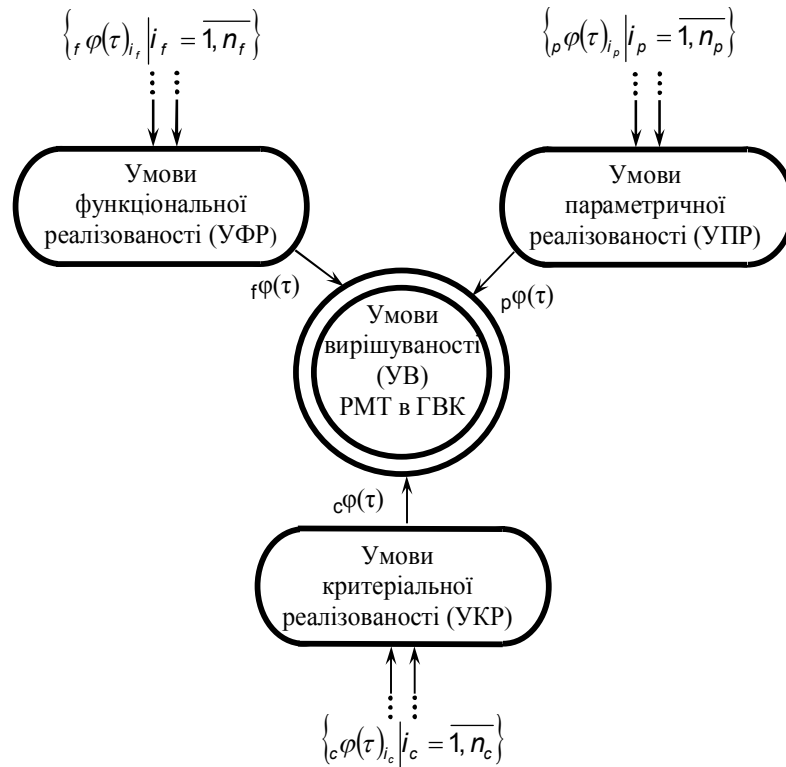


Рис. 2. Схема складових (умов) та функцій синтезу, що визначають умови вирішуваності РМСТ на ВТБ ГВК

При цьому прийнята в [13] функція технологічного синтезу/проектування РМСТ в даній постановці  $\varphi(\tau)$  може бути інтерпретована як зміна (відображення) інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків, що визначені використанням ПР, на множині (множині) визначення УФР, УПР та УКР:

$$\varphi(\tau) : \varphi(\tau)^{PP} \rightarrow_{cd} \varphi(\tau)^{VB},$$

або з врахуванням [13]:

$$\varphi(\tau) : (\varphi_{I(\tau)}^{ID} \times \varphi_{l(\tau)}^{ID} \times \varphi_{A(\tau)}^{ID}) \rightarrow ({}_f\varphi(\tau) \times {}_p\varphi(\tau) \times {}_c\varphi(\tau)), \tag{3}$$

де  $\varphi_{I(\tau)}^{PP}$ ,  $\varphi_{M(\tau)}^{PP}$ ,  $\varphi_{E(\tau)}^{PP}$  – функції, що визначають технологічну зміну відповідно до інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків, що відбуваються в часі  $\tau$  за участі ПР;  ${}_f\varphi(\tau)$ ,  ${}_p\varphi(\tau)$ ,  ${}_c\varphi(\tau)$  – функції, що визначають відповідно до умови функціональної, параметричної та критеріальної реалізованості при АС РМСТ на ВТБ ГВК і які є структурними складовими визначення умов вирішуваності [14];  $n_f$ ,  $n_p$ ,  $n_c$  – кількість функцій  ${}_f\varphi(\tau)$ ,  ${}_p\varphi(\tau)$ ,  ${}_c\varphi(\tau)$  відповідно.

Принцип системності повною мірою проявляється у системному підході щодо дій (аналіз, синтез, проектування) будь-якого процесу та явища: програмування, технологічної діагностики, аналізу, синтезу, проектування технологій та систем управління ними тощо [3–6].

Прояв даного принципу, наприклад, щодо роботизованих технологій полягає в тому, що до складу ГВК входить множина одиниць ОТО, ДТО, ПР, ОМ, технологічне оснащення, технологічна взаємодія між якими базується на принципах абстрагування, структурованості, ієрархії та ін.

За аналогією із відомою технологічною системою (ТС) ВПД (верстат–приспосовання–інструмент–деталь) при обробці матеріалів різанням для роботизованих механоскладальних технологій очевидно є доцільність введення поняття технологічної роботизованої системи (ТРС), яку формує згадана вище множина структурних одиниць ГВК. Приклад ТРС для роботизованих механообробних технологій представлено на рисунку 3.

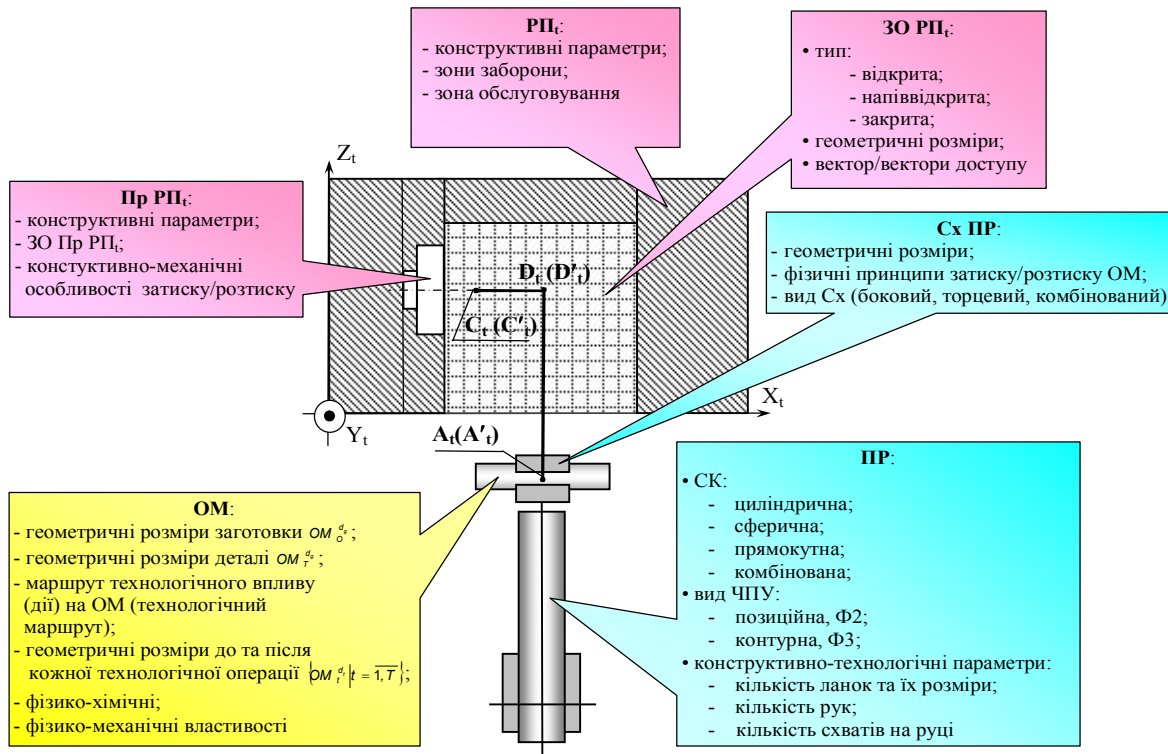


Рис. 3. Приклад ТРС механообробки різанням

В свою чергу, на підставі принципу системності як функціонально-структурну складову ТРС доцільно розглядати технологічний роботизований комплект (ТРК). До його складу входять СхПР,  $OM_{t-1}^{dg}$  (об'єкт маніпулювання  $d$ -го виробу із  $g$ -ої групи після технологічної дії на ОМ на  $(t-1)$ -ій РП ( $RP_{t-1}$ ), тобто до технологічної дії на ОМ на  $RP_t$ ),  $OM_t^{dg}$  (те ж після технологічної дії на ОМ на  $RP_t$ ), пристосування (Пр) як невід'ємна частина  $RP_t$  – Пр $RP_t$ :

$$(TRK^{dg} \subset PTC^{dg}) = \bigcup_{P(Cx) \in Cx}^{dg} \bigcup_{P(OM) \in OM_{t-1}^{dg}/OM_t^{dg}}^{dg} \bigcup_{P(Pr) \in PrRP_t}^{dg} (p(Cx) \vee p(OM) \vee p(Pr)). \quad (4)$$

В свою чергу, склад (елементи системи)  $TRK^{dg}$  в (4) теж визначається виконуваними технологічними роботизованими переходами. Приклади можливого складу ТРК та його інтерпретація наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Приклад можливого складу ТРК та його інтерпретація

№ з/п	ТРК $\forall t = \overline{1, T}$ ; $\forall d_g = \overline{1, D_g}$ ; $\forall g = \overline{1, G}$	
	склад	інтерпретація
1	$(CxПР + OM_{t-1}^{dg})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>OM_{t-1}^{dg}</math> затиснено в СхПР, існує силовий зв'язок між затискними елементами СхПР та відповідною поверхнею <math>OM_{t-1}^{dg}</math>;</li> <li>– <math>OM_{t-1}^{dg}</math>, що закріплений в СхПР, переміщається: <ul style="list-style-type: none"> <li>• із ЗО <math>RP_{t-1}</math>;</li> <li>• від <math>RP_{t-1}</math> до <math>RP_t</math> (міжопераційне (міжагрегатне) переміщення);</li> <li>• в ЗО <math>RP_t</math>;</li> </ul> </li> <li>– <math>OM_{t-1}^{dg}</math>, що закріплений в СхПР, знаходиться в точках</li> </ul>

		позиціонування $\{A_t^{PP}\}; \{C_t^{PP}\}; \{\dots_t^{PP}\}$
2	$\frac{((СхПР + OM_{t-1}^{dg}) - ПрРП_t) / ((СхПР + OM_t^{dg}) - ПрРП_t)}$	– $OM_{t-1}^{dg} / OM_t^{dg}$ закріплений та збазований в ПрРП <sub>t</sub> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• перед закріпленням <math>OM_{t-1}^{dg}</math> в ПрРП<sub>t</sub>;</li> <li>• після закріплення <math>OM_t^{dg}</math> в ПрРП<sub>t</sub></li> </ul>
3	$(СхПР + OM_{t-1}^{dg} + ПрРП_t)$	– $OM_{t-1}^{dg}$ одночасно закріплений і в СхПР, і в ПрРП <sub>t</sub> , можливим є конфлікт сил
4	$(СхПР - (OM_{t-1}^{dg} + ПрРП_t))$	– $OM_{t-1}^{dg}$ закріплений в ПрРП <sub>t</sub> і розкріплений в СхПР при збереженні геометрично-проекційних зв'язків $OM_{t-1}^{dg}$ та СхПР ( $OM_{t-1}^{dg}$ все ще збазовано в СхПР)
5	$(OM_{t-1}^{dg} + ПрРП_t)$	– $OM_{t-1}^{dg}$ закріплено в ПрРП <sub>t</sub> , з нього знято геометрично-проекційний зв'язок зі СхПР
6	$(СхПР)$	– “пустий” (без $OM_{t-1}^{dg}$ ) Сх: <ul style="list-style-type: none"> <li>• після зняття геометрично-проекційних зв'язків з <math>OM_{t-1}^{dg}</math>;</li> <li>• після виходу із ЗО ПрРП<sub>t</sub> та/або входу в ЗО РП<sub>t</sub>;</li> <li>• після виходу із ЗО РП<sub>t</sub>;</li> <li>• при міжопераційному переміщенні від РП<sub>i</sub> до РП<sub>j</sub>, <math>\forall i, j = \overline{1, T}; i \neq j</math></li> </ul>
<p>Тут: – символи “+” та “-” означають відповідно наявність або відсутність силового зв'язку між відповідними структурними елементами ТРК;</p> <p>– <math>\{A_t^{PP}\}</math> – множина точок позиціонування СхПР біля РП<sub>t</sub> при міжопераційному переміщенні Сх з/без <math>OM_{t-1}^{dg} / OM_t^{dg}</math>;</p> <p>– <math>\{C_t^{PP}\}</math> – множина точок позиціонування СхПР при базуванні ТРК (<math>\tilde{N}\delta + \hat{I}\hat{I}_{t-1}^{dg}</math>) в ПрРП<sub>t</sub>;</p> <p>– <math>\{\dots_t^{PP}\}</math> – множина проміжних опорних точок позиціонування СхПР при переміщенні ТРК від <math>\{A_t^{PP}\}</math> до <math>\{C_t^{PP}\}</math></p>		

Таким чином, під ТРС розуміється множина або комбінація взаємопов'язаних структурних елементів різного походження – ОТО, ДТО, ПР, ОМ, технологічне оснащення, що формують комплекс, єдине ціле – ГВК, які певним порядком технологічного змісту взаємодіють для досягнення заданої мети, в даному випадку для автоматизованого синтезу оптимальних в прийнятому сенсі РМСТ на ВТБ ГВК.

Між елементами ТРС встановлюються певні відношення, що мають ті чи інші властивості, наприклад, послідовність переміщення окремого ОМ для забезпечення технологічної дії на нього на кожній  $t$ -ій РП ( $РП_t | t = \overline{1, T}$ ) ГВК: для механообробки – це маршрут обробки деталі на конкретних одиницях ТО з конкретними значеннями основного часу  $\tau_0$ , упорядкована послідовність переміщень СхПР з/без  $OM_{t-1}^{dg} / OM_t^{dg} \forall t = \overline{1, T}$  певного виду (лінійні, кутові) з певними параметрами (величинами, швидкостями, прискореннями, законами управління) тощо. Ці відношення та властивості, що характеризують взаємозв'язок, упорядкованість та взаємодію даних елементів ТРС, є проявом принципу цілісності.

Іншим прикладом прояву принципу цілісності для РМСТ є сутність такого поняття як РМСТ, що може бути представлена на певному рівні абстрагування як граф  $G^{dg}$ , вершинами  $S^{dg}$  якого є окремі складові РМСТ, а ребрами є зв'язки  $R^{dg}$  між  $S^{dg}$ , що можуть бути інтерпретовані як послідовність визначення відношень слідування (порядку, послідовності) при визначенні складових РМСТ [13, 38]:

$$G^{dg} \left( S^{dg}; R^{dg} \left( S_i^{dg}, S_j^{dg} \right) \right) S^{dg} \in \{Gm, Kn, Dn, En, Tr, \tau(Q), Rl, Ec, Ac, Fc, Fopt\}; \quad (5)$$

$$S_i^{dg} \neq S_j^{dg}; S_i^{dg}, S_j^{dg} \in S^{dg},$$

де  $Gm, Kn, Dn, Ct, En, Tr, \tau(Q), Rl, Ec, Ac, Fc, Fopt$  – складові  $S^{dg}$  – вершини графа – відповідно геометричні, кінематичні, динамічні, управлінські, енергетичні, траекторні, часові (продуктивні), надійні, економічні, точні, силові та критеріальні (оптимізаційні).

Велике значення для синтезу оптимальних РМСТ в даній постановці має принцип імерджентності (від англ. *emergent* – той, та, те, що з'являється, виникає (як правило неочікувано)), який можна інтерпретувати як виникнення нового цілого (другий принцип кібернетики за Р.Ешбі [39]). Зміст принципу імерджентності може бути інтерпретовано таким чином: чим більшою є система, наприклад, щодо розмірності, тобто кількості структурних елементів ГВК, та чим більші відмінності між окремими складовими та цілим (ГВК), тим вища ймовірність того, що властивості РМСТ, що може бути реалізована на ГВК, можуть сильно відрізнитись від властивостей складових, наприклад, технологічних можливостей ПР, технологічного обладнання тощо.

Із даного тлумачення очевидним є висновок, що “ціле не дорівнює сумі частин” [28], тобто за кількістю складових таке твердження є невірним, а за властивостями окремих складових, їх взаємодією – вірним.

Принцип імерджентності підкреслює можливість неспівпадання окремих локальних цілей та локальних параметрів окремих рівнів, етапів, фаз, процесів, підпроцесів, процедур з глобальною метою та критеріями АС РМСТ на ВТБ ГВК. Наслідком вказаного є таке: для досягнення глобальних результатів щодо синтезу оптимальних в прийнятному сенсі РМСТ необхідно приймати рішення та вести розробки щодо вдосконалення систем не тільки на основі аналізу, а й їх синтезу та взаємодії.

Зміст терміна стійкість (властивість об'єкта існувати в часі та/або в просторі) визначає існування принципу стійкості. Для розглядуваної проблеми АС РМСТ ТРК можна розглядати як такий, що в процесі синтезу займає певне місце та за своїм складом і станом існує впродовж певного часу. Приклади стійкої зміни складу ТРК проілюстровано даними таблиці 1 та рисунка 3.

За принципом стійкості існують, наприклад, бази даних ОМ, ПР, ТО тощо, а також різного походження та виду моделі, наприклад, функціональні моделі маніпуляційної системи ПР, що сформовані з використанням теорії кватерніонів [36, 47], часткові інформаційні моделі ОМ [11] тощо.

Принцип типізації базується на основі понять типів абстрактних даних та підкреслює різні особливості абстракцій. Тип – це точне визначення властивостей побудови (будови) та поведінки, що є властивим деякій сукупності об'єктів/процесів [24]. Прикладом прояву принципу типізації в РМСТ є типовий технологічний перехід затиску ОМ в СхПР, типовий перехід технологічного обслуговування СхПР з/без  $OM_{t-1}^{dg}/OM_t^{dg}$  кожної РП<sub>ГВК</sub> тощо [2, 12, 41, 43, 45].

У контексті розглядуваної проблеми типізація – це обмеження, що накладається на клас об'єктів, наприклад, технологічних роботизованих переходів і не дозволяє вирішувати взаємозаміну класів об'єктів при синтезі РМСТ.

Типовими є технологічні переходи встановлення ТРК складу ( $CxPP+OM_{t-1}^{dg}$ ) в ПрРП<sub>ГВК</sub>, наприклад, у патрон токарного верстата. Він характеризується в більшості випадків горизонтальним вектором реалізації, хоча можливі реалізації в різних координатних напрямках за рахунок обертальних та комбінованих рухів, що визначаються маніпуляційними можливостями аналізованого ПР [3, 16, 18, 19, 21].

Відомим є також проектування типових ТП різних деталей різанням [9, 29].

Принцип паралелізму характеризує можливість одночасного функціонування об'єктів/процесів і базується на понятті паралелізм – властивості множини об'єктів/процесів знаходитись в активному або пасивному стані. Цей принцип є одним із визначальних щодо, наприклад, швидкості реалізації обчислювальних задач особливо великої трудомісткості при АС РМСТ, при методично визначеній послідовності їх розв'язання, що є характерним і при застосуванні САПР [17, 27, 34, 35, 51], і при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих технологій [6, 26] тощо.

Для узгодження в часі відношень між активними об'єктами/процесами проектування/синтезу, а також з іншими об'єктами/процесами, що діють послідовно, використовуються такі види синхронізації паралельних потоків: одночасне (паралельне) розв'язання задач та із зміщенням в часі початку розв'язання задач (фазові зміщення) тощо. Очевидним є приклад, що ілюструє дію принципу паралелізму: переміщення СхПР з/без ОМ в ньому при реалізації РМСТ на ВТБ ГВК виконується при працюючих всіх одиницях ТО, що формують {РП<sub>ГВК</sub>}, або при частково працюючих РП [8, 31, 32, 41]. Це може бути графічно проілюстроване циклограмами роботи РП та ТО ГВК [9].

Проектовані/синтезовані обчислювальні процеси та процедури певного предметно-орієнтованого змісту повинні враховувати принцип рекурентності (від лат. *recurrentis* – той, та, те, що повертається). Цей принцип базується на відомій формулі рекурентності (формулі приведення), що дозволяє покроково визначати будь-який член послідовності, якщо відомі  $p$  перших її членів  $a_1, a_2, \dots, a_p$ . Тому термін “рекурентна послідовність” означає те ж, що і послідовність з поверненням [2].

Розбиття процесу АС РМСТ на складові дозволяє розглядати його (АС) як визначення множини УВ [14] на функціональному, параметричному та критеріальному рівнях з відповідним визначенням однойменних умов реалізованості – УФР, УПР та УКР, процес синтезу РМСТ як такий набуває рекурентного характеру, що проявляється в такому:

– при порівняльному розв’язку задач АС кожен розв’язок задач наступного рівня – це комбінація допустимих розв’язків відповідної задачі даного рівня з відповідними умовами та факторами відповідної задачі наступного рівня;

– перелік всіх факторів та набори всіх можливих варіантів з них, що підлягають розгляду на даному рівні АС РМСТ, визначені всіма раніше отриманими розв’язками, в тому числі початковими умовами та даними;

– в процесі синтезу РМСТ від рівня до рівня має місце нарощування вихідної інформації та відповідних початкових даних: розв’язки, отримані на попередньому рівні, вводяться до складу початкових умов даного рівня, що призводить до розширення та нарощування початкових даних та факторів по мірі порівневої реалізації процесу АС.

Кожен рівень АС поділяється на ряд процесів, що виконуються або паралельно (одночасно, без пріоритетів щодо порядку їх розв’язання), або послідовно (за чітко визначеними пріоритетами), або за різним поєднанням послідовності розв’язання вказаних задач, наприклад, послідовно-паралельно тощо. Сказане, з одного боку, вказує на наявність принципу самостійності (*автономності, незалежності*), що є характерним для розв’язку більшості задач при проектуванні/синтезі РМСТ [6, 12, 13, 14, 18, 19, 31, 32, 43, 53] та ряду інших технологій [9, 29, 53], а з іншого – на наявність принципу інваріантності. В більш широкому розумінні даний принцип проявляється як такий, що певною мірою відтворює універсальність запропонованого підходу щодо різних етапів розв’язку задач АС РМСТ, наприклад, щодо АС РМСТ при проектуванні нових ГВК, або при визначенні (аналізі) можливості реалізації тих чи інших РМСТ на вже існуючих ГВК, з так званою постійною топологічною складовою ГВК, коли відомим є склад ТО, що формує впорядковану множину (кортеж) РП  $\langle PP_t | t = \overline{1, T} \rangle$ , розташування та розміщення ТО в системі координат (СК) ПР [45, 46, 50].

Тому в контексті вирішуваних завдань розглядуваної проблеми АС РМСТ принцип інваріантності вказує на властивість незмінності або незалежності функціонування АС як такого, що ґрунтується на інформаційному, методичному тощо базисах, від глобальних (постановка глобальної задачі синтезу) та/або локальних (наприклад, зміна  $d$ -го ОМ в межах  $g$ -ої їх (ОМ) групи) змін (збурюючих дій).

Очевидна наявність та дієвість принципу ітераційності (від англ. *iteration* – повторення) підтверджується безліччю прикладів практичних та наукових розрахунків у різних галузях науки і практики, коли отриманий кінцевий (глобальний) результат або проміжний (локальний) результат не задовольняє кількісній оцінці глобального або локального критерію оптимальності. Це вимагає повернення в розрахунковому ланцюгу до місця, з якого виконується такий розрахунок. Кількість таких ітерацій-повернень може бути декілька.

Відомим прикладом прояву принципу ітераційності є ітеративне проектування технології в поточно-просторових системах неперервної дії з/без направленими ітераційними кроками через процедуру аналізу отриманих проміжних результатів [24]. При цьому життєвий цикл технології не є окремими етапом, а являє собою один із кроків щодо послідовної ітераційної розробки технології з можливою оптимальною послідовністю кроків. Тобто ітераційний принцип покладено в основу використання всіх стадій, елементів, рівнів та інших часових елементів процесу проектування/синтезу технологій.

Прикладом принципу ітераційності при АС РМСТ у даній постановці є отримання значення циклової продуктивності ГВК, в якій не враховано показники надійності різного походження та прояву, яке (значення) завідомо є меншим заданими умовами (обмеженнями) проектування/синтезу. В цьому випадку ітераційно проводяться інші розрахунки значень циклової продуктивності за зміненими умовами, початковими даними тощо, наприклад, при іншому взаємному розташуванні множини  $\{PP_t | t = \overline{1, T}\}$  ГВК, або при іншій послідовності розташування кожної  $\forall PP_t$  в СК ПР тощо [45, 46].

Принцип кореляційності (від англ. *correlation* – співвідношення, залежність) є очевидним при проектуванні/синтезі технологій в різних предметних областях і проявляється у взаємозв’язках та взаємовпливі одних параметрів технологій на інші, часто визначені принципами рекурентності, ітераційності, системності, ієрархії тощо. Наприклад, при визначенні законів управління переміщення ланок МС ПР, що має позиційну систему ЧПУ (Ф2), при їх (ланок, Сх) переміщенні між опорними точками, останні повинні бути певним чином розраховані, що в свою чергу визначає наявність множини відповідних конфігураційних просторів маніпуляційної системи ПР [16, 21, 49]. Тому координати опорних точок та власне траєкторій на рівні переміщень полюса Сх – точка  $P_{cx} - Tr(\tau)$  та 3D-переміщень траєкторного простору ТРК –  $TrSp(\tau)$  [14] корелюють та визначають відповідні закони управління переміщення ланок та/або СхПР [10, 18, 19].

Не підлягає сумніву також те, що принцип кореляційності, як й інші принципи, покладено, як правило, в основу методичного забезпечення при проектуванні/синтезі процесів та об’єктів різного походження в різних предметних областях [9, 17, 24, 25, 29, 32, 38], включаючи проектування/синтез РМСТ в різних їх постановках [3, 6, 12, 13, 20, 31, 40, 44, 49, 54].

Значною мірою постановку кінцевої мети АС РМСТ, як й інших процесів, визначає принцип концептуальності. Його змістом є визначення основної концепції синтезу РМСТ, що базується багато в чому на перерахованих вище принципах з одного боку, головній меті синтезу (згенерувати оптимальну в



прийнятому сенсі РМСТ за прийнятими метою, умовами та обмеженнями) з іншого – акцентувати очевидний факт наявності творчого початку та професійного досвіду розробника при АС РМСТ.

Для розглядуваної проблеми даний принцип проявляється в запропонованій концепції АС РМСТ в даній постановці, що з врахуванням [13, 14] може бути подано таким чином: АС РМСТ на ВТБ ГВК розглядається як визначення умов вирішуваності (УВ), що в свою чергу формуються умовами функціональної реалізованості (УФР), параметричної (УПР) та критеріальної (УКР) реалізованості.

При цьому з врахуванням виразу (3):

– УФР визначають повну множину умов, параметрів та характеристик, що вказують на можливість функціонально реалізувати технологічну взаємодію між елементами ВТБ та ОМ відповідно до заданих умов та обмежень. Вказане вище визначається наявністю множин інтегрованих однойменних функцій  $\{f \varphi(\tau)_i | i_f = \overline{1, n_f}\}$ , де  $n_f$  – їх загальна кількість, що визначають параметри та характеристики функціонального обслуговування ПР кожної  $t$ -ої робочої позиції ГВК;

– УПР визначаються на множині розв’язків задач УФР і мають за мету виділити та відсіяти варіанти РМСТ попереднього УФР-го рівня, які є непридатними для подальшого розгляду. При цьому має місце оперування інформацією щодо цілого ряду показників та характеристик ПР, а саме його МС, Сх, СУ, особливостей програмування тощо, та ОМ. Вказане виконується з визначенням однойменних функцій  $\{p \varphi(\tau)_i | i_p = \overline{1, n_p}\}$  кількістю  $n_p$ , що визначаються на даному рівні;

– визначення УКР ставить за мету визначити оптимальну РМСТ за прийнятим значенням функції мети (критерієм оптимальності) з врахуванням розв’язків локальних задач попередніх УФР та УПР рівнів. При цьому розв’язується кінцева множина задач даного рівня потужністю  $n_c$   $\{c \varphi(\tau)_i | i_c = \overline{1, n_c}\}$  з врахуванням прийнятих обмежень.

Принцип гіпотетичності, як і попередній принцип концептуальності, є визначальним щодо багатьох апріорі неформалізованих або слабо формалізованих вихідних та проміжних положень і умов процесу проектування/синтезу як такого [6, 17, 24, 27, 38, 43, 50].

Цей принцип акцентує елемент творчості при АС РМСТ і може бути сформульований таким чином: РМСТ на ВТБ ГВК є технологічно визначеною закономірною дискретною зміною в часі й просторі стану та складу ТРК як складової ТРС.

Рисунок 4 ілюструє склад ТРК як такий, а таблиця 1 – приклад можливих складів ТРК, що змістовно несуть предметно-орієнтовану технологічну інформаційну складову.

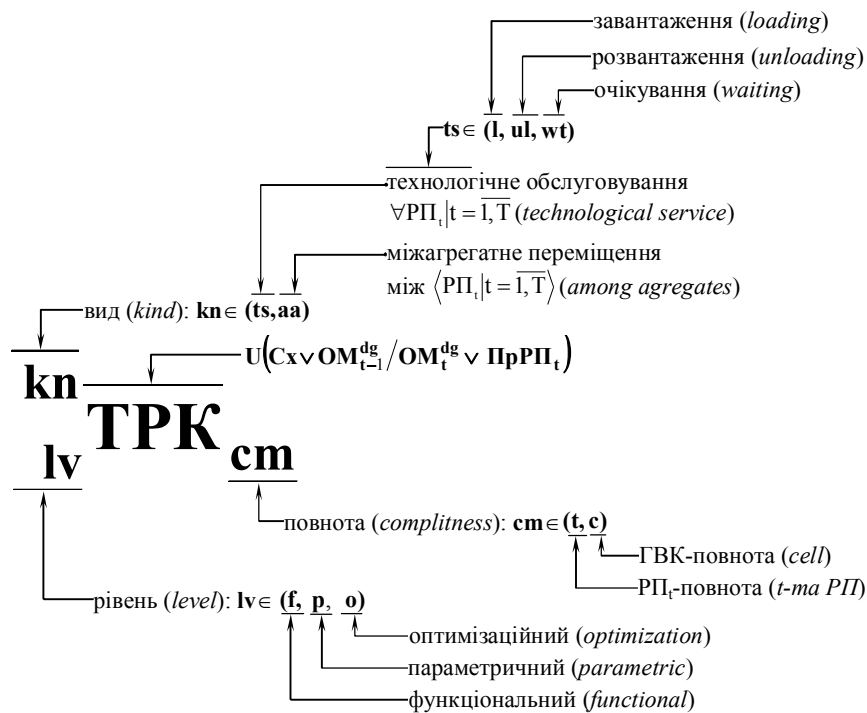


Рис. 4. Позначення складу ТРК як складової ТРС

З врахуванням інформації щодо складу, можливих видів переміщень, виконуваних технологічних переходів тощо (рис. 4) можна інтерпретувати як структурно-технологічну модель ТРК в її символічній формі.

Технологія як така, тим паче процес її проектування/синтезу, характеризується значним обсягом інформації, що носить описовий характер та емпіричний зміст. Це означає в більшості випадків відсутність аналітичних залежностей, наявність складного взаємозв'язку та взаємовпливу окремих задач, існування неявних об'єктивних законів, складну логічну структуру та зміст складових проблеми взагалі та складових окремих задач, а також наявність окремих інформаційних потоків та впливаючих один на одного факторів, що визначають і тому беруть участь у даному випадку в АС РМСТ [38].

Достатньо складні логічні форми описових наук, в тому числі технологій, при значній, часто визначальній ролі емпіричних залежностей, вимагають використання формалізованих апаратів для відображення сказаного з врахуванням змісту в даному випадку загальної задачі АС та зв'язків різних її структурних елементів, процесів тощо. При цьому певні формальні залежності виділяються із неформальних, тобто існуючих, теорій, у даному випадку із неформалізованої в загальному вигляді роботизованої технології та її проектування/синтезу, а також взаємодії об'єктів різного походження та змісту і перш за все технологічного [22, 42]. Формування аксіоматичної системи знань являє собою систему дедуктивної (тієї, що виводиться) системи, в даному випадку АС РМСТ, піднімає будь-яку технологію та процес її проектування/синтезу на більш високу ступінь пізнання, розкриваючи її закономірності, та забезпечує принципово нові можливості в її (технології, АС) практичному використанні.

У вказаному полягає зміст принципу аксіоматичності. В даній та близьких предметних областях цей принцип проявляється у вигляді лем та постулатів, наприклад, при проектуванні багатонаменклатурних верстатних систем [32], а також у вигляді тверджень, наприклад, щодо існування функції РП<sub>t</sub>-функціональної реалізованості [14] тощо.

Принцип декомпозиції та композиції є загальновідомим у технології машинобудування. При проектуванні технології металообробки різанням він проявляється як принцип диференціації (декомпозиції, наприклад, ТП на автоматичних лініях) та концентрації (композиції, наприклад ТП на металорізальних верстатах з ЧПУ) технологічних операцій [9]. При подетально-вузловому автоматизованому (роботизованому) складанні за різними науково-методичними підходами виконується декомпозиція процесу складання виробів з формуванням певної кількості одиниць (складуваних вузлів) та складальних компонентів (складуваних деталей) [9, 25, 26].

У роботизованому механоскладальному виробництві [3, 12, 14, 22, 23, 45, 49, 50, 53] проявом принципу декомпозиції та композиції є можливість розділяти та/або об'єднувати за технологічними можливостями ТО окремі складові  $Tr^{dg}(\tau)$  та  $TrSp^{dg}(\tau)$ , наприклад, при завантаженні  $\forall PP_t | t = \overline{1, T}$  з відпрацюванням окремо:

– міагрегатних переміщень  $Sx$  між множиною  $\{A_t | t = \overline{1, T}\}$ , фізичний зміст яких повною мірою проявляється для ПР з позиційною системою ЧПУ (Ф2) – це опорні точки траєкторії переміщень  $Sx$  в технологічно обумовленій послідовності завантаження/розвантаження  $\forall PP_t | t = \overline{1, T}$  відповідно до

$$OM_{t-1}^{dg} / OM_t^{dg};$$

– переміщень входження ТРК певного складу в робочий простір РП<sub>t</sub>, що є переміщенням між точками  $A_t$  та  $D_t$  відповідних множин:  $\{A_t - D_t | t = \overline{1, T}\}$ , де точка  $D_t$  – точка знаходження полюса  $Sx$  – точка  $P_{Cx} \subset TPK^{dg}$  перед рухом встановлення  $OM_{t-1}^{dg} \in TPK^{dg}$  в ПрРП<sub>t</sub>;

– переміщень (рухів) встановлення  $OM_{t-1}^{dg} \in TPK^{dg}$  в ПрРП<sub>t</sub>.

При розвантаженні  $\forall PP_t$  вказані рухи переміщень ТРК у загальному випадку виконуються в зворотній послідовності.

Поданий вище перелік переміщень ТРК технологічно поділено на складові, що характеризують певні показники технологічних можливостей ПР, а саме характерні для ПР з цикловою та позиційною системою числового програмного управління особливості диференційовано відпрацьовувати переміщення окремих ланок МС ПР.

Для ПР з контурною системою ЧПУ (Ф3) з'являється можливість виконувати так зване “згладжування”  $Tr^{dg}(\tau)$  та  $TrSp^{dg}(\tau)$ , наприклад, реалізовувати траєкторію переміщення певного  $TRK^{dg}$  між множинами точок  $\{D_i - D_j | i, j = \overline{1, T}\}$  (часткове згладжування), або між множинами точок  $\{C_i - C_j | i, j = \overline{1, T}\}$  (повне згладжування) тощо. При цьому виконується одночасне переміщення декількох ланок (декількох ступенів

рухомості) за принципом композиції (об'єднання) елементарних рухів ланок. Вказане є недостатньо дослідженим.

Очевидно необхідним є використання принципу результативності (завершеності) отримання при синтезі РМСТ кінцевого результату як такого. Особливості постановки задач даної науково-практичної проблеми в частині ВТБ ГВК апріорі дозволяє стверджувати, що при проектуванні механоскладальних ГВК на етапі АС РМСТ завжди існує така функція  $\varphi(\tau)^{PP}$  технологічного синтезу РМСТ, яка акцентує використання ПР та відображає перетворення вхідних інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків у відповідні вихідні потоки. Кількісна складова функції  $\varphi(\tau)^{PP}$  має бути ефективною щодо прийнятого критерію оптимальності та функції мети, що вказує на досягнення результативності. В іншому випадку (при отриманні неоптимального кінцевого результату) з використанням принципів ітераційності, інваріантності, кореляційності, рекурентності та інших, коригуються початкові або проміжні дані й розрахунки повторюються. Це вказує на те, що принцип результативності повинен виконуватись цілеспрямовано, а кінцевий результат/результати перевіряються щодо значення кількісної оцінки критерію оптимальності при заданих та/або визначених умовах синтезу обмеженнях.

**Висновки.** Виявлені та прокоментовані за результатами аналізу сутності постановки та розв'язування задач АС РМСТ на ВТБ ГВК принципи вказують на складний, часто неформальний зв'язок між ними (принципами) та акцентовано вказують на складність, неоднозначність та необхідність їх використання для розв'язання складових задач даної проблеми та для вирішення зазначеної вище проблеми як такої.

Враховання поданих тут принципів у їх сукупності дозволяє на якісно новій основі реалізувати новий комплексний (системний) підхід щодо розробки методики та її автоматизованої реалізації при розв'язку складових задач АС РМСТ на ВТБ ГВК.

**Подальший розвиток** отриманих результатів полягає у використанні та застосуванні вказаних принципів при розробці інформаційного, методичного та алгоритмічного забезпечення та його програмної реалізації при АС оптимальних РМСТ на ВТБ ГВК.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Базров Б.М.* Модульная технология в машиностроении / *Б.М. Базров.* – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 367 с.
2. *Бронштейн И.Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / *И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев.* – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 720 с.
3. *Бурдаков С.Ф.* Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / *С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев.* – М. : Высшая школа, 1986. – 264 с.
4. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем / *Н.П. Бусленко.* – М. : Наука, 1986. – 355 с.
5. *Вукобратович М.* Управление манипуляционными роботами: Теория и приложения / *М.Вукобратович, Д.Стокич.* – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 384 с.
6. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління : підручник / *Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін та ін.* – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 680 с.
7. *Григор'єва Н.С.* Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів : монографія / *Н.С. Григор'єва.* – Луцьк : Надстир'я, 2008. – 520 с.
8. *Дудюк Д.Л.* Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : навч. посібник / *Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, М.М. Мисик.* – Львів : Магнолія плюс, 2005. – 278 с.
9. *Жолобов О.О.* Технологія автоматизованого виробництва : підручник / *О.О. Жолобов, В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, В.А. Яновський.* – Житомир : ЖДТУ, 2008. – 1014 с.
10. *Зенкевич С.Л.* Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами : учеб. для вузов / *С.Л. Зенкевич, А.С. Юценко.* – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 400 с.
11. *Кирилович В.А.,* Інформаційна модель об'єктів маніпулювання для умов роботизованих механоскладальних технологій / *В.А. Кирилович* // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2009. – № 4 (51). – С. 27–36.
12. *Кирилович В.А.* Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій / *В.А. Кирилович, І.В. Сачук* // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технологічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград : КДТУ, 2003. – Вип. 12. – С. 210–214.
13. *Кирилович В.А.* Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / *В.А. Кирилович* // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир, 2010. – № 2 (53). – Т. 1. – С. 35–43.

14. *Кирилович В.А.* Умови функціональної вирішуваності при автоматизованому синтезі роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / *В.А. Кирилович* // Технологічні комплекси. – Луцьк, 2010. – № 1. – С. 136–145.
15. *Кирилович В.А.* Щодо аналізу можливості використання нейронних мереж для автоматизованого проектування модульних роботизованих механоскладальних технологій / *В.А. Кирилович, К.Г. Біденко, Н.В. Макаренко* // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2009. – № 2 (49). – С. 77–85.
16. *Кобринский А.А.* Манипуляционные системы роботов: Основы устройства, элементы теории / *А.А. Кобринский, А.Е. Кобринский*. – М. : Наука, 1988. – 344 с.
17. *Колодницький М.М.* Основы теории математического моделирования систем : навч.-довідн. посібник / *М.М. Колодницький*. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 718 с.
18. *Корендяев А.И.* Теоретические основы робототехники : В 2 кн. : монография. Кн. 1 / под ред. *С.М. Каплунова*. – М. : Наука, 2006. – 383 с.
19. *Корендяев А.И.* Теоретические основы робототехники : В 2 кн. : монография. Кн. 2 / под ред. *С.М. Каплунова*. – М. : Наука, 2006. – 376 с.
20. *Лицинский Л.Ю.* Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / *Л.Ю. Лицинский*. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.
21. Манипуляционные системы роботов / *А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др.* ; под общ. ред. *А.И. Корендяева*. – М. : Машиностроение, 1989. – 472 с.
22. *Мельничук П.П.* Семантична модель технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання / *П.П. Мельничук, В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов* // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир, 2011. – № 1 (56). – С. 24–31.
23. Методика автоматизованого кінематичного формування траєкторії переміщення схвата промислових роботів при синтезі роботизованих механоскладальних технологій / *М.В. Богдановський, В.А. Кирилович, М.О. Ковбаса, Т.С. Нуржда* // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2004. – № 4 (31), Т. II. – С. 92–101.
24. *Михайлов А.Н.* Основы синтеза поточно-пространственных систем непрерывного действия / *А.Н. Михайлов*. – ДонНТУ, 2002. – 379 с.
25. Научные основы автоматизации сборки машин / под ред. *М.П. Новикова*. – М. : Машиностроение, 1976. – 472 с.
26. *Пасічник В.А.* Основы компьютерно-интегрированного механоскладального производства : автореф. дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / *В.А. Пасічник*. – К. : НТУУ “КПІ”, 2009. – 36 с.
27. *Петренко А.П.* Основы построения систем автоматизированного проектирования / *А.П. Петренко, О.И. Семенов*. – 2-е изд., стереотип. – К. : Вища шк., Главное изд-во, 1985. – 291 с.
28. *Петров В.А.* Планирование гибких производственных систем / *В.А. Петров, А.Н. Масленников, Л.А. Осипов*. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 182 с.
29. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения / *И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко* ; под общ. ред. *Ю.М. Соломенцева*. – М. : Высшая школа. 1999. – 416 с.
30. *Проць Я.І.* Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посібник / *Я.І. Проць*. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2008. – 232 с.
31. *Пуховский Е.С.* Технологические основы гибкого автоматизированного производства / *Е.С. Пуховский*. – К. : Вища школа, Головне вид-во, 1989. – 240 с.
32. *Пуховский Е.С.* Проектирование станочных систем многономенклатурного производства / *Е.С. Пуховский, А.Б. Кукарин*. – К. : Техника, 1997. – 221 с.
33. *Сигорский В.П.* Математический аппарат инженера / *В.П. Сигорский*. – К. : Техника, 1975. – 538 с.
34. Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике : справочник / *Е.В. Авдеев, А.Э. Еремин, И.П. Норенков, М.И. Песков* ; под ред. *И.П. Норенкова*. – М. : Радио и связь, 1986. – 388 с.
35. *Томашевський В.М.* Моделювання систем / *В.М. Томашевський*. – К. : Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
36. Формування функціональних моделей маніпуляційних систем промислових роботів / *В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, О.О. Писарчук, І.Ю. Черепанська* // Міжнародний зб. наук. праць “Прогресивні технології і системи машинобудування”. – Донецьк : ДонНТУ, 2011. – № 42. – С. 118–124.
37. *Челпанов И.Б.* Схваты промышленных роботов / *И.Б. Челпанов, С.Н. Колташников*. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. – 287 с.
38. *Челищев Б.Е.* Автоматизация проектирования технологии в машиностроении / *Б.Е. Челищев, И.В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер* ; под ред. акад. *Н.Г. Бруевича*. – М. : Машиностроение, 1987. – 264 с.

39. *Эшбу В.П.* Введение в кибернетику / *В.П. Эшбу.* – Л. : ИИЛ, 1959. – 432 с.
40. *Angeles J.* Fundamentals of robotic mechanical systems: theory, methods, and algorithms / *J.Angeles.* – Second edition. – Springer. Verlag New York Inc., 2003. – 522 p.
41. *Coiffet Ph.* Interaction with the environment. Robot technology. Volume 2 / *Ph.Coiffet.* – London, Kogan Page Ltd., 1983, – 240 p.
42. *Gen M.* Genetic algorithm and engineering design / *M.Gen, R.Cheng.* – John Wiley & Sons, 1997. – 352 p.
43. *Keramas J.G.* Robot technology fundamentals / *J.G. Keramas.* – New York, Delmar publishers, 1999. – 408 p.
44. *Kyrylovyh V.* Zagadanicnia zautomatyzowanego planowania ruchow robotow przemyslowych w elastycznych systemach montazowych / *V.Kyrylovyh, V.Bogdanovskiy* // *Technologia i automatyzacja montazu.* – Poland, Warsaw. – 2009. – № 1. – Pp. 18–22.
45. *Kyrylovyh V.* Computer-aided forming of working positions service route by industrial robots / *V.Kyrylovyh, O.Pidtychenko* // *Acta Mechanica Slovaca.* № 2-A / 2006. – Kosice, Jasna – Nizke Tatry Technical University of Kosice, 2006. – Pp. 297–304. (8<sup>th</sup> International conference ROBTEP 2006. Automation / Robotics in theory and practice, May 31–June 2, 2006, Rochnik 10, Jasna – Nizke Tatry, Slovak Republic).
46. *Kyrylovyh V.* Automated technological equipment layout in industrial robots' working area having complicated shape / *V.Kyrylovyh, O.Pidtychenko* // *Proceeding of the international scientific conference MECHANICS 2008 / Scientific Bulletins.* Rzeszow, July 2008. – Pp. 189–196.
47. *Melnychuk P.* Использование теории кватернионов для формирования функциональных моделей манипуляционных систем промышленных роботов / *P.Melnychuk, V.Kyrylovyh, O.Pysarchuk* // *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej.* – № 279. – Mechanika. – z. 83 (nr. 1/2011). – S. 103–112.
48. *Monkman G.J.* Robot grippers / *G.J. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann, H.Schunk.* – Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 452 p.
49. *Selig J.M.* Geometric Fundamentals of robotics / *J.M. Selig.* – Springer. – New York, 1996. – 398 p.
50. *Siciliano Bruno.* Springer handbook of robotics / *Bruno Siciliano, Oussama Khatib.* – Berlin : Springer, 2008. – 1631 p.
51. *Spong M.W.* Robot modeling and control / *M.W. Spong, S.Hutchinson, M.Vidyasagar.* – New York, John Wiley & Sons. Inc., 2005. – 408 p.
52. Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. World robotics [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.worldrobotics.org/downloads/2010\\_executive\\_summary.pdf](http://www.worldrobotics.org/downloads/2010_executive_summary.pdf)
53. The design of manufacturing systems [Editor Cornelius Leondes] Computer-aided design Engineering and manufacturing, systems. Techniques and applications. – CRC Press LLC. – 2001. – 300 p.
54. *Xiong Chiahua.* Fundamentals of robotic grasping and fixturing / *Chiahua Xiong, Han Ding, Youlun Xiong.* – USA : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007 – 229 p.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – доцент кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету, кандидат технічних наук, доцент.

Наукові інтереси:

– автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування;

– автоматизація технологічної підготовки машино- та приладобудування.

Тел.: (093)770-30-77.

E-mail: [kiril\\_v@mail.ru](mailto:kiril_v@mail.ru)

Подано 06.09.2011