

УДК 621.757: 621.865.8

В.М. Давигора, к.т.н., доц.

В.М. Кореньков, студ.

Національний технічний університет України "КПІ"

**ФОРМАЛЬНІ ПРОЦЕДУРИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРЯДКІВ РОЗКЛАДАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ІЗ ПСЕВДОНЕРОЗНІМНИМИ З'ЄДНАННЯМИ**

*Виявлено функції, які описують просторову взаємодію деталей псевдонерознімних з'єднань, що входять до складу складальних одиниць. Обґрунтовані, наведені та проілюстровані прикладом структура, а також формальні процедури підпроцесу автоматизованого проектування припустимих конструкцією виробу порядків послідовно-паралельного розкладання.*

Основні положення методики автоматизованого "зворотнього" синтезу технологічно доцільних порядків послідовно-паралельного складання (ППС) складальної одиниці (СО) викладені в роботах [1, 2]. Процес проектування представлений підпроцесами:  $P_1$  – виділення множини припустимих конструкцією конкретного виробу альтернатив послідовно-паралельного розкладання (ПРР),  $P_2$  – трансформування цієї множини в множину порядків технічно реалізованих варіантів ППС,  $P_3$  – виділення підмножини всіх технологічно раціональних варіантів ППС. Кожен із цих підпроцесів складається з логічних (аналізу або синтезу) і арифметичних процедур –  $Pr$ , які є межею дроблення процесу проектування та визначаються функціями, що відображають особливості просторової взаємодії предметів синтезу (деталей СО), і закономірностями технології складання.

Інваріантність процесу синтезу технологічно доцільних порядків ППС до конструкції конкретного виробу забезпечується повнотою виявлення функцій, що описують відношення між деталями СО різного конструктивного виконання, та якістю проектних процедур, використаних, у першу чергу, на етапі синтезу ПРР.

Вихідними даними підпроцесу  $P_1$  є відомості про бінарні відносини обмеження рухливості (БВОР), що існують між деталями СО. Інформація про БВОР може бути введена автоматично та безпосередньо з електронної версії конструкторської документації, виконаної з використанням САД програм, що мають у своєму складі функції Check Interference чи Interference Detect [3]. Множину БВОР  $L \subseteq A \times A$ , де  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$  – множина усіх  $N$  найменувань деталей СО, доцільно представляти в матричній формі, яка найбільш зручна для наступної машинної переробки. Кількість матриць відношень  $M(L)$  визначається кількістю можливих поступальних і ротаційних переміщень деталей однієї щодо іншої в позитивному чи негативному напрямках уздовж осей координат, у яких СО представлена на кресленнях загального виду. У матрицях  $M(L)$ , що мають розмірність  $N \times N$ , деталі  $a_i$  відповідає  $i$ -ий рядок, а деталі  $a_j$  –  $j$ -ий стовпець. Елемент  $m_{ij} \in M(L)$  розташований на перетинанні  $i$ -ого рядка і  $j$ -ого стовпця, приймає значення 1, 2 або 8, якщо  $\langle a_i, a_j \rangle \in L$  і значення 0, якщо відношення  $a_i L a_j$  не виконане. При цьому 1-ою відображається факт існування контактних БВОР, 8-ою – «віддалених», що існують між деталями, які не перебувають по заданому напрямку уздовж розглянутої осі в безпосередньому контакті, і 2-ою – квазінерухомих, існуючих між деталями з'єднань, які забезпечують нерозпадість (ЗЗН) деталей СО. Елемент  $m_{ij} = 2$  ставлять у напрямку осі, уздовж якої взаємне переміщення деталей ЗЗН можливе тільки у випадку застосування спеціальних (наприклад, силових або температурних) впливів або допоміжних рухів. Процедури автоматичного представлення в матричній формі елементів множини  $L$ , що описують БВОР конкретної СО, складають зміст підготовчого підпроцесу  $P_0$ .

Базовими процедурами підпроцесу  $P_1$  є:  $Pr_1$  – процедура аналізу БВОР і руйнування квазінерухомого відношення деталей СО, які утворюють ЗЗН;  $Pr_2$  – процедура визначення імені та напрямку деталі, що видаляється першою при розкладанні;  $Pr_3$  – процедура визначення імені та напрямку кожної наступної деталі, яка видаляється. Ці процедури і обґрунтовуючі їх конструктивні властивості СО докладно описані в [1], а їхнє застосування в переважній більшості випадків веде до виявлення всіх припустимих варіантів ПРР.

Розмаїття конструкцій СО сучасних машин і приладів є причиною того, що автоматизова-

ний підпроцес  $P_1$  іноді припиняється (представлених у [1] процедур недостатньо).

Така ситуація виникає, наприклад, у випадку, якщо в СО входить псевдонерознімне з'єднання (ПнЗ) – з'єднання, що містить не менш 3-х деталей, як мінімум одна з яких знаходиться в пружно деформованому стані, такому, що один з її лінійних розмірів, представлених на кресленнях СО, менше або більше відповідного розміру ненавантаженої деталі на деталіровочному кресленні. ПнЗ зв'яже деталі  $a_2, a_3, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}$  виробу, представленого на рис. 1. Пружно деформованими є деталі  $a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}$ .

Необхідними і достатніми умовами ідентифікації ПнЗ є наступні:

– на черговому кроці розкладання після виконання  $Pr_2$  або процедур  $Pr_3$  і відповідного звуження розглянутих  $M(L)$  серед деталей, що залишилися, СО немає жодної мажоранти або міноранти;

– серед деталей, що залишилися, є одна або декілька пружно деформованих.

Процедури, які забезпечують виявлення припустимих порядків ПРР виробу з ПнЗ, розглянуті на прикладі розкладання виробу «муфта запобіжна» (рис. 1), вихідні матриці БВОР якої наведені на рис. 2.

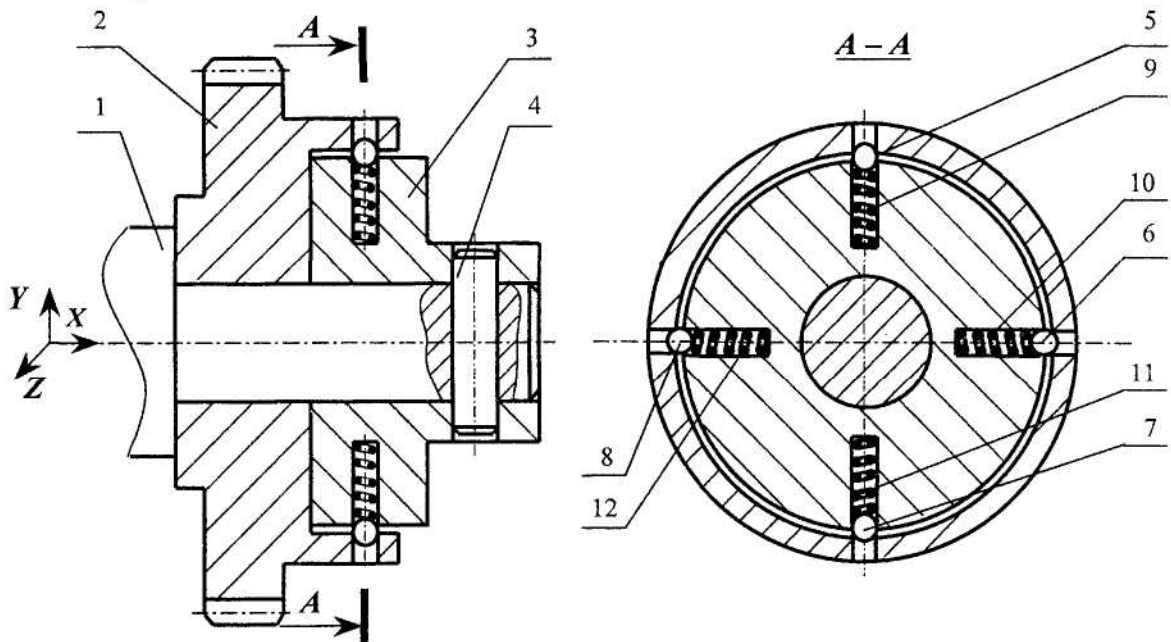


Рис. 1. Муфта запобіжна: 1 – вал; 2 – зубчасте колесо; 3 – корпус; 4 – штифт; 5, 6, 7, 8 – кульки; 9, 10, 11, 12 – пружини

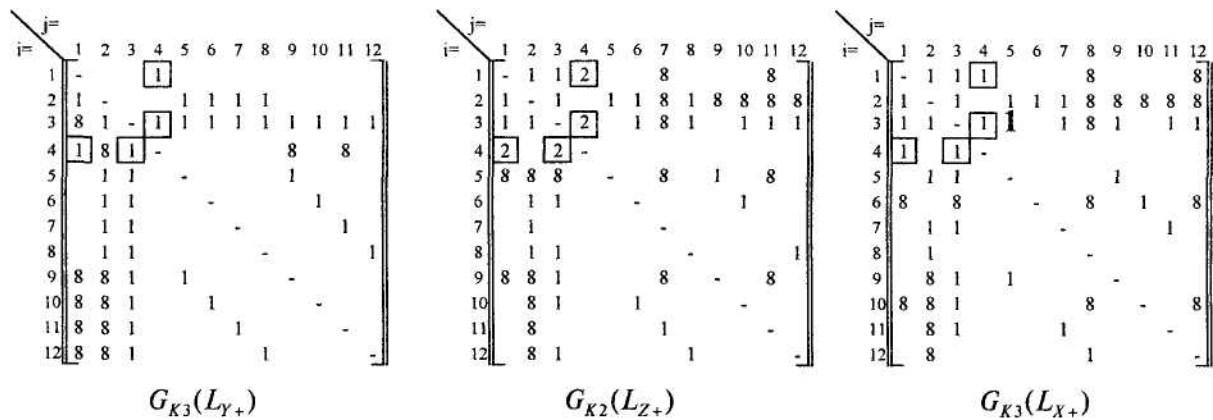


Рис. 2. Вихідні матриці БВОР по осях X, Y, Z

Тільки три деталі СО –  $a_1, a_3$  і  $a_4$  зв'язані контактними БВОР по всіх осях в обох напрямках. Це відображається наявністю елементів  $m_{1,4} = m_{3,4} = m_{4,1} = m_{4,3} = 2$  в  $M_0(L_{Y+})$  і елементів  $m_{1,4} = m_{3,4} = m_{4,1} = m_{4,3} = 1$  у  $M_0(L_{X+})$  і  $M_0(L_{Z+})$ . Руйнування відповідно до  $Pr_1$  квазінерухо-

мих БВОР між утворюючими ЗЗН деталями  $a_1, a_3, a_4$  відображається зміною значень  $m_{1,4}, m_{3,4}, m_{4,1}, m_{4,3}$  матриці  $M_0(L_{Y+})$  з 2 на 0.

Поява в матриці  $M_1(L_{Y+})$  мажоранти та міноранти для деталі  $a_4$  (рис. 3) означає можливість її видалення як у напрямку  $Y+$ , так і в напрямку  $Y-$  (процедура  $Pr_2$ ).

		↑											
	$j=$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$i=$	1	-	1	1				8				8	
	2	1	-	1		1	1	8	1	8	8	8	8
	3	1	1	-				1	8	1		1	1
	4												
	5	8	8	8		-		8		1		8	
	6		1	1			-				1		
	7		1					-					
	8		1	1					-				1
	9	8	8	1				8		-		8	
	10		8	1				1			-		
	11		8						1			-	
	12		8	1						1			-

$G_{K1}(L_{Y+})$

Рис. 3. Матриця  $M_1(L_{Y+})$  БВОР після руйнування квазинерухомого відношення, стрілкою виділені мажоранта і міноранта по відношенню  $L$  для деталі  $a_4$

На рис. 4. представлено звужені після видалення з СО деталі  $a_4$  матриці БВОР. Поява в  $M_2(L_{X+})$  міноранти означає можливість видалення деталі  $a_1$  в напрямку  $X$  (процедура  $Pr_3$ ).

	$j=$	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
$i=$	1	-										
	2	1	-		1	1	1	1				
	3	8	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
	5		1	1	-				1			
	6		1	1		-				1		
	7		1	1			-				1	
	8		1	1				-				1
	9	8	8	1	1				-			
	10	8	8	1				1		-		
	11	8	8	1					1		-	
	12	8	8	1						1		-

$M_2(L_{X+})$

	$j=$	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
$i=$	1	-	1	1				8			8	
	2	1	-	1	1	1	8	1	8	8	8	8
	3	1	1	-	1	8	1		1	1	1	
	5	8	8	8	-		8		1		8	
	6		1	1		-				1		
	7		1				-					
	8		1	1				-				1
	9	8	8	1				8	-		8	
	10		8	1				1		-		
	11		8						1		-	
	12		8	1						1		-

$M_2(L_{Y+})$

	$j=$	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
$i=$	1	-	1	1				8				8
	2	1	-	1	1	1	8	8	8	8	8	8
	3	1	1	-	1	8	1		1	1	1	
	5		1	1	-					1		
	6	8	8	8		-		8		1		8
	7		1	1			-				1	
	8		1					-				
	9	8	1	1					-			
	10	8	8	1					8	-		8
	11		8	1						1	-	
	12		8								1	-

$M_2(L_{Z+})$

Рис. 4. Матриці БВОР звужені після видалення деталі  $a_4$

У матрицях  $M_3(L_{X+}), M_3(L_{Y+}), M_3(L_{Z+})$ , отриманих у результаті звуження вихідних матриць після видалення деталей  $a_4$  і  $a_1$ , немає жодного елемента  $a_i \in A$ , такого, щоб для усіх  $a_j \in A$  виконувалося відношення  $a_j \bar{L}a_i$ , і немає жодного елемента  $a_i \in A$ , такого, щоб для усіх  $a_j \in A$  виконувалося  $a_i \bar{L}a_j$ .

Наступні дії із визначення порядку ПРП починаються з повторного звертання до підпроцесу  $P_0$ . Одна з процедур цього підпроцесу призначена для виділення на множині  $A_1 \subset A$  деталей, які залишилися нерозібраними, підмножини  $A_D \subset A_1$  деталей, що знаходяться в зібраній СО в пружно деформованому стані.

Ця процедура складається з послідовної віртуальної заміни кожної деталі  $a_i \in A_1$  такою ж, але яка перебуває в ненавантаженому стані (впливає з креслення відповідної деталі); фіксації випадків спрацювання функції Check Interference (чи аналогічних їй); формуванні множини  $A_D = \{a_f, a_g, \dots, a_j, \dots\}$ ; визначенні осей, уздовж яких відбувається зміна лінійних розмірів кожної деталі множини  $A_D$  (очевидно, що саме уздовж цих осей можлива установка деталей при складанні та їхнє видалення при розбиранні).

Для розглянутого прикладу осями, уздовж яких віддаляються деталі  $A_D = \{a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}\}$ , є, відповідно, осі  $X, Y, X, Y$ .

Припинений після  $Pr_2$  чи виконання  $Pr_3$  підпроцес  $\Pi_1$  відновлюється. При цьому послідовно виконуються наступні процедури.

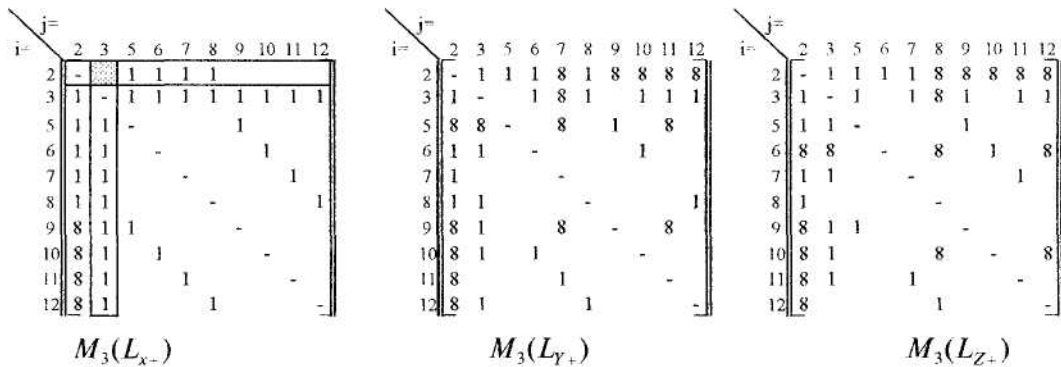


Рис. 5. Звужені матриці БВОР після видалення деталей  $a_4$  і  $a_1$

**Процедура  $Pr_4$ .** Формування максимальної за складом елементів підмножини  $A_{D1} \subseteq A_D$  деталей, що характеризується тим, що осі, уздовж яких деталі піддаються пружним деформаціям при складанні, повинні лежати в одній або у декількох паралельних площинах.

Для розглянутого прикладу всі деталі множини  $A_D$  перебувають у площині, що визначається осями  $X$  і  $Y$ ,  $A_D = A_{D1}$ .

**Процедура  $Pr_5$ .** Визначення для кожної деталі  $a_j \in A_{D1}$  підмножини  $A_K \subseteq A_1 \setminus A_D$  деталей, що утворюють з нею замкнутий контур уздовж осі її видалення.

У контур включають деталь  $a_j \in A_{D1}$  і такі деталі  $a_i \in A_K$ , послідовні контактні БВОР яких відображаються у відповідній матриці елементами  $m_{ij} \vee m_{ji} = 1$ .

Деталь  $a_9 \in A_D$  у напрямку осі  $Y+$  контактено обмежує деталь  $a_3$ , тому що в матриці  $M_3(L_{Y+})$  елемент  $m_{9,3} = 1$ , при  $m_{3,9} = 0$  (рис. 5). У свою чергу, деталь  $a_3$  у напрямках  $Y+$  і  $Y-$  обмежує деталь  $a_2$ , тому що в  $M_3(L_{Y+})$  елементи  $m_{3,2} = m_{2,3} = 1$ . Деталь  $a_2$  у напрямку  $Y+$  обмежує деталь  $a_5$ , тому що в  $M_3(L_{Y+})$  елементи  $m_{2,5} = 1$  і  $m_{5,2} = 8$ . Нарешті, деталь  $a_5$  у напрямках  $Y+$  обмежує деталь  $a_9$ , тому що в  $M_3(L_{Y+})$  елементи  $m_{5,9} = 1$  і  $m_{9,5} = 0$ . Сформовано контур, підмножина  $A_{K1}$  деталей якого включає деталі  $a_2, a_3, a_5$  і  $a_9$ . Відповідний контур представлений графом  $G_{K1}(L_{Y+})$  на рис. 6. Він містить односпрямовані дуги і ребро, що представляють, відповідно, ситуації, при яких БВОР між  $a_f$ -ою і  $a_j$ -ою деталями контуру відображається  $m_{ij} \oplus m_{ji} = 1$  або елементами  $a_i \wedge a_j = 1$ .

Аналогічно визначаються інші контури, що представляються підмножинами:  $A_{K2} = \{a_2, a_3, a_6, a_{10}\}$ ;  $A_{K3} = \{a_2, a_3, a_7, a_{11}\}$ ;  $A_{K4} = \{a_2, a_3, a_8, a_{12}\}$ . Контактні БВОР у цих контурах уздовж відповідних осей представлені графами  $G_{K2}(L_{Z+}), G_{K3}(L_{Y+}), G_{K4}(L_{Y+})$ .

**Процедура  $Pr_6$ .** Визначення осі, уздовж якої може бути зруйноване ПнЗ.

ПнЗ може бути зруйноване при роз'єднанні (з додаванням деякого зусилля) блокуючих деталей. Ними є деталі  $a_f, a_g$  підмножини  $A_B \subset A_K$ , контактні БВОР яких описуються: 1) елементами в  $m_{fg} = m_{gf} = 1$  матриці для осі, уздовж якої в розглянутий контур входить відповідна пружно деформована деталь і  $a_j \in A_D$ ; 2) елементами  $m_{fg} | m_{gf} \equiv m_{fg} \wedge m_{gf} = 1$  в одній з матриць, що залишилися. Індекс останньої і визначає вісь, уздовж якої руйнується ПнЗ.

Для розглянутого прикладу тільки дві деталі –  $a_2$  і  $a_3$  перебувають у таких контактних БВОР, що елементи  $m_{2,3} = m_{3,2} = 1$  в матрицях  $M_3(L_{Y+})$  і  $M_3(L_{Z+})$ . Для цих же деталей в  $M_3(L_{X+})$  елемент  $m_{2,3} = 0$  при  $m_{3,2} = 1$  (рис. 5 і рис. 6, графи  $G_{K1}(L_{Y+}), G_{K2}(L_{Z+}), G_{K3}(L_{Y+}), G_{K4}(L_{Z+}), G_{K1}(L_{X+}), G_{K2}(L_{X+}), G_{K3}(L_{X+}), G_{K4}(L_{X+})$ ). Відповідно, віссю, уздовж якої можливе руйнування ПнЗ, є вісь  $X$ .

**Процедура Pr<sub>7</sub>.** Визначення імені та напрямку першої деталі, що видаляється при руйнуванні ПнЗ.

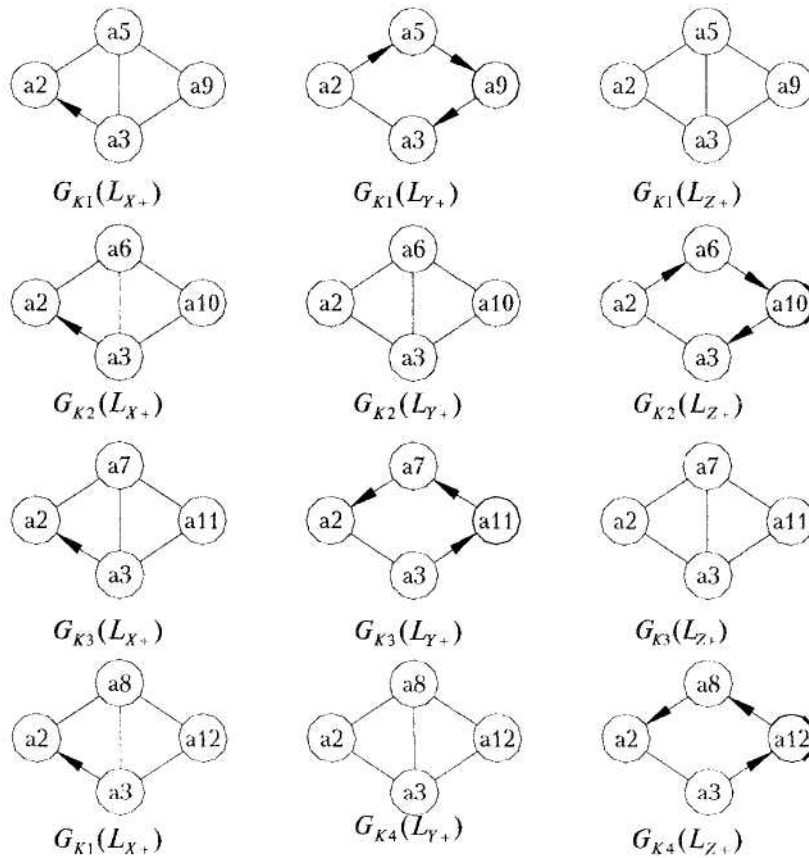


Рис. 6. Графи БВОР між деталями контурів, у складі яких є пружно деформовані при складанні елементи

Видаляється одна з блокуючих  $A_K$  деталей  $a_f$  або  $a_g$ , відношення яких у матриці БВОР уздовж осі, встановленої при виконанні процедури  $Pr_6$ , відображені елементом  $m_{fg} | m_{gf} \equiv \overline{m_{fg} \wedge m_{gf}} = 1$ . Номери рядка та стовпця, на перетині яких перебуває нульовий елемент, визначають імена деталей, можливих претендентів на першочергове видалення.

Очевидна доцільність здійснення процесу розкладання з мінімальним числом перебудовувань визначає вибір тієї з блокуючих деталей, рядок або стовпець якої в розглянутій матриці містить мінімальну кількість контактних або, при рівності останніх, контактних і віддалених БВОР. Деталь, обрана відповідно до попередньої умови, видаляється в позитивному напрямку, якщо мінімальне число БВОР містить стовпець і в негативному, якщо умова виконана для рядка.

БВОР між блокуючими контури  $A_{K1} - A_{K4}$  деталями  $a_2$  і  $a_3$  у  $M_3(L_{X+})$  відображається нульовим елементом  $m_{2,3}$ . Рядок № 2 містить чотири елементи  $m_{2,j} = 1$ , а стовпець № 3 – вісім елементів  $m_{i,3} = 1$  (рис. 5, матриця  $M_3(L_{X+})$ ). Тому першою в напрямку X видаляється деталь  $a_2$ .

**Процедура Pr<sub>8</sub>.** Звуження матриць, що відображає видалення першої деталі ПнЗ.

В усіх матрицях видаляють рядок і стовпець, номер яких відповідає імені деталі, визначеній відповідно до процедури  $Pr_7$ .

Розкладання СО продовжується далі відповідно до процедур  $Pr_3, Pr_4$ . Процес трансформації матриць БВОР представлений на рис. 8.

Остаточно порядок послідовно-паралельного розкладання СО «муфта запобіжна» записується таким виразом:  $\bar{P} = a_4(X\pm) \wedge a_1(X-) \wedge a_2(X-) \wedge [a_5(Y+) \vee a_6(Z+) \vee a_7(Y-) \vee a_8(Z-)] \wedge [a_9(Y+) \vee a_{10}(Z+) \vee a_{11}(Y-) \vee a_{12}(Z-)] \wedge a_3$ .

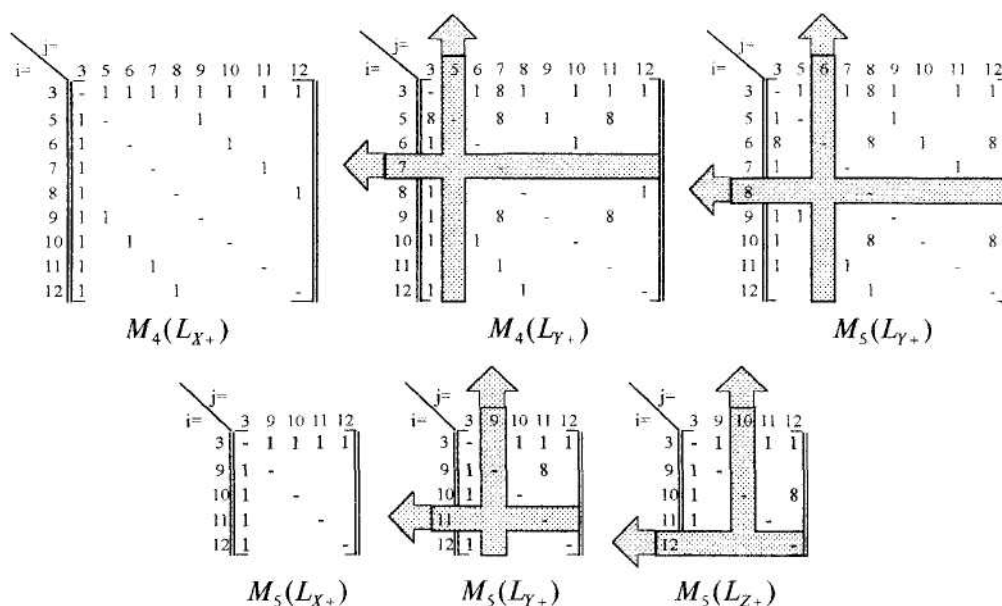


Рис. 7. Перетворення матриць БВОР відповідно до процедур  $Pr_2$ ,  $Pr_3$

**Висновки**

1. Виявлено особливості конструкцій СО, до складу яких входять пружно деформовані при складанні деталі, що утворюють псевдонерозпімні з'єднання (ПнЗ).
2. Визначено функції, які описують особливості просторової взаємодії елементів та складають ПнЗ. Встановлено відображення функцій на матрицях бінарних відношень обмеження рухливості (БВОР) між деталями ПнЗ.
3. Представлені, обґрунтовані та проілюстровані прикладом формальні процедури проектування припустимих конструкцією СО порядків послідовно-паралельного розкладання.
4. Запропоновано спосіб автоматичної фіксації інформації про наявність ПнЗ у СО, а також про додаткові, мінімально необхідні для автоматизованого проектування, властивості ПнЗ. Спосіб може бути застосований у випадку, якщо конструкторська документація на виріб виконана за допомогою однієї із сучасних САД програм.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Давигора В.М. “Зворотний” синтез доцільних порядків послідовно-паралельного складання // Вісник ЖІТІ. – Житомир, 2000. – № 12 / Технічні науки. – С. 100–111.
2. Давыгора В.Н., Пасечник В.А. Теория формализованного синтеза множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки // Вестник НТУУ. – Киев, 2000. – № 39 / Машиностроение. – С. 98–121.
3. Давигора В.М., Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Спосіб визначення взаємних обмежень рухливості деталей у складальній одиниці // Вісник технологічного університету Поділля. – Хмельницький, 2000. – № 3. – Ч. 2(22). – С. 157–161.

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.

КОРЕНЬКОВ Володимир Миколайович – студент шостого курсу механіко-машинобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– автоматизація складання.