

В.М. Давигора, к.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

«ЗВОРОТНИЙ» СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНО ДОЦІЛЬНИХ ПОРЯДКІВ ПОСЛІДОВНО-ПАРАЛЕЛЬНОГО СКЛАДАННЯ

Розглянуто проблему інваріантного до конструкції конкретного виробу формалізованого синтезу технологічно доцільних порядків послідовно-паралельного складання. Встановлено склад і форму представлення вихідної інформації, автоматичне введення та переробка якої здійснюються безпосередньо з конструкторської документації. Виявлено властивості конструкції виробу і процесу його виготовлення на порядок складання, визначені структура, функції та процедури проектування.

Автоматизоване проектування складних технічних систем інформаційної природи, до числа яких відносяться системи технологічного проектування, можливе лише на основі теорії формалізованого синтезу. Ця теорія повинна містити:

- обґрунтування структури проектування, яку визначає його раціональне розбиття на етапи, що складають їхні процеси, підпроцеси і процедури (динамічна модель);
- опис складу і способів представлення вихідної інформації про предмети синтезу, встановлення функцій перетворення інформації (інформаційна модель);
- представлення в явному вигляді логіко-математичних і параметричних функцій аналізу і синтезу проектних рішень, а також відповідних процедур (логіко-математична модель).

Структуруванням проектування досягається скорочення складності та трудомісткості вихідної задачі за рахунок представлення її сукупністю процесів рішення, що стикаються, більш простих задач, спрямованих на переробку всієї вихідної інформації.

Фінітність системи автоматизованого синтезу технології складання у відношенні прийнятого критерію оптимізації досягається лише при розробці технологічного процесу (ТП) разом з технологічною системою (ТС), що реалізує його. Тому вихідна задача оптимізаційного синтезу розбивається на етапи:

- структурного синтезу, коли визначаються домінуючі варіанти маршрутно-операційного ТП;
- параметричного синтезу, коли розробляється ТС, що щонайкраще реалізує один з домінуючих варіантів ТП складання.

Очевидно, що одна з найбільш відповідальних і складних для автоматизації задач першого етапу проектування – синтез множини альтернатив, що описують порядок послідовно-паралельного складання (ППС), – може розглядатися з урахуванням обмежень, обумовлених тільки властивостями конструкції конкретного виробу і закономірностями технології складання. Обмеження, обумовлені характеристиками технічних засобів, що використовуються для реалізації ТП складання, організаційно-технічні та економічні обмеження, що мають вплив на порядок складання, беруться до уваги на другому етапі синтезу. Тоді уточнюються й остаточно визначаються найкращі за обраним критерієм оптимізації технологічні рішення.

Процес синтезу множини домінуючих варіантів порядків ППС може бути представлений наступними підпроцесами, що послідовно розвертаються.

1. Підпроцесом визначення на універсальній множині R всіх можливих переходів між станами $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_M\}$ складованого виробу (СВ), множини R' всіх припустимих властивостей конструкції конкретного СВ, кортежів переходів ППС, що переводять виріб з початкового стану, при якому встановлена перша (базова) деталь, у кінцевий, при якому встановлені всі N деталей множини $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$.

2. Підпроцесом виділення на множині R' множини R'' всіх технологічно раціональних варіантів ППС.

При складанні будь-який стан $q_i \in Q$ виробу характеризується фіксованим на розглянутий момент складом $Hc_i \subseteq A$ деталей СВ. Кожен перехід $r_{ij} \in R$ описує приєднання до уже складених деталей чергової деталі чи групи деталей і зв'язує три стани – попередній q_j , приєднаний q_i і одержуваний q_k . Максимальна кількість M усіх можливих переходів R відповідно до [1] визначається як: $M = 3^N - 2^{N+1} + N + 1$.

Множина досяжних при складанні конкретного виробу станів $Q^1 \subset Q$ і відповідна множина переходів $R^1 \subset R$ визначаються принципом оптимальності ОП, що відображає особливості просторової взаємодії деталей конкретного СВ. Математичним вираженням останнього є функція вибору $F_{оп}$, що ставить у відповідність універсальним множинам Q і R всіх можливих альтернатив вихідні множини реалізованих (що допускаються конструкцією виробу) альтернатив $Q^1 = F_{оп}(Q)$ і $R^1 = F_{оп}(R)$.

Допустимість реалізованих альтернатив традиційно визначається:

- 1) умовами базування та доступу [2, 3];
- 2) обмеженнями взаємної рухливості деталей виробу [1].

У першому випадку умови базування та доступу формулюються наступним чином.

Деталь a_1 , що містить допоміжну поверхню для іншої деталі a_2 , є базовою $a_1 \xrightarrow{b} a_2$, і вона встановлюється першою:

$$\exists_A a_1 \exists_A a_2 [(a_1 \xrightarrow{b} a_2) \Rightarrow (a_1 < a_2)] , \tag{1}$$

де $<$ – знак відношення проходження, а вираз $a_1 < a_2$ читається так: «деталь a_1 передує деталі a_2 ».

Деталь a_1 , обмежена за доступом деталлю a_2 , встановлюється раніше тієї, котра її обмежує:

$$\exists_A a_1 \exists_A a_2 [(a_1 - (a_2) \Rightarrow (a_1 < a_2)] , \tag{2}$$

де $-()$ – знак обмеження за доступом, а вираз $a_1 - (a_2$ читається так: «деталь a_2 обмежує доступ деталі a_1 до місця встановлення».

Формування умов (1) і (2) можливе на основі аналізу бінарних контактних взаємодій, які описують взаємну рухливість деталей у СВ по координатних осях, що визначає можливі поступальні та ротаційні напрямки з'єднання деталей. У більшості випадків ці напрямки представлені декартовою системою координат, що відповідає принципам побудови складальних креслень в ортогональних проекціях. Аналіз цих взаємодій необхідний для виявлення контурів, по яких обмежується рухливість деталей, що не складаються в безпосередньому контакті за відповідним напрямком. При такому аналізі виявляються так звані «віддалені» взаємодії деталей СВ за відпо-

відними напрямками, без чого неможливе представлення умов (1) і (2) у нормальній диз'юнктивній чи кон'юнктивній формі.

Аналіз проводиться за допомогою логіко-математичних процедур. Однак істинність отриманих результатів встановлюється тільки після виконання арифметичних процедур, зв'язаних з розрахунком розмірних ланцюгів для кожної пари елементів усіх розглянутих контурів. Розрахунок кожного з розмірних ланцюгів виконується в напрямку, нормальному до площини координатних осей, за якими деталі контуру взаємно обмежують одна одну як в один, так і в інший бік.

Очевидно, що автоматизований синтез множини кортежів реалізованих порядків ППС, що ґрунтується на використанні умов (1) та (2), ускладнений через необхідність залучення та наступної переробки неоднорідної за складом і значної за обсягом інформації і практично не реалізується.

Кардинально не вирішує проблему і можливість автоматизованого введення інформації про контактні обмеження рухливості елементів СВ, що відкривається у випадку використання при підготовці відповідної конструкторської документації однієї з сучасних CAD програм, що підтримує тривимірне проектування. Такими програмами є, наприклад, програма Solid Edge V.6.0, що має у своєму складі функцію Check Interference, чи програма Solid Works 99 з функцією Interference Detect.

У другому випадку реалізується підхід, при якому перша процедура першого підпроцесу призначена для формального виділення множини \bar{P} допустимих конструкцією конкретного виробу альтернатив послідовно-паралельного розкладання, а друга процедура – для трансформування цієї множини в множину P^R порядків технічно реалізованих варіантів ППС. Такий «зворотний» синтез, як буде показано нижче, істотно спрощує процес проектування та припускає використання за початкові умови відомостей лише одного виду – про бінарні відношення контактних і віддалених обмежень рухливості.

Бінарні відношення обмеження рухливості (БВОР) характеризують відносно розташування деталей у СВ і є відношеннями порядку. Їх можна задати вказівкою пар, для яких виконується відношення, заданням матрицею, графом чи перетинами.

Матричний спосіб задання БВОР є найбільш зручним, як для первісного автоматизованого введення вихідної інформації, так і для наступної її обробки. Особливості матричного представлення відношень рухливості, деякі властивості цих відношень та операцій над ними розглянуті на прикладі реальної складальної одиниці (СО) – «реверсивного пневматичного золотника» (рис. 1).

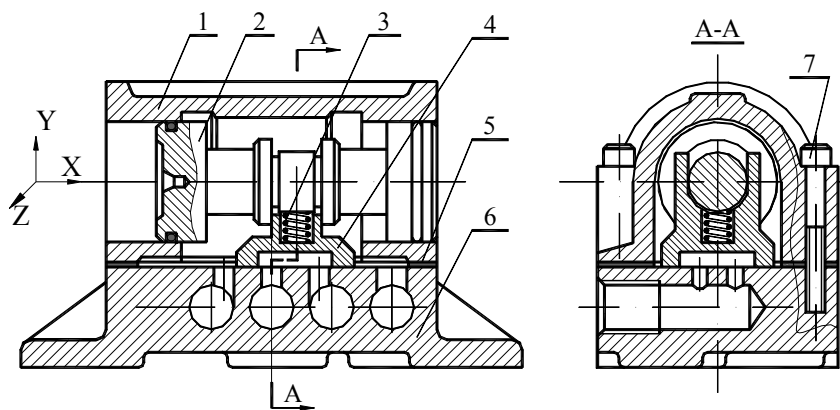


Рис. 1. Реверсивний пневматичний золотник: 1 – циліндр; 2 – двосторонній поршень; 3 – пружина; 4 – золотник; 5 – прокладка; 6 – основа; 7 – гвинти

Відношення обмеження переміщень $L \subseteq A \times A$ можуть бути представлені матрицями $M(L)$ розмірами $N \times N$. У кожній з матриць i -ий рядок відповідає a_i -ій деталі, а j -ий стовпець – деталі a_j . Наявність 1, 2, чи 8 на перетині i -ого рядка і j -ого стовпця свідчить про те, що $\langle a_i, a_j \rangle \in L$, тобто відношення $a_i La_j$ виконане. Елемент матриці $m_{ij} \in L$ дорівнює 0, якщо розглянута умова не виконана.

Правило задання матриці відношень обмеження переміщень формулюється так:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, 2, \text{ чи } 8, & \text{якщо деталь } a_i \text{ обмежує деталь } a_j; \\ 0, & \text{якщо деталь } a_i \text{ не обмежує деталь } a_j \quad (i, j = 1, N). \end{cases} \quad (3)$$

Матриця $(m_{ij}(L)) = M(L)$ містить всю інформацію про те, для яких пар елементів з A виконується відношення L . Існування БВОР відображається при цьому елементами: $m_{ij} = 1$, якщо відповідні деталі, знаходяться в контактній взаємодії; $m_{ij} = 2$, якщо відповідні деталі знаходяться в квазінерухомій контактній взаємодії вздовж розглянутої координатної осі; $m_{ij} = 8$, якщо деталі віддалено обмежують взаємну рухливість одна одної. Квазінерухома взаємодія існує між деталями з'єднання, що забезпечує нерозпадаємість (ЗЗН) будь-якої СО в напрямку координатної осі, взаємне переміщення деталей вздовж якої можливе за рахунок застосування спеціальних зусиль (з'єднання, в основі яких лежать пружні пластичні чи температурні деформації) чи допоміжних рухів (нарізні з'єднання).

Матриці БВОР деталей СВ чи СО в позитивному і негативному напрямках вздовж будь-якої можливої осі $T = \{X, Y, Z, \dots\}$ складання зв'язані зворотним відношенням $M(L_{T+}) = M(L_{T-})$, при якому $a_i(L_{T+})a_j \Leftrightarrow a_j(L_{T-})a_i$. Тому, для визначення вихідної множини альтернатив (ВМА) R' досить мати комплект матриць, що описують БВОР тільки за одним із напрямків для кожної осі.

Вихідні матриці контактних і віддалених БВОР для СО «реверсивний золотник» представлені на рис. 2.

Для будь-якої СО БВОР є антирефлексивними ($a_i La_j$ виконується тільки для незбіжних об'єктів, коли $i \neq j$), транзитивними (для двоїстих відношень $L^d = \overline{L^{-1}}$ виконується співвідношення $L^d \leq L$) і циклічними.

Остання властивість обумовлена існуванням роз'ємного чи нероз'ємного ЗЗН для кожної складальної одиниці. ЗЗН завершує процес складання будь-якого виробу і кожної СО, що входить до його складу. З руйнування ЗЗН починається розкладання будь-яких СВ і СО. Руйнування БВОР перетворює відношення L в ациклічні, що визначає можливість розв'язання задачі виділення множини \overline{P} .

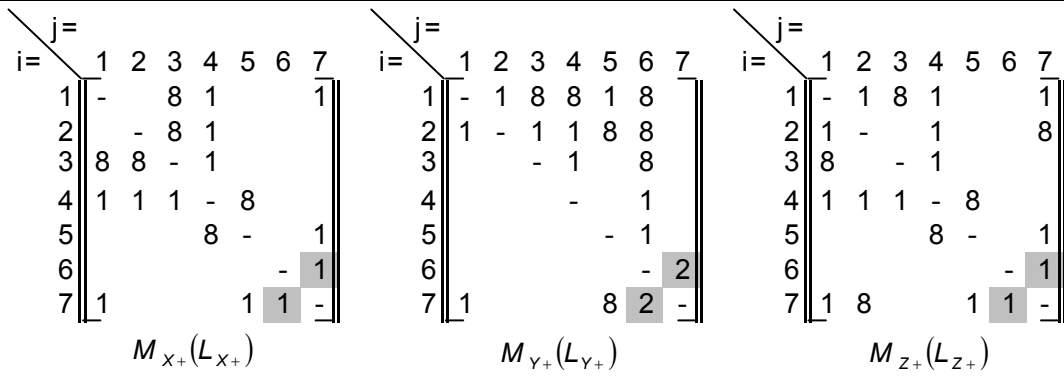


Рис. 2. Вихідні матриці БВОР по осях X, Y, Z: 1 – контактні обмеження; 2 – квазінерухомі контактні обмеження; 8 – віддалені обмеження; 1, 2 – обмеження між деталями 3ЗН

Контактні та віддалені БВОР для розглянутої СО вздовж відповідних осей можуть бути представлені змішаними графами $G_{X_+}(A, U_{X_+})$, $G_{Y_+}(A, U_{Y_+})$, $G_{Z_+}(A, U_{Z_+})$, у яких дуга $u_{ij} \in U$, що з'єднує вершини a_i і a_j графа в напрямку від a_i до a_j , означає, що «деталь a_i обмежує рухливість деталі a_j в позитивному напрямку вздовж відповідної осі», а ребро $u_{ij} \in U$ означає, що «деталі a_i й a_j обмежують одна одну в позитивному і негативному напрямках уздовж відповідної осі» (рис. 3). Представлення БВОР графами спрощує виявлення характерних для СО властивостей відношень, а також установлення процедур, що у першу чергу визначають порядок виділення ВМА послідовно-паралельного розкладу \bar{P} .

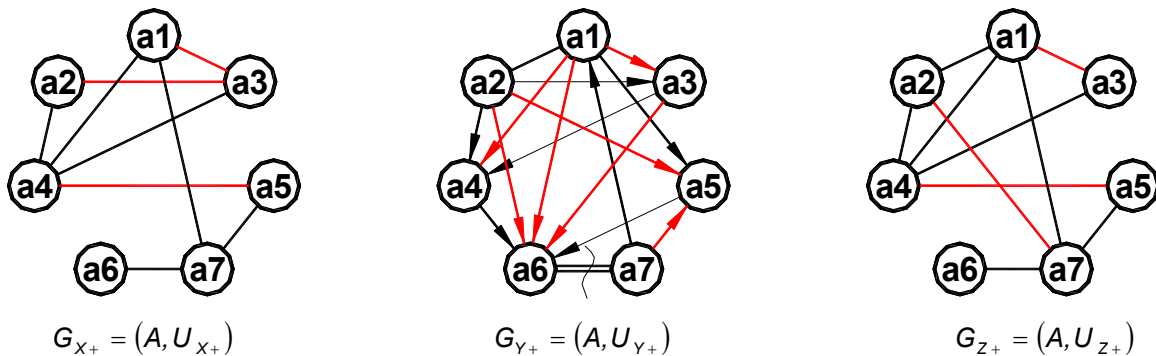


Рис. 3. Змішані графи контактних і віддалених БВОР:
 —————> – контактні відношення; —————> – віддалені відношення;
 = = = = = – квазінерухомі контактні відношення

Тільки дві деталі розглянутого виробу – 6-а і 7-а, зв'язані контактними БВОР по всіх осях в обох напрямках. Це відображається наявністю: елементів $m_{ij} = m_{ji} = 2$ в $M_{Y_+}(L_{Y_+})$ і елементів $m_{ij} = m_{ji} = 1$ у матрицях $M_{X_+}(L_{X_+})$ і $M_{Z_+}(L_{Z_+})$ для $i = 6$ і $j = 7$ (рис. 2), а також ребер $u_{6,7}$, що з'єднують вершини a_6 і a_7 всіх графів (рис. 3).

Властивість 1. 3ЗН будь-якої СО містить не менше двох деталей a_i і a_j і тільки для цих деталей відношення контактних обмежень рухливості відображені елементами $m_{ij} = m_{ji} = 2$ в од-

ній з матриць БВОР і елементами $m_{ij} = m_{ji} = 1$ в інших матрицях. На відповідних графах ці відношення представлені ребрами $u_{ij} = (a_i, a_j)$.

Властивість 2. Розкладання СО починається з руйнування квазінерухомого відношення.

Перша процедура першого підпроцесу «зворотного» синтезу, призначена для встановлення множини \bar{P} припустимих конструкцією конкретного виробу альтернатив послідовно-паралельного розкладу, виконується в наступній послідовності.

Крок 1. Руйнування квазінерухомих відношень між деталями a_i і a_j виробу, що утворюють ЗЗН. Цей крок виконується у відповідності з властивостями 1 та 2 і відображається зміною значень елементів m_{ij} і m_{ji} з 2 на 0 у відповідній матриці, а також видаленням ребра u_{ij} відповідного графа.

Для розглянутого прикладу елементи $m_{6,7} = m_{7,6} = 2$ матриці $M_{Y+}(L_{Y+})$ змінюються на $m_{6,7} = m_{7,6} = 0$ (рис. 4, а), а в графі $G_{Y+}^1 = (A, U_{Y+}^1)$ руйнується ребро $u_{6,7}$ (рис. 4, б).

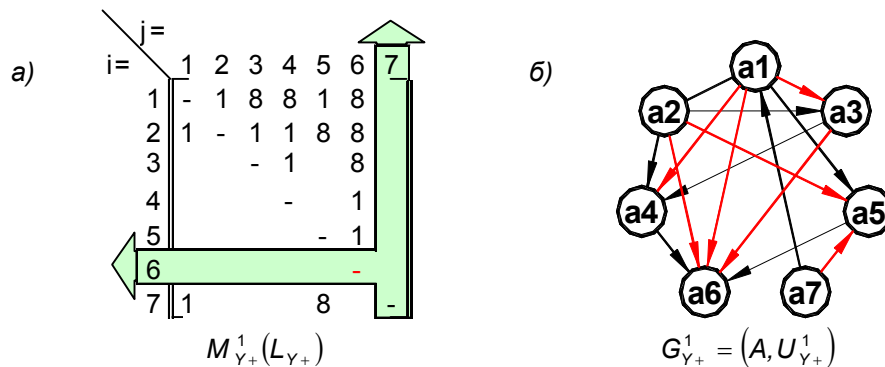


Рис. 4. Матриця (а) і частковий граф (б) БВОР після руйнування квазінерухомих відношень у ЗЗН: на матриці виділені мажоранти і міноранти по відношенню до L ; вершина a_6 графа має негативну, а вершина a_7 – позитивну інцидентність

Результатом виконання кроку 1 є поява в матриці, що містила квазінерухоме обмеження, як мінімум одного елемента $a_j \in A$, що є мажорантою по відношенню до L , заданому на A (якщо для усіх $a_j \in A$ виконано $a_j \bar{L}a_i$), і/чи мінорантою (якщо для усіх $a_j \in A$ виконано $a_i \bar{L}a_j$).

Властивість 3, а. Імена однієї чи декількох деталей ЗЗН, що видаляються з СО визначаються іменами мажоранти і/чи міноранти. Напрямок можливого видалення деталі вздовж розглянутої осі визначається знаком відповідної матриці для мажоранти і протилежним знаком для міноранти.

Ім'я та напрямок демонтажу будь-якої деталі СО можуть бути встановлені також у випадку представлення БВОР перетинами.

Для довільного відношення L на множині елементів A верхнім перетином $L^+(a_i)$ буде множина елементів $a_j \in A$ таких, що $\langle a_j, a_i \rangle \in L$:

$$L^+(a_i) = \{ a_j \in A \mid \langle a_j, a_i \rangle \in L \}. \tag{4}$$

Відповідно визначається нижній перетин:

$$L^-(a_i) = \{ a_j \in A \mid \langle a_i, a_j \rangle \in L \}. \tag{5}$$

Множина $L^-(a_i)$ представляє собою множину усіх деталей $a_j \in A$, з якими фіксована деталь $a_i \in A$ знаходиться у відношенні L . Для відношень обмеження рухливості це означає: «фіксована деталь a_i обмежує переміщення деталей $a_j \in A$ ». Множина $L^+(a_i)$ – це множина всіх елементів $a_j \in A$, що знаходяться у відношенні L з фіксованим елементом $a_i \in A$ («переміщення деталі a_j обмежують встановлені раніше деталі a_i »).

З (4) і (5) випливає, що, якщо елементи m_{ij} , що належать фіксованому i -му стовпцю якої-небудь матриці $M_{x_+}(L_{x_+})$, $M_{y_+}(L_{y_+})$, $M_{z_+}(L_{z_+})$, приймають значення $m_{ij} = 0$ для всіх $j = \overline{1, N}$, то це означає відсутність обмежень для переміщення деталі a_i уздовж відповідної координатної осі в позитивному напрямку. Аналогічно, з урахуванням оборотності матриць $M_{x_+}(L_{x_+})$, $M_{x_-}(L_{x_-})$, $M_{y_+}(L_{y_+})$, $M_{y_-}(L_{y_-})$ і т.д., істинним є твердження про те, що якщо у фіксованому i -ому рядку елементи $m_{ij} = 0$ для усіх $j = \overline{1, N}$, то це означає відсутність обмежень для переміщення деталі a_i вздовж відповідної осі в негативному напрямку.

Результатом виконання кроку 1 є поява у відповідному частковому графі (графі без ребер, що відображають квазінерухомі відношення) однієї чи декількох вершин, усі дуги яких мають або позитивну (дуги виходять з вершини), або негативну (дуги заходять у вершину) інцидентність.

Властивість 3, б. Ім'я та напрямок можливого видалення будь-якої деталі ЗЗН при руйнуванні квазінерухомого з'єднання у випадку представлення БВОР СО графами можуть бути визначені з урахуванням наступних положень. По-перше, видалятися буде деталь, що відповідає тій самій вершині часткового графа БВОР, яка після руйнування ребра, що відображає квазінерухомі відношення, виявилася з'єднаною з іншими вершинами графа тільки вхідними чи тільки вихідними дугами, інцидентними їй. По-друге, ця деталь може бути знята тільки вздовж осі відповідного графа. По-третє, напрямок видалення буде позитивним, якщо дуги відповідної вершини мають позитивну інцидентність та негативним – у протилежному випадку.

Для розглянутого прикладу деталями, що видаляються після руйнування квазінерухомого відношення між деталями ЗЗН, можуть бути: деталь a_7 , що може бути знята в напрямку Y_+ , і деталь a_6 , яку можна видалити в напрямку Y_- . Очевидно, що тільки одна з них є деталлю, з якої починається розклад СО.

З аналізу процесу виконання ЗЗН впливають властивості, що визначають черговість їх складання чи розкладу.

Властивість 4. З двох, чи більше, зв'язаних квазінерухомими відношеннями деталей, що складають ЗЗН, першою видалятися буде та, до якої прикладається спеціальне зусилля або допоміжний рух.

Відповідність деталі ЗЗН цій властивості визначено при виконанні попереднього процесу структурного синтезу – процесу декомпозиції СВ на СО різних ієрархічних рівнів.

Властивість 5. У випадку, якщо a_i -а деталь входить до складу групи з $n \geq 2$ однотипних елементів, які встановлюються при складанні з одного напрямку, і ця група деталей разом з однією чи декількома іншими деталями a_j, \dots, a_l утворить ЗЗН, то першою при розбиранні і, відповідно, останньою при складанні буде кожна з деталей a_i групи або одночасно усі n деталей.

Відповідність цій властивості встановлюється звертанням до специфікації на конструкторську документацію СО.

Крок 2. Видалення тієї з визначених на крокові 1 деталей, яка відповідає властивостям 4 чи 5, і відповідне звуження відношень $\langle L, A \rangle$ до відношень виду $\langle L', A' \rangle$, де $A' \subset A$ і $L' = L \cap (A')^2$.

Для розглянутого виробу властивостям 4 і 5 відповідає деталь a_7 . Ця деталь у відповідності з властивістю 3 видаляється першою в напрямку $Y +$.

Видалення першої деталі a_i веде до звуження БВОР і відображається видаленням i -их стовпця та рядка у всіх матрицях (рис. 5), а також зникненням вершини a_i разом з інцидентними їй дугами і ребрами у всіх графах (рис. 6).

Визначення 1. «Збудженою» вершиною графа вважається вершина, яка в результаті виконання попередніх дій стала ізольованою чи зв'язаною односпрямованими дугами з іншими вершинами графа. Такій вершині відповідає деталь, відношення обмеження рухливості якої представлені нульовими рядком або стовпцем, або одночасно нульовими стовпцем і рядком, як мінімум для однієї з матриць.

Властивість 6. Деталь (чи деталі) CO , якій відповідає «збуджена» вершина підграфа, що залишилася після виконання кроку 1 чи стала такою після виконання кроку 2, видаляється першою (чи одночасно першими) із тих, що залишилися.

Властивість 7. Деталь, якій відповідає ізольована «збуджена» вершина одного з отриманих підграфів, може бути вилучена як у позитивному, так і в негативному напрямках вздовж розглянутої осі.

Крок 3. Видалення деталі, що відповідає властивості 6. Напрямок видалення визначається у відповідності з властивостями 3 і 5.

Для розглянутого прикладу першою після деталі a_7 ЗЗН у напрямках $X \pm, Z \pm, Y -$ видаляється деталь a_6 (рис. 5 та рис. 6).

Результатом видалення деталі буде звуження БВОР на матрицях і графах (рис. 6, 7).

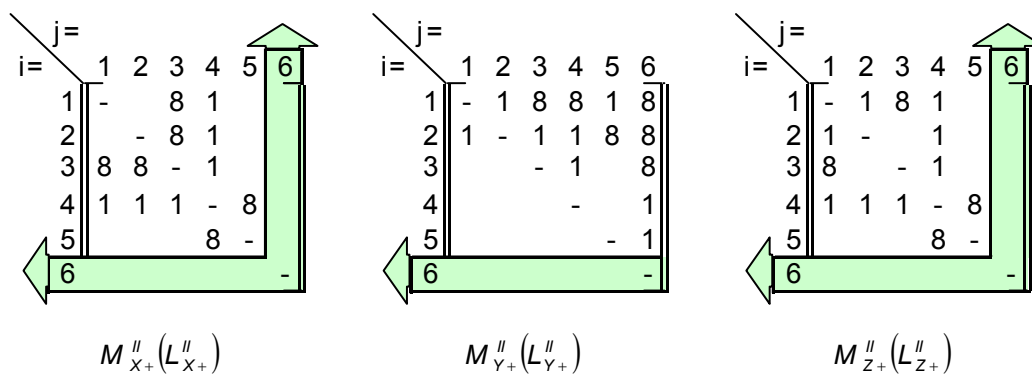


Рис. 5. Матриці БВОР, звужені після видалення деталі a_7

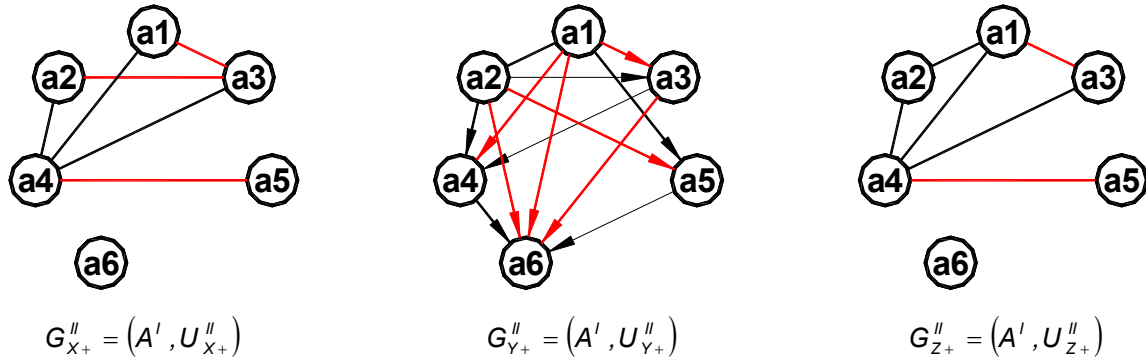


Рис. 6. Підграфи БВОР після видалення з СО деталі a₇

Крок 3 повторюється $t \leq N - 2$ разів до повного розкладання виробу. Трансформація матриць та підграфів відношень обмеження переміщення для розглянутого прикладу представлена на рис. 7.

Отримана в результаті виконання кроків 1–3 множина \bar{P} припустимих конструкцій конкретного виробу варіантів послідовно-паралельного подетального розкладання може бути інтерпретована множиною простих (ніяка дуга і ніяке ребро не повторюються двічі), елементарних (ніяка вершина не повторюється двічі) шляхів на вихідних графах контактних і віддалених БВОР.

Крок 4. Формування множини \bar{P} реалізованих з урахуванням конструктивних обмежень виробу альтернатив послідовно-паралельного розкладу.

Множину \bar{P} може бути представлено кортежем, у якому знаком \wedge розділені операції, що виконуються послідовно, а знаком \vee – операції, виконання яких можливе як одночасно, так і послідовно в довільному порядку.

Для розглянутого прикладу множина \bar{P} записується виразом:

$$\bar{P} = (a7(Y +) \wedge a6(X \pm, Z \pm, Y -) \wedge [a4(Y -) \vee a5(Y -)] \wedge a3(Y -) \wedge [a1(X \pm) \vee a2(X \pm)]), \tag{6}$$

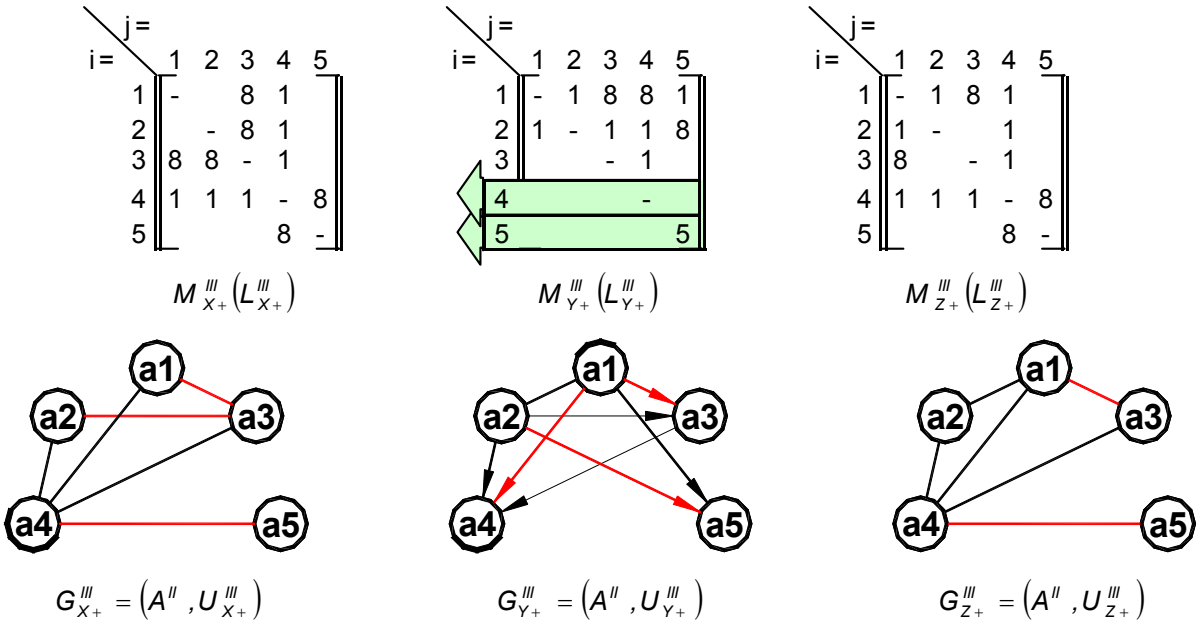
у якому у дужках після імені деталі вказуються вісь та знак напрямку переміщення деталі при розбиранні.

Кроком 4 завершується перша процедура першого підпроцесу синтезу порядку складання.

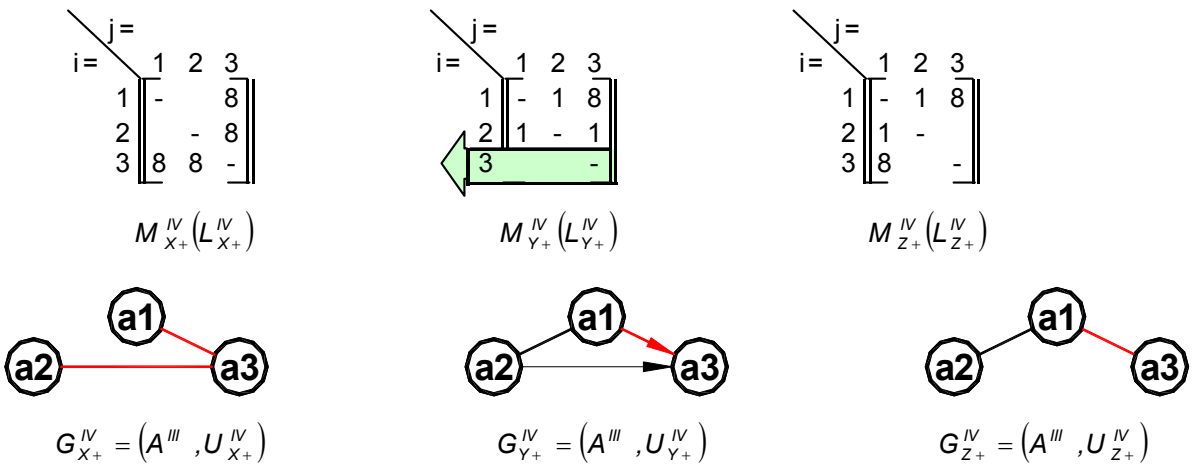
Друга процедура першого підпроцесу «зворотного» синтезу призначена для трансформування множини \bar{P} в множину P^R порядків альтернатив ППС, які можуть бути технічно реалізовані. Шукані порядки є зворотними до порядків розкладання, а встановлення їх починається з визначення базової деталі (БД).

Процес виділення БД визначається наступними властивостями.

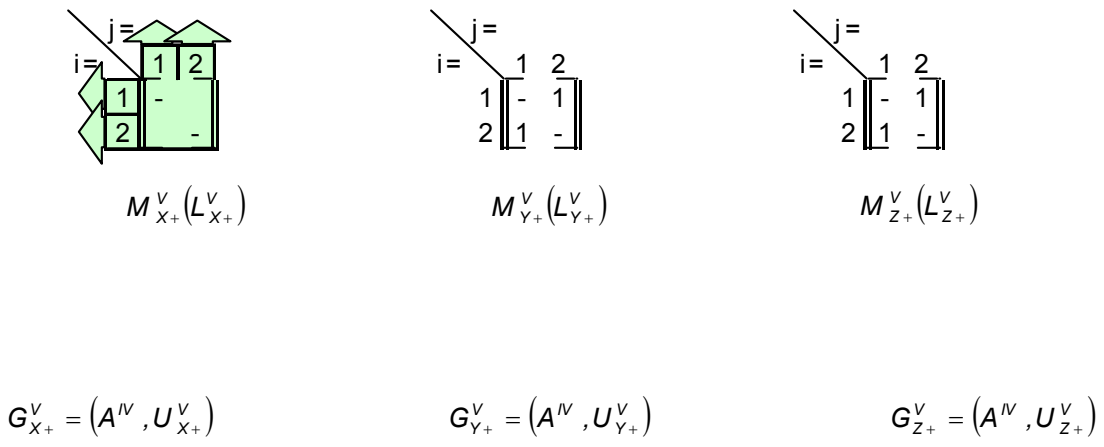
Властивість 8. Базовою є одна з двох чи більше деталей, що видаляються на останньому крокові розкладу. Тільки такий вибір базової деталі гарантує виконання процесу складання СО без перевстановлення.



α) *β*ιδαλιαιυτα 4-α ι 5-α δαταλι ι ναιπραικμυ Y-



β) *β*ιδαλιαιυτα 3 ι ναιπραικμυ Y-



γ) *β*ιδαλιαιυτα 1-α ι 2-α δαταλι ι ναιπραικμυ X ±

Рис. 7. Матриці та підграфи БВОР СО «реверсивний пневматичний золотник»

Властивість 9. Базовою є та, з виділених у відповідності з властивістю 8, деталей, яка по осях, перпендикулярних до головної монтажної осі (ГМО), знаходиться в максимальній кількості контактних БВОР зі всіма іншими деталями СО. Якщо ЗЗН утворюють дві деталі, ГМО варто вважати вісь, у напрямку якої існують квазінерухомі відношення обмеження рухливості. Якщо ЗЗН утворюють три і більше деталей, ГМО варто вважати вісь, по якій блокується можливий взаємний рух двох чи більше деталей, що не знаходяться в квазінерухомих відношеннях, але належать ЗЗН.

Властивість 10. БД є тією з деталей, що має поверхню, яка використовується для приєднання розглянутої СО до іншої СО. Цю властивість беруть до уваги у випадку, якщо однозначне виділення БД на підставі властивостей 8 та 9 ускладнено.

Крок 5. Визначення базової для складання СО деталі. Крок 5 виконується у відповідності з властивостями 8–9.

Для розглянутого виробу властивості 8 відповідають деталі a_1 і a_2 . ГМО СО є вісь Y , тому контактні БВОР розглядаються по осях X і Z . По осі X деталь a_1 знаходиться в контактних взаємодіях, таких, що $m_{1j} = m_{j1} = 1$, з 2-ма деталями (a_4 і a_7), а деталь a_2 має такі ж взаємодії тільки з деталлю a_4 (рис. 2). По осі Z деталь a_1 знаходиться в контактних взаємодіях, таких, що $m_{1j} = m_{j1} = 1$, з 2-ма деталями (a_4 і a_7), а деталь a_2 має такі ж взаємодії тільки з деталлю a_4 . У такий спосіб для розглянутого прикладу базовою є деталь a_1 .

Зменшення числа аналізованих далі варіантів можливе при виділенні з \bar{P} варіанта лише послідовно-паралельного подетального розкладу СО.

Крок 6. Формування лише одного (базового) варіанта лише послідовно-паралельного подетального розкладу $\bar{p}_b \in \bar{P}$. Для цього вираз, отриманий на 4-ому крокові, записується в нормальній кон'юнктивній формі. При цьому БД, обрана на крокові 5, встановлюється в кортежі \bar{p}_b тільки на останнє місце, а у вихідному виразі (6) забираємо квадратні дужки і знаки \vee між елементами в дужках змінюємо на знаки \wedge .

Для розглянутого прикладу вираз (6) трансформується у вираз:

$$\bar{p}_b = \langle a7(Y +) \wedge a6(X \pm, Z \pm, Y -) \wedge a4(Y -) \wedge a5(Y -) \wedge a3(Y -) \wedge a2(X \pm) \wedge a1(X \pm) \rangle. \quad (7)$$

Властивість 11. Вихідний для синтезу множини P^R технічно реалізованих порядків ППС варіант \underline{p}_i подетального складання може бути отриманий інвертуванням послідовності \bar{p}_b , що супроводжується заміною знаків, які вказують напрямок переміщення деталей, на протилежні.

БД подається на складальну позицію першою, а напрямок її можливої установки визначається винятково схемою базування та закріплення. Тому на стадії формування альтернативи \underline{p}_i напрямок подачі першої деталі вказувати не доцільно.

Крок 7. Формування вихідного варіанта \underline{p}_i подетального складання шляхом інвертування послідовності \bar{p}_b у відповідності з властивістю 11.

Для розглянутого прикладу маємо:

$$\underline{p}_i = \langle a1 \wedge a2(X \pm) \wedge a3(Y +) \wedge a5(Y +) \wedge a4(Y +) \wedge a6(X \pm, Z \pm, Y +) \wedge a7(Y -) \rangle. \quad (8)$$

Властивість 12. Для СО, значне число деталей якої приєднується до БД вздовж осі Y , кра- щим напрямком установки, особливо в умовах автоматизованого складання, є установка біль- шого числа таких деталей зверху.

Якщо властивість 12 не виконується і більшість із приєднаних вздовж осі Y деталей конкретної СО встановлюється з позитивного напрямку, необхідно переорієнтувати БД щодо осі X на 180° з наступною зміною на протилежні напрямки переміщення всіх встановлюваних вздовж осей Y і Z деталей.

Крок 8. Формування базового порядку \underline{p}_b послідовного подетального складання СО. Цей крок виконується для СО, порядок \underline{p}_i якого не відповідає властивості 12.

У розглянутому прикладі кортеж \underline{p}_i містить 4 деталі, що можуть бути встановлені в напрямку $Y -$ і лише одну деталь, встановлювану у напрямку $Y +$. Тому базовий порядок \underline{p}_b будується з урахуванням повороту БД на 180° відносно осі X у порівнянні з положенням, у яко- му деталь a_i представлена на кресленні СО (рис. 1). Крім того, у порядку \underline{p}_b напрямків перемі- щень деталей по осях Y і Z змінюються на протилежні. У результаті маємо:

$$\underline{p}_b = \langle a1 \wedge a2(X \pm) \wedge a3(Y -) \wedge a5(Y -) \wedge a4(Y -) \wedge a6(X \pm, Z \pm, Y -) \wedge a7(Y +) \rangle. \quad (9)$$

У кортежі \underline{p}_b остаточно визначені позиції першої та останньої деталей. Можливі варіанти розміщення інших деталей визначаються наступними властивостями.

Властивість 13. Жодна з деталей групи, що утворюють ланцюг контактних взаємодій вздовж однієї осі, приєднання яких можливе лише по одному напрямку вздовж цієї осі, не може бути встановлена вздовж іншої осі, якщо перша деталь групи в складеному виробі знаходиться в пружно-деформованому стані.

Кінематичне замикання деталей, що належать такій групі, можливе в двох випадках: а) остання деталь ланцюга є деталлю ЗЗН, квазінерухомі БВОР якого існує вздовж осі монтажу деталей ланцюга; б) остання деталь ланцюга встановлюється з іншого напрямку.

Властивість 14. Група $S = \{a_i, a_j, \dots\}$ послідовно розташованих у кортежі \underline{p}_b деталей, кожна з яких приєднується по різнойменних осях чи по кожній з них, але з протилежних напрямків, може збиратися в довільному порядку тоді і тільки тоді, коли жодна з раніше встановлених деталей не перешкоджає установці наступної.

Властивість 15. Група $S = \{a_i, a_j, \dots\}$ послідовно розташованих деталей, приєднаних в од- ному напрямку вздовж однієї осі, може збиратися в довільному порядку тоді і тільки тоді, коли жодна з деталей групи не знаходиться в контактній взаємодії з іншими деталями групи.

Упорядкування послідовностей \underline{p}_b у відповідності з властивостями 14 і 15 проводиться за умови, що:

а) БД ніколи не включається до складу групи;

б) деталь ЗЗН, що завершує складання, може бути включена до складу групи разом з попе- редніми їй деталями у випадку, якщо ці деталі встановлюються в одному напрямку вздовж осі, по якій між деталями ЗЗН по закінченні складання виникають квазінерухомі БВОР.

Крок 9. Упорядкування, у відповідності з властивостями 13–15, базового порядку \underline{p}_b складання формування множини $P_{\Pi}^R \left\langle \underline{p}_{\Pi 1}^R, \underline{p}_{\Pi M}^R, \dots, \underline{p}_{\Pi M}^R \right\rangle$ реалізованих варіантів послідовно-паралельного подетального складання.

Група $S_1 = \{a_i, a_j, a_k, \dots\}$ деталей, що утворюють ланцюг, відповідає властивості 13, якщо у відповідній матриці БВОР елементи $m_{ij}, m_{jk}, \dots = 1$. Тут і далі у випадку, якщо положення БД було змінено (властивість 12 і крок 8), елементи, що відповідають парам деталей ланцюга, повинні вибиратися з матриць БВОР, зворотних до представленою на рис. 2. Виключення складають відношення вздовж осі повороту.

У розглянутої СО пружно-деформованою деталлю є пружина a_3 . Визначений з (9) можливий склад групи – $S_1 = \{a_3, a_5, a_4, a_6\}$. У матриці БВОР, що відповідає напрямку вздовж осі Y , $m_{3,4} = m_{4,6} = 1$, у той час, як $m_{3,5} = m_{5,4} = 0$. Звідси випливає, що в групу, що утворює ланцюг і відповідає властивості 13, входять тільки деталі a_3, a_4 і a_6 . Остання деталь ланцюга a_6 відповідає умові властивості 13, а і тому її установка може бути виконана лише вздовж осі Y .

Властивість 14 представляє собою аналог умови обмеження по доступу (2) і в такий спосіб відображається в матрицях контактних обмежень БВОР. Будь-яка попередня деталь a_i , що належить групі з S деталей, повинна знаходитися по осі монтажу в таких контактних і віддалених БВОР із усіма приєднуваними після неї деталями a_j ($j \leq 1, \dots, S - 1$), що елемент відповідної матриці $m_{ji} = 0$, якщо a_i приєднується в позитивному напрямку, і $m_{ji} = 0$, якщо напрямок приєднання a_i – негативний. Відповідно, якщо деталь a_i може приєднуватися в позитивному чи негативному напрямках щодо осі її монтажу, умова має вигляд $m_{ji} = m_{ji} = 0$.

Для розглянутого прикладу першій ознаці властивості 14 відповідають наступні групи деталей $S_2 = \{a_2, a_3\}$, $S_3 = \{a_4, a_6, a_7\}$ (у виразі 9 ці групи виділені підкресленням знизу). Визначимо деталі, що блокують у першій та другій групах монтажний рух один одного.

Монтажний рух деталі a_2 в напрямку $X \pm$ обмежує деталь a_3 , тому що в M_{X+} $m_{2,3} \neq 0$ і $m_{3,2} \neq 0$. Звідси випливає, що в групі S_1 деталь a_2 повинна передувати деталі a_3 . Це висловлення записується так: $a_2 < a_3$, де $<$ – знак проходження. Оскільки деталям групи S_2 передують БД, очевидно, що порядок установки перших трьох деталей СО є фіксованим, а їх складання може бути виконане тільки у випадку, коли $a_1 < a_2 < a_3$.

Монтажний рух a_4 у напрямку Y – обмежує деталь a_6 , а остання, у відповідності з властивістю 13, може бути встановлена тільки в напрямку $Y -$, тому що в M_{Y+} елемент $m_{4,6} = 1$ (що відповідає елементу $m_{6,4} = 1$ в зворотній матриці M_{Y-}). Звідси випливає, що в групі S_3 деталь a_4 повинна передувати деталі ($a_4 < a_6$), якщо установка обох деталей проводиться вздовж осі Y . Деталь a_7 не розглядається в складі групи S_3 оскільки не відповідає умовам властивостей 14 і 15,б. Таким чином, для групи S_3 можлива тільки одна послідовність, у якій $a_4 < a_6 < a_7$.

Нарешті, деталь a_5 і перша деталь групи S_3 – a_4 утворять групу S_4 , деталі в якій відповідають властивості 15, тому що в M_{Y+} елементи $m_{3,4} = m_{4,3} = 0$, і, відповідно ці деталі можуть встановлюватися при складанні в довільному порядку, а також одночасно.

Множина усіх кортежів послідовно-паралельного подетального складання, припустимих з урахуванням конструкторських обмежень розглянутої СО, може бути представлена виразом:

1. Представлено основні положення формалізованого синтезу множини домінуючих (допустимих конструкцією виробу і технологічно доцільних) варіантів послідовно-паралельного складання. При її розробці використаний принцип «зворотного» синтезу, коли синтезу порядків складання передують синтез порядків розкладання.

2. Виявлено властивості конструкції СО та технології їх виготовлення, що впливають на порядок розкладання та складання. Визначено функції проектування, що описують ці властивості. Встановлено відображення кожної з функцій на матрицях БВОР деталей СО й описані відповідні формальні процедури аналізу і синтезу.

3. Обґрунтовано формальні прийоми рішення задач: однозначного виділення базової деталі, що мінімізує кількість переустановок СО при складанні; визначення множини всіх реалізованих варіантів послідовно-паралельного складання; звуження цієї множини до множини технологічно доцільних варіантів складання.

4. Запропонований процес «зворотного» синтезу характеризують:

– використання як необхідної та достатньої інформації відомостей лише про контактні та віддалені обмеження рухливості деталей у СО. Автоматичне введення та представлення у вигляді, зручному для наступної переробки, такої однорідної за складом інформації можливі безпосередньо з конструкторської документації, підготовленої за допомогою однієї із сучасних CAD-програм, що підтримують тривимірне проектування, наприклад, таких як: Solid Edge V. 6.0, що має у своєму складі функцію Check Interference, чи Solid Works 99 з функцією Interference Detect;

– проста алгоритмічна реалізація процесу синтезу множини реалізованих і множини всіх домінуючих варіантів послідовно-паралельного складання, що є звуженням першої, при абсолютній вірогідності одержуваних проектних рішень.

ЛІТЕРАТУРА:

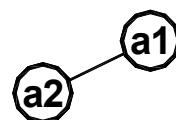
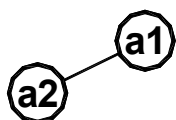
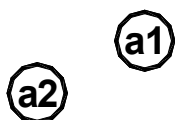
1. *Давыгора В.Н., Ярмош А.Г.* Автоматическое проектирование оптимальных технологических процессов // Автоматизация сборочных процессов. – Рига: Риж. техн. ун-т, 1989. – С. 22–34.
2. Диалоговое проектирование технологических процессов // Н.М. Капустин, В.В. Павлов, Л.А. Козлов и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 255 с.
3. 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.
4. *Ярмош А.Г., Давыгора В.Н.* Двоичная логика в задачах математического моделирования роботизированной сборки. Автоматизация сборочных процессов. – Рига: Риж. техн. ун-т, 1989. – С. 11–21.

ДАВИГОРА Вадим Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія машинобудування» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Наукові інтереси:

– вдосконалення теорії автоматизованого проектування технології складання.

Подано 10.12.1999.



$$S = \{a_i, a_j, \dots\}$$

$$S = \{a_i, a_j, \dots\}$$

$$S_1 = \{a_i, a_j, a_k, \dots\}$$

$$S_3 = \{a_4, a_6, a_7\}$$