

УДК 621.865.8

*В.А. КИРИЛОВИЧ*, канд. техн. наук, Житомир, Україна

## АКСІОМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО СУТНОСТІ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЇХ СИНТЕЗУ

Запропонована множина семантично та формально інтерпретованих аксіом, що змістовно відтворюють сутність та особливості задач синтезу роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок

Предложено множество семантически и формально интерпретируемых аксиом, которые отображают сущность и особенности задач синтеза роботизированных механосборочных технологий на известном техническом базисе гибких производственных ячеек

The many semantically and formally interpreted axioms that reflect the nature and characteristics of the problems of robotized assembly technologies synthesis on the known technical basis of the flexible manufacturing cells are proposed

**Вступ. Постановка задач.** Для вирішення важливої науково-прикладної проблеми підвищення якості проектування/синтезу та реалізації роботизованих механоскладальних (РМСТ) та скорочення термінів їх (технологій) проектування/синтезу, необхідним є наявність науково-обґрунтованого підходу до розв'язування складових задач даної проблеми. Такий підхід може бути сформовано шляхом формалізації, що базується на змістовній сутності РМСТ, внутрішніх та зовнішніх властивостях РМСТ, що реалізуються, наприклад, на відомому технічному базисі (ВТБ) гнучких виробничих комірок (ГВК) механоскладання, про що і буде йти мова далі.

Формалізація змісту РМСТ на ВТБ ГВК та процесу їх синтезу ставить за кінцеву мету отримати інформаційно-методичну основу для його (синтезу) автоматизованої реалізації. Тому автоматизований синтез

(АС) РМСТ, що є необхідною та обов'язковою складовою автоматизованого проектування РМСТ, є складовою автоматизованих систем технологічної підготовки роботизованого механоскладального виробництва (АСс РМСВ).

В основу АС РМСТ на ВТБ ГВК доцільно закласти певні положення, що змістовно відтворюють та закріплюють сутність складових аналізованої проблеми та власне останню як таку.

**Аналіз стану проблеми.** Використання аксіоматичного підходу, що відтворює одноіменний принцип АС РМСТ на ВТБ ГВК [5], забезпечує сутність побудови та функціонування відповідної функції автоматизованого синтезу (ФАС) РМСТ [7], призначене обмежити вільні (суб'єктивні) визначення наукових та прикладних рішень і може розглядатись як свідчення сталості знань щодо роботизованих гнучких виробничих систем та їх складових ГВК.

Аксіоматичний підхід, що використовується в інших сумісних предметних областях [4, 8-10, 12] та має міцну теоретичну базу [1-3, 11, 12], передбачає знаходження такої системи (множини) аксіом, щоб значущі при подальшому формуванні ФАС положення виводились логічно із цих аксіом.

Вимоги несуперечливості, повноти і незалежності є обов'язковими при формуванні системи (множини) аксіом [1-3]. При цьому *несуперечливість* означає, що з аксіом неможливо отримати протирічливі умовиводи; *повнота* забезпечує виведення із аксіом необхідних аналітичних та формальних виразів при формуванні ФАС, а *незалежність* є як такою тоді і лише тоді, коли кожна із аксіом не виводиться із інших аксіом і не залежить (не визначається) від основних положень формування ФАС.

Таким чином, під аксіомами в контексті розглядуваної проблеми розуміються вихідні твердження, істинність яких в межах конкретної області роботизованих механоскладальних виробництв на рівні ГВК є очевидною. Із даних аксіом шляхом виведень переважно або виключно логічними засобами імплікується склад дій щодо подальшого формування ФАС.

Розглянуті нижче аксіоми є семантично непротирічливі, так як вони формально інтерпретовані, тобто мають моделі. Очевидно, що моделлю в даному випадку є наближений опис з використанням математичної символіки істинної інтерпретації формального обчислення сутності аксіом.

При формуванні аксіоматичного підходу щодо РМСТ використані обчислення предикатів І-го порядку та обчислення висловлювань як складова обчислення предикатів [11, 12], що як засоби формулювання аксіом задовольняють вимогам несуперечливості, повноти та незалежності [1-3]. Саме формалізація сутності кожної аксіоми РМСТ призводить до несуперечливості, повноти та незалежності системи аксіом.

**Мета** роботи – висвітлити зміст та формалізовано представити аксіоми, що в подальшому можуть розглядатись як складова системного підходу для автоматизованого синтезу РМСТ на відомому технічному базисі ГВК.

**Виклад основної частини.** Априорі очевидно, що на процес синтезу РМСТ як і на зміст останніх впливають: множина технологічних складових РМСТ, що пов'язані з ОМ та ПР, та множина складових ВТБ, що формують множину робочих позицій  $\{PP_t | t = \overline{1, T}\}$  ГВК, де  $T$  – загальна кількість РП технологічного змісту (в загальному випадку не співпадає із фізичною кількістю РП), а також відношення за виразом (1) між складовими вказаних множин та множинами як такими. Вказані відношення дозволяють в подальшому встановити та формалізувати взаємозв'язки між окремими складовими ГВК та РМСТ, що реалізується на них. Це з врахуванням системного підходу, запропонованої концепції АС РМСТ та встановленої парадигми РМСТ [6] дає можливість на якійсь новій основі формувати передумови для розробки формалізованої методики синтезу РМСТ на ВТБ ГВК. Логіка формальних міркувань та умовиводів, що фактично може бути покладене в основу формування ФАС, допускає її алгоритмізацію та в подальшому програмну реалізацію АС РМСТ на ВТБ ГВК.

Тут та далі використовуються наступні відношення  $_{kn}R$  між елементами вказаних одноіменних і різноіменних множин:

$$_{kn}R = \{\leftrightarrow, \wedge, \vee, \neg, \times, \Rightarrow, \langle \dots \rangle, \langle \dots \rangle, \mathbf{C}, \rightarrow\}, \quad (1)$$

де  $\leftrightarrow$  – еквівалентність (іноді  $\mathbf{A}$ );  $\wedge$  – диз'юнкція (логічне “та”);  $\vee$  – кон'юнкція (логічне “або”);  $\neg$  – логічне заперечення;  $\times$  – декартовий добуток;  $\Rightarrow$  – імплікація (логічне слідування);  $\langle \dots \rangle$  – частково

упорядкована послідовність;  $\langle \dots \rangle$  – упорядкована послідовність;  
 $\mathcal{C}$  – слідування (порядок);  $\rightarrow$  – прямує до..., відображається в (на) ...,  
 відповідність;  $kn$  – вид відношень,  $kn \in (RMA, TR)$ :

$RMA$  – при розгляді роботизованих механоскладальних технологій та їх складових;

$TR$  – при розгляді технологічних роботизованих систем та їх складових.

На підставі викладеного вище запропонована наступна кінцева множина аксіом  $(A_{i_a} | i_a = \overline{1, n_a})$  щодо сутності РМСТ та їх синтезу.

**A1.** Люба роботизована механоскладальна технологія повністю визначається своїми технологічними роботизованими складовими (операціями, переходами) та їх відношеннями:

$$(\forall_{RMA} T_{i_T}^{d_g} | i_T = \overline{1, n_T}) \leftrightarrow ((RMA t_{i_T}^{d_g}) \wedge_{RMA} R(RMA t_{i_T}^{d_g}) | i_T = \overline{1, n_T}), \quad (2)$$

де  $\forall$  – квантор узагальнення (узагальнення операцій кон'юнкції);

$RMA T_{i_T}^{d_g}$  –  $i_T$ -та роботизована механоскладальна технологія отримання  $d_g$ -го виробу ( $d_g = \overline{1, D_g}$ ,  $D_g$  – загальна кількість  $d_g$ -их виробів)  $g$ -ої групи ( $g = \overline{1, G}$ ,  $G$  – загальна кількість груп) виробів;

$n_T$  – загальна кількість  $i_T$ -их РМСТ,  $i_T = \overline{1, n_T}$ ;

$RMA t_{i_T}^{d_g}$  –  $i_T$ -та технологічна роботизована складова  $i_T$ -ої роботизованої механоскладальної технології отримання  $d_g$ -го виробу  $g$ -ої групи виробів:

$$RMA t_{i_T}^{d_g} \in_{RMA} T_{i_T}^{d_g};$$

$n_i$  – загальна кількість  $i_i$ -их роботизованих складових  $i_i = \overline{1, n_i}$ ;

$RMA R$  – відношення між  $RMA t_{i_T}^{d_g}$  в структурі  $RMA T_{i_T}^{d_g}$  за виразом (1).

**A2.** Кожна роботизована механоскладальна технологія є адитивною композицією її технологічних роботизованих складових:

$$(\forall_{RMA} T_{i_T}^{d_g} | i_T = \overline{1, n_T}) = \langle RMA t_{i_T}^{d_g} \wedge \dots \wedge_{RMA} t_{i_T}^{d_g} \wedge \dots \wedge_{RMA} t_{n_i}^{d_g} \rangle = \left\langle \bigwedge_{i=1}^{n_i} RMA t_{i_T}^{d_g} \right\rangle. \quad (3)$$

Тут всі позначення згідно виразів (1) та (2).

**A3.** Влюбій роботизованій механоскладальній технології виконуються відношення порядку їх технологічних роботизованих складових:

$$\left(\forall_{RMA} T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T}\right) = \left(\left(\left(RMA t_{i_T}^{d_g} \text{C} \dots \text{C} RMA t_{i_T}^{d_g} \text{C} RMA t_{(i+1)_T}^{d_g} \text{C} \dots \text{C} RMA t_{n_T}^{d_g}\right) \neq \right.\right. \\ \left.\left. \neq \left(RMA t_{i_T}^{d_g} \text{C} \dots \text{C} RMA t_{(i+1)_T}^{d_g} \text{C} RMA t_{i_T}^{d_g} \text{C} \dots \text{C} RMA t_{n_T}^{d_g}\right)\right)\right). \quad (4)$$

**A4.** Кожна (люба) роботизована механоскладальна технологія визначається кінцевою множиною її проявів:

$$\left(\forall_{RMA} T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T}\right) \leftrightarrow \left\{T_T S_{i_{S_T}}^{d_g} \mid i_{S_T} = \overline{1, n_{S_T}}\right\}, \quad (5)$$

де  $T_T S_{i_{S_T}}^{d_g}$  –  $i_{S_T}$ -та складова за проявом  $i_T$ -ої роботизована механоскладальна технологія  $RMA T_{i_T}^{d_g}$ ;

$n_{S_T}$  – загальна кількість кінцевої множини складових за проявом  $i_T$ -ої роботизованої механоскладальної технології  $RMA T_{i_T}^{d_g}$ .

**A5.** Між елементами множини прояву будь-якої роботизованої механоскладальної технології існують відношення порядку або часткового порядку:

$$\left(\forall_{RMA} T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T}\right) \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \left(\left\{T_T S_{i_{S_T}}^{d_g} \mid i_{S_T} = \overline{1, n_{S_T}}\right\} = \left(\left\langle T_T S_{i_{S_T}}^{d_g} \mid i_{S_T} = \overline{1, n_{S_T}} \right\rangle \nabla \left\langle T_T S_{i_{S_T}}^{d_g} \mid i_{S_T} = \overline{1, n_{S_T}} \right\rangle\right)\right). \quad (6)$$

Тут всі позначення за виразами (1) та (5).

**A6.** Кожна із технологічних роботизованих складових як і вся роботизована механоскладальна технологія визначається технологічною роботизованою системою ВТБ на ГВК:

$$\left(\left(\left(\forall_{RMA} T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T}\right) \in \left(RMA T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T}\right)\right) \wedge \left(RMA T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T}\right)\right) \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \left(TR S_{i_{S_T}}^{d_g} \mid i_{S_T} = \overline{1, n_{S_T}}\right), \quad (7)$$

де  $TR S_{i_{S_T}}^{d_g}$  –  $i_{S_T}$ -та технологічна роботизована система, що реалізує  $i_T$ -ту роботизовану механоскладальну технологію  $RMA T_{i_T}^{d_g}$  та її множини  $i_T$ -их технологічних складових  $RMA t_{i_T}^{d_g}$ ;

$n_{TR}$  – кількість структурних елементів  $i_{TR}$ -ої технологічної роботизованої системи  $T_{TR} S_{i_{ST}}^{d_g}$ ,  $i_{TR} = \overline{1, n_{TR}}$ .

**A7.** Кожна технологічна роботизована система механоскладання визначається своїми структурними елементами та відношеннями між ними:

$$\left( \forall_{TR} S_{i_{ST}}^{d_g} \mid i_{TR} = \overline{1, n_{TR}} \right) \leftrightarrow \left( \left( \bigwedge_{i_s=1}^{n_s} TR S_{i_s}^{d_g} \right) \wedge TR R \left( TR S_{i_s}^{d_g} \right) \mid i_s = \overline{1, n_S} \right), \quad (8)$$

де  $TR S_{i_s}^{d_g}$  –  $i_s$ -ий структурний елемент  $i_{TR}$ -ої технологічної роботизованої системи:  $TR S_{i_s}^{d_g} \in TR S_{i_{TR}}^{d_g}$ ;

$n_S$  – кількість структурних елементів  $i_{TR}$ -ої технологічної роботизованої системи;

$TR R$  – відношення за (1) між структурними елементами  $TR S_{i_s}^{d_g}$   $i_{TR}$ -ої технологічної роботизованої системи.

**A8.** Кожна роботизована механоскладальна технологія, що реалізується на ВТБ ГВК, визначається упорядкованим переміщенням схвата ПР з/без об'єкта маніпулювання в схваті і виконується з відповідними параметрами:

$$\begin{aligned} & \forall \left( \left( \left( T_{RM}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \leftrightarrow \left\{ TR S_{i_{TR}}^{d_g} \mid i_{TR} = \overline{1, n_{TR}} \right\} \right) \leftrightarrow \right. \\ & \left. \leftrightarrow \left( \left( Gr = TR S_{i_s}^{d_g} \right) \subset IR \right) \in \left( TR S_{i_{TR}}^{d_g} \mid i_{TR} = \overline{1, n_{TR}} \right) \wedge \left( O_t^{d_g} \nabla \neg O_t^{d_g} \right) \times \right. \\ & \left. \times \left( \left( TR S_{i_s}^{d_g} \mid i_s = \overline{1, n_S}; TR S_{i_s}^{d_g} \neq Gr \right) \in \left\{ TR S_{i_{TR}}^{d_g} \mid i_{TR} = \overline{1, n_{TR}} \right\} \right) \right) \Rightarrow \left\langle \bigwedge_{i_p=1}^{n_p} IR P_{i_p}^{d_g} \right\rangle, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $Gr$ ,  $IR$  – позначення Сх, ПР;

$O_t^{d_g}$  – об'єкт маніпулювання при технологічному обслуговуванні промисловим роботом  $t$ -ої робочої позиції ГВК;

$IR P_{i_p}^{d_g}$  – параметри переміщень рухомих конструктивних елементів ПР (ланок маніпуляційної системи та схвата);

$n_p$  – загальна кількість параметрів ПР, що використовуються,

$$i_p = \overline{1, n_p}.$$

**A9.** На ВТБ ГВК можна синтезувати щонайменше одну роботизовану механоскладальну технологію:

$$\left( \forall_{TR} S_{i_{TR}}^{d_g} \mid i_{TR} = \overline{1, n_{TR}} \right) \leftrightarrow \exists \left( \left( \left( {}_{RMA}T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \right) \geq 1 \right) \equiv (n_T \geq 1), \quad (10)$$

де  $\exists$  – квантор існування (узагальнення операції диз'юнкції).

**A10.** На ВТБ ГВК не виключеним є синтез хоча б однієї роботизованої механоскладальної технології, що задовольняє заданому критерію оптимальності:

$$\begin{aligned} & \left( \left\{ {}_{T_{tr}}S_{i_{st}}^{d_g} \mid i_{st} = \overline{1, n_{st}} \right\} \leftrightarrow \left( {}_{RMA}T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \exists \left( \left( {}_{RMA}^*T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \in \left( {}_{RMA}T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \right) \leftrightarrow \\ & \leftrightarrow \left( \left( F_{opt} \left( {}_{RMA}^*T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \right) \rightarrow extr \mid \geq 1 \right) \nabla \end{aligned} \quad (11)$$

$$\nabla \left( -F_{opt} \left( {}_{RMA}^*T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \rightarrow extr \right) = \left( \left| F_{opt} \left( {}_{RMA}^*T_{i_T}^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \rightarrow extr \right| = 0 \right),$$

де  ${}_{RMA}^*T_{i_T}^{d_g}$  – оптимальна  $i_T$ -та роботизована механоскладальна технологія;

$F_{opt} \left( {}_{RMA}^*T_{i_T}^{d_g} \right)$  – критерій оптимальності, за яким  $i_T$ -та роботизована механоскладальна технологія є оптимальною.

**A11.** Відповідність роботизованих механоскладальних технологій призводить до використання обої з них за параметром відповідності або якщо роботизовані механоскладальні технології еквівалентні за якими-небудь параметрами, то можливим є використання обої з них за вказаними параметрами:

$$\begin{aligned} & \forall \left( \left( \left( {}_{RMA}^{p_T}T_{j_T}^{d_g} \mid j_T = \overline{1, n_T} \right) \right) \overset{p_T}{\leftrightarrow} \left( \left( {}_{RMA}^{p_T}T_{k_T}^{d_g} \mid k_T = \overline{1, n_T} \right) \mid j_T \neq k_T \right) \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \left( \left( \left( {}_{RMA}^{p_T}T_{j_T}^{d_g} \mid j_T = \overline{1, n_T} \right) \right) \nabla \left( \left( {}_{RMA}^{p_T}T_{k_T}^{d_g} \mid k_T = \overline{1, n_T} \right) \mid j_T \neq k_T \right) \right), \end{aligned} \quad (12)$$

де  $\leftrightarrow$  – знак еквівалентності (відповідності)  $j_T$ -ої та  $k_T$ -ої РМСТ за параметром  $p_T$ ;

$$p_T \in \left( \left( {}_{IR}P_{i_{p_{IR}}}^{d_g} \mid i_{p_{IR}} = \overline{1, n_{p_{IR}}} \right) \vee \left( {}_{IS}P_{i_{p_{IS}}}^{d_g} \mid i_{p_{IS}} = \overline{1, n_{p_{IS}}} \right) \right),$$

${}_{TS}P_{i_{p_{TS}}}^{d_g}$  –  $i_{p_{TS}}$ -ий параметр  $i_{s_T}$ -ої складової за проявом  $i_T$ -ої РМСТ (див. вираз (5));

$n_{p_{TS}}$  – загальна кількість  $i_{p_{TS}}$ -их параметрів  $i_{s_T}$ -ої складової за проявом  $i_T$ -ої РМСТ;

${}_{IR}P_{i_p}^{d_g}$  – див. вираз (9).

**A12.** Усунення причин невідповідності роботизовано механоскладальної технології щодо певного заданого параметра після її (причини) виявлення є можливим обумовленням отримання відповідності РМСТ щодо вказаного параметра або виключення причини виключення РМСТ є введення цієї РМСТ:

$$\neg \neg \left( \forall_{RMA} {}_{i_T}T^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right) \Rightarrow \left( \forall_{RMA} {}_{i_T}T^{d_g} \mid i_T = \overline{1, n_T} \right), \quad (13)$$

де  $p_T$  – параметр РМСТ, щодо якого виявлено невідповідність синтезованої  $i_T$ -ої РМСТ (див. вираз (12)).

Змістовний аналіз поданих аксіом та їх формальної інтерпретації вказує на те, що множину наведених аксіом можна умовно розділити на 3 групи:

1. аксіоми **A1–A5**, що розкривають “внутрішній” зміст та структуру РМСТ;

2. аксіоми **A6–A8**, що розкривають зовнішні відношення між структурними елементами ВТБ ГВК та РМСТ як такими;

3. аксіоми **A9–A12**, що пов’язані із синтезом РМСТ.

Саме такий поділ аксіом, їх зміст та формальна інтерпретація відтворює зміст та особливості постановки задач розглядуваної проблеми АС РМСТ на ВТБ ГВК.

**Висновки.** Розроблено множину аксіом, що змістовно фіксують наявні сталі знання щодо роботизованих механоскладальних технологій на рівні ГВК та їх синтезу. Аксиоматизація основних положень сутності та синтезу



PMCT на ВБТ ГВК забезпечує відповідність формальної інтерпретації аксіом щодо вимог непротиріччя, повноти та незалежності, що створює надійну логіко-математичну формальну основу для подальшого формування функцій автоматизованого синтезу PMCT на ВБТ ГВК.

**Список використаних джерел:** 1. Гильберт Д. Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики / Д. Гильберт, П. Бернайс: Пер. с нем. – М.: Наука, 1979. – 520с. 2. Гильберт Д. Основания математики. Теория доказательств / Д. Гильберт, П. Бернайс: Пер. с нем. – М.: Наука, 1982. – 652 с. 3. Деминг Э. Философско-логические проблемы построения теорий / Э. Деминг // Эксперимент, модель, теория: Пер. с нем. – М. – Берлин: Наука, 1982. – С.252–265. 4. Железна А.О. Аксиоматичний підхід до створення теорії структури конструкцій / А.О. Железна, Л.В. Лось // Вісник ЖІТІ. – 2003. – №1(24). – С.25–29. 5. Кирилович В.А. Принципи автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок / В.А. Кирилович // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир. – 2011. – №3(58). – С.24–41. 6. Кирилович В.А. Системний підхід до автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій в гнучких виробничих комірках / В.А. Кирилович // Тези міжнародної науково-технічної конференції “Машинобудування і техносфера ХХІ сторіччя” – Донецьк-Севастополь, 17–22 вересня 2012р. – С.38–39. 7. 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.І. – С.35–43. 8. Кирилович В.А. Умови функціональної вирішуваності при автоматизованому синтезі роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / В.А. Кирилович // Науковий журнал “Технологічні комплекси”. – Луцьк. – 2010. – №1. – С.136–145. 9. Лось Л.В. Теория структуры конструкций технологических машин и приборов. – Житомир: Житом. сельхоз. ин-т, 1991. – 167с. 10. Пуховский Е.С. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства / Е.С. Пуховский, А.Б. Кукарин. – К.: Техника, 1997. – 221с. 11. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – Киев: Техника, 1975. – 538 с. 12. Челищев Б.Е. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении / Б.Е. Челищев, И.В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер; Под ред. Н.Г. Бруевича. – М.: Машиностроение, 1987. – 264с.