

В.А. Пасічник, к.т.н., доц.

І.В. Ратушна, магістрант

Національний технічний університет України „КПІ”

**ВРАХУВАННЯ БАГАТОВАРІАНТНОСТІ СХЕМ СКЛАДАННЯ  
НА ЕТАПІ РОЗПОДІЛУ ОПЕРАЦІЙ МІЖ ОБЛАДНАННЯМ**

*Запропоновано новий спосіб алгоритмічного формування сукупності схем складання, який дозволяє врахувати вид зв'язків між деталями, виявити припустимі варіанти складання із виділенням з їхнього складу технологічно доцільних, розподілити операції складання між наявним технологічним обладнанням з урахуванням його завантаження. Представлені нові правила й алгоритми формування сукупності схем розкладання, їх трансформування у схеми складання й розподілу операцій між основним технологічним обладнанням.*

**Актуальність.** Тенденції розвитку сучасного машинобудування свідчать про те, що можливості механічного оброблення протягом останніх двох десятиріч років суттєво розширились за рахунок широкого впровадження верстатів з ЧПК з високими технічними показниками, що призвело до суттєвого скорочення витрат на виготовлення деталей складної форми. В той же час процес складання залишається малоавтоматизованим, а сама автоматизація складання дає певний ефект лише для виробів, що випускаються великими серіями. Суттєве зниження витрат на операції складання може дати лише суттєве зниження кількості деталей в складальній одиниці (СО) з одночасним суттєвим скороченням терміну технологічного підготування виробництва та гарантією того, що проектні технологічні рішення будуть близькими до оптимальних. Тому дослідження, спрямовані на розвиток теорії формалізованого синтезу технології складання, є актуальними, а їхнє застосування на виробництві може дати суттєвий економічний ефект.

**Сучасний стан завдання.** При визначенні послідовностей складання виробу основним джерелом інформації є бінарні відношення обмеження рухливості (БВОР) деталей у складальній одиниці, а процесові синтезу передують процес аналізу, коли визначаються варіанти розкладання. Проте відоме рішення [1] визначає такі типи обмежень рухливості: 0 – відсутність обмеження, 1 – контактне обмеження, 2 – обмеження, що створюється з'єднанням, що забезпечує цілісність (ЗЦ), та 8 – віддалене обмеження, тобто перешкодження деталей в переміщенні в певному напрямку виникне після часткового переміщення однієї з деталей в заданому напрямку. Відмітимо, що кінцевим результатом синтезу послідовності складання є множина технологічно доцільних послідовностей складання без прив'язки до наявного технологічного обладнання.

**Постановка проблеми.** Спробуємо поєднати процедури аналізу і синтезу складальної одиниці із технологічним обладнанням, що реалізовуватиме операції складання з урахуванням завантаженості обладнання у часі. Для такого поєднання вже на етапі аналізу СО слід конкретизувати обмеження рухливості, вказавши тип такого обмеження. Проте, якщо контактні, віддалені обмеження, або відсутність обмеження носять загальний характер і не потребують конкретизації, то ЗЦ і обмеження, які вони викликають потребують диференціювання. Відома класифікація складальних з'єднань [2] потребує формалізації. Пропонується наступна індексація з'єднань і обмежень, які такими з'єднаннями викликані (табл. 1).

Таблиця 1

Індексація з'єднань і мнемонічні зображення обмеження рухливості деталей в складальній одиниці

Первинний індекс	Вторинний індекс	Третинний індекс	Код	Мнемонічне позначення
2. З'єднання, що забезпечують цілісність (ЗЗЦ)	1. Роз'ємні	1. Різьбові	211	
		2. Клинові	212	
		3. Штифтові	213	
		4. Шпонкові	214	
		5. Шліцьові	215	
		6. Стопорні	216	
	2. Нероз'ємні	1. З натягом	221	
		2. Вальцьовані	222	
		3. Клепані	223	
		4. Зварні	224	
		5. Паяні	225	
		6. Клеєні	226	
0. Відсутнє обмеження	Не застосовується	Не застосовується	0	
8. Віддалене обмеження	Не застосовується	Не застосовується	8	---
1. Контактне обмеження	Не застосовується	Не застосовується	1	—

Конструктивне виконання складального виробу обмежується взаємною рухливістю деталей на кожному етапі процесу складання. БВОР характеризують обмеження в переміщеннях, які створюють деталі СО одна для одної в різних координатних напрямках. Обмеження БВОР для складальної одиниці „Буфер” (рис. 1) можна представити у вигляді графу (рис. 2, *z-c*) або матриці, що відповідає такому графу (рис. 2, *a-b*). Матричне представлення БВОР більш зручне для подальшої комп'ютерної обробки вихідної інформації, а графи є більш наочними для сприйняття інформації людиною.

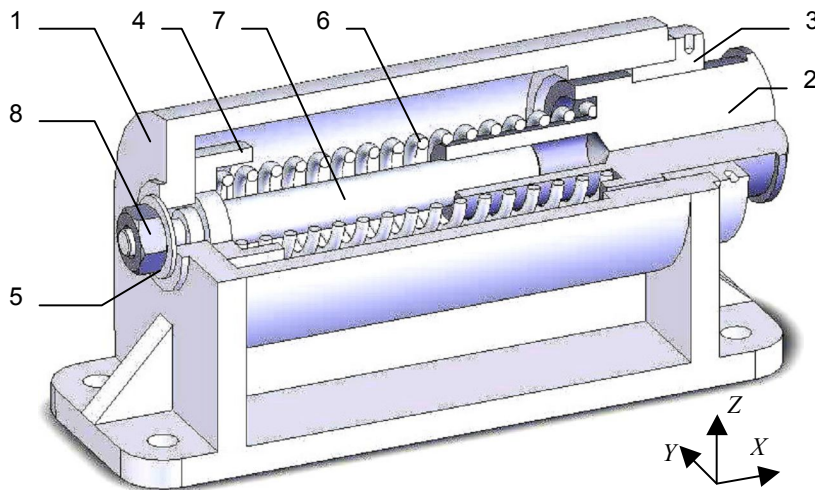


Рис. 1. Складальна одиниця „Буфер”:  
 1 – корпус; 2 – опора; 3 – втулка; 4 – стакан; 5 – шайба;  
 6 – пружина; 7 – шток; 8 – гайка

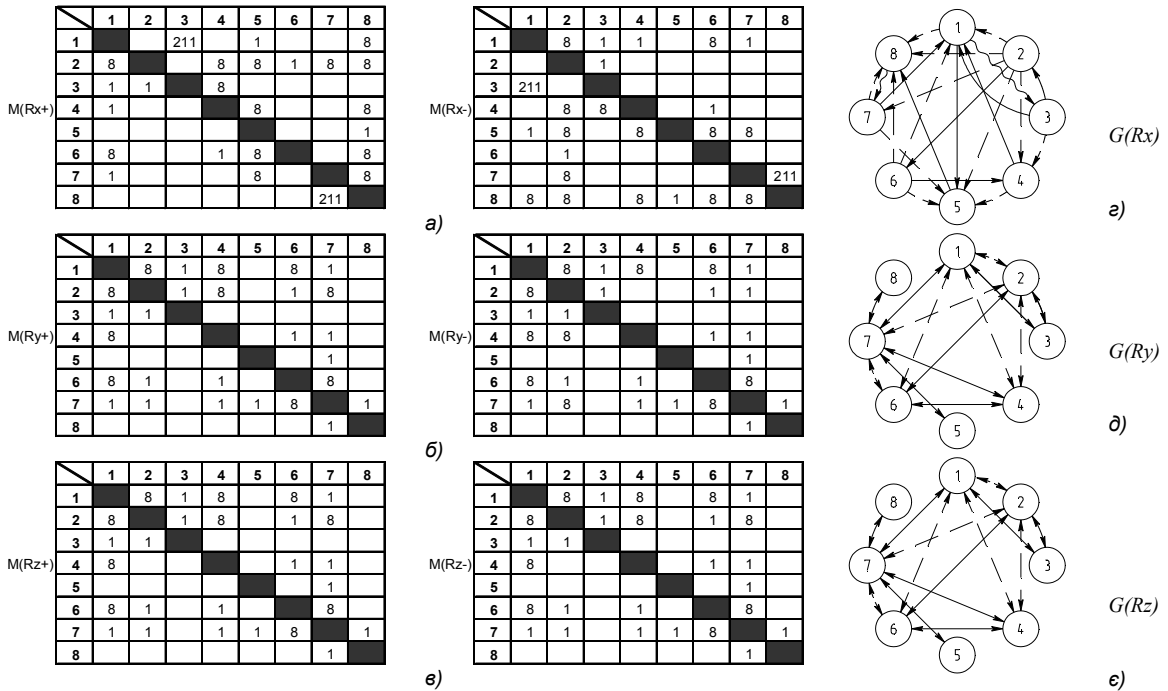


Рис. 2. Лінійні БВОР для СО „Буфер”:  
 а-в – матриці координатних напрямків X, Y, Z;  
 з-с – графи координатних напрямків X, Y, Z

Операції на графах зводяться до того, що коли існує взаємне обмеження в переміщенні деталі  $i$  та  $j$  в напрямку  $R$ , то вид обмеження може бути вказаний ребром (двонаправлена стрілка) графа обмежень  $G(R^*)$ , якщо ж тільки деталь  $i$  обмежує переміщення деталі  $j$ , тоді таке обмеження вказується дугою (однонаправлена стрілка) графа обмежень  $G(R^*)$ . Тип ребра або дуги будемо визначати відповідно до мнемонічних позначень табл. 1.

При матричному способі відношення обмеження переміщень  $R^* A \subseteq A$  фіксують за допомогою матриці  $A(R^*)$  розміром  $N \times N$ , де  $i$ -й рядок відповідає деталі  $a_i$ , а  $j$ -й стовпець – деталі  $a_j$ . Вид обмеження будемо кодувати відповідно до табл. 1. Матриця  $(m_{i,j}(R^*)) = M(R^*)$  містить всю інформацію про те, для яких пар елементів із  $A$  виконане відношення  $R^*$ . Для аналізу відношень взаємного обмеження рухомості деталей виробу, складання якого здійснюється при виконанні лише поступальних переміщень вздовж можливих напрямків складання, достатньо мати комплект із трьох відповідних матриць, в кожній з яких представлений лише один з напрямків (додатний або від’ємний).

Матриці обмеження рухомості для додатного і від’ємного напрямків вздовж будь-якої осі  $p \in P$ ,

$$P = \{X, Y, Z\} \text{ мають зворотний зв'язок, при якому } a_i(R^*_{p+})a_j \Leftrightarrow a_j(R^*_{p-})a_i \text{ для всіх } i, j = \overline{1, N}.$$

Процес складання будь-якого виробу та будь-якої складальної одиниці завершується ЗЗЦ, що являє собою роз’ємне або нероз’ємне з’єднання, виконане при застосуванні спеціальних зусиль (пресове з’єднання) або допоміжних рухів (різьбове з’єднання, зварювання тощо). З „руйнування” ЗЗЦ починається розкладання будь-яких складальних виробів та складальних одиниць.

Відомо [3], що циклічні графи позначають лише незначущі координатні напрямки, тобто такі напрямки, які не задіяні в процесі розкладання-складання. Аналіз графів та відповідних матриць показує, що координатні напрямки  $Y$  і  $Z$  є незначущими, тому для подальших розрахунків розглядатимемо лише координатний напрямком  $X$ .

Відомі алгоритми [1] передбачають одночасне «руйнування» усіх ЗЗЦ з подальшим виявленням найкоротшої послідовності розкладання всієї складальної одиниці. Проте такий підхід не дозволяє виявити ланцюги послідовностей розкладання для кожного ЗЗЦ окремо. Тому пропонується «руйнувати» окремо кожне ЗЗЦ і виявляти для нього ланцюг розкладання, що слідує за ним. Загальний удосконалений алгоритм розкладання СО з виявленням ланцюгів ЗЗЦ представлений на рис. 3.

Суть пропонованого алгоритму полягає в наступному.



Рис. 3. Алгоритм розкладання СО з виявленням ланцюгів ЗЗЦ

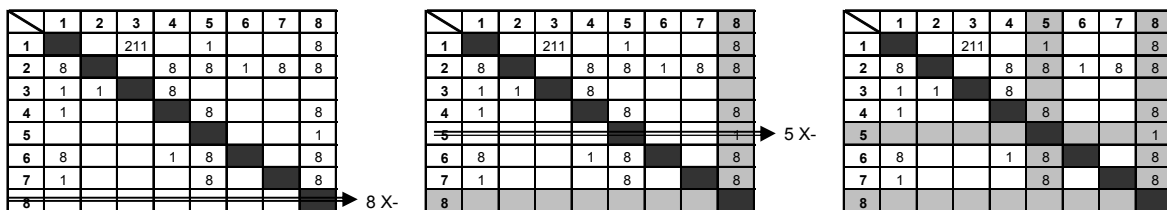
**П'ятим етапом** є відновлення початкових відношень БВОР. Це необхідно зробити для того, щоб виявлялись ланцюги тільки для  $k$ -го ЗЗЦ.

На **шостому етапі** відбувається об'єднання всіх знятих обмежень і аналіз може повторюватись на наступному рівні декомпозиції СО.

**Сьомий етап** аналізує стан СО. Якщо в процесі аналізу СО повністю розкладена, алгоритм завершує роботу, інакше цикл повторюється на внутрішніх рівнях декомпозиції.

Дію алгоритму проілюструємо на прикладі СО „Буфер” (рис. 1). Відмітимо, що для аналізу достатньо лише однієї матриці –  $M(X+)$  або графа  $G(R+)$ .

Початкові відношення БВОР (перший етап алгоритму) наведені на рис. 2,  $a$  і  $z$ . Другим етапом є „руйнування” ЗЗЦ між деталями  $a_8$  і  $a_7$ . У матрицях це позначиться видаленням символу „211”, а на графі – видаленням дуги, позначеної хвилястою лінією від деталі  $a_8$  до деталі  $a_7$  (рис. 4,  $a$ ). На третьому етапі виявлено можливість видалити деталь  $a_5$  (відсутність обмежень в 5-му рядку та відсутність вихідних дуг на графові – рис. 4,  $b$ ). Цей етап в даному випадку припиняється після видалення деталі  $a_5$ , оскільки далі немає жодної деталі, для якої були б пусті рядки або стовпчики у матриці БВОР, та відсутні вершини графа, яка б мала тільки вихідні або тільки вхідні дуги (рис. 4,  $в$ ). Таким чином можна виявити ланцюг розкладання  $(a_8X-) \wedge (a_5X-)$ .



На **першому етапі** формуються початкові БВОР.

**Другим етапом** є руйнування зв'язків між деталями  $a_i$  і  $a_j$  СО, що утворюють ЗЗЦ. Це відображається шляхом видалення зв'язку між елементами  $m_{ij}$  та  $m_{ji}$ , що утворювали ЗЗЦ (в матрицях БВОР символ „211” видаляється), а також руйнуванням відповідних дуг  $u_{ij}$ . Результатом є звуження БВОР, що відображається відсутністю обмежень для однієї або обох деталей, що утворювали ЗЗЦ. Цей процес триває  $t \leq N - 2$  рази до тих пір, поки виріб не буде повністю розібраний.

**Третім етапом** є виявлення ланцюга розкладання для  $k$ -го ЗЗЦ. Послідовно виявляються деталі, які можуть бути видалені після руйнування  $k$ -го ЗЗЦ. Етап припиняється, коли подальше розкладання без руйнування іншого ЗЗЦ є неможливим.

**Четвертим етапом** є перевірка, чи проаналізовані складальні ланцюги всіх ЗЗЦ. Якщо „ні” – переходимо до етапу 5, інакше – 6.

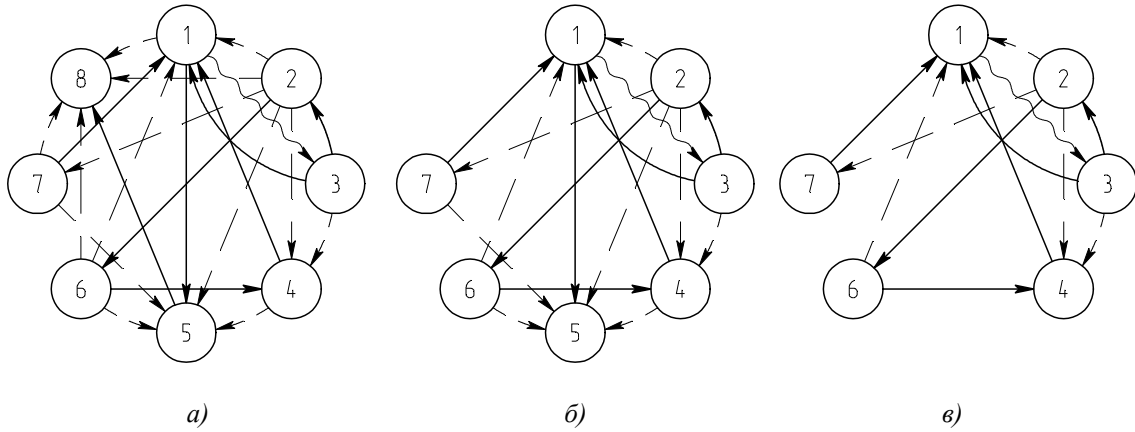


Рис. 4. Перетворення відношень БВОР  $M(X+)$  та  $G(R+)$  для першого ланцюга:  
 а – руйнування ЗЗЦ між деталями  $a_8$  і  $a_7$ ; б – видалення деталі  $a_5$ ;  
 в – припинення ланцюга

Подальший аналіз на етапі 4 виявив наявність незруйнованих ЗЗЦ між деталями  $a_1$  і  $a_3$ . Відповідно до етапу 5 алгоритму відновлюємо початковий стан БВОР та повторюємо п.п. 2–4 алгоритму для виявлення наступного ланцюга розкладання (рис. 5). Таким чином можна виявити ланцюг розкладання  $(a_3X+) \wedge (a_2X+) \wedge (a_6X+) \wedge (a_4X+)$ .

	1	2	3	4	5	6	7	8
1					1			8
2	8			8	8	1	8	8
3	1	1		8				
4	1				8			8
5								1
6	8			1	8			8
7	1				8			8
8								211

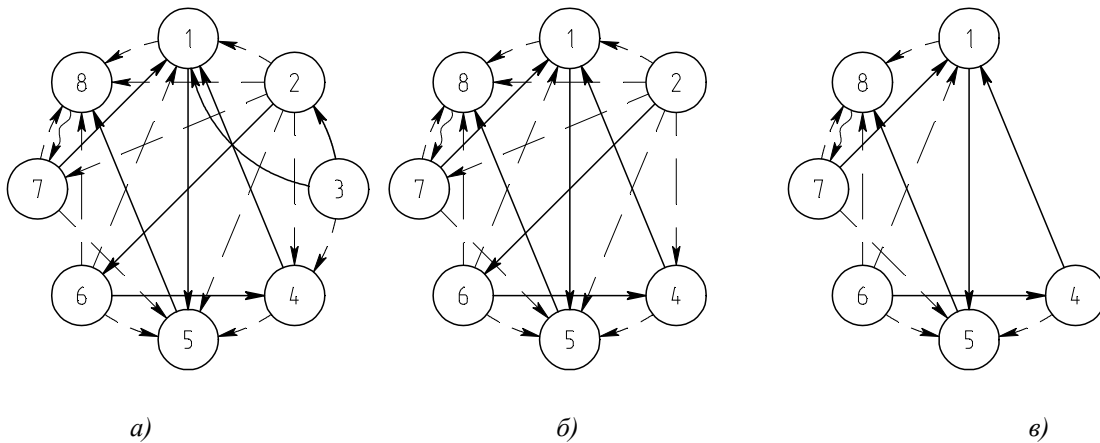
3 X+

	1	2	3	4	5	6	7	8
1					1			8
2	8			8	8	1	8	8
3	1	1		8				
4	1				8			8
5								1
6	8			1	8			8
7	1				8			8
8								211

2 X+

	1	2	3	4	5	6	7	8
1					1			8
2	8			8	8	1	8	8
3	1	1		8				
4	1				8			8
5								1
6	8			1	8			8
7	1				8			8
8								211

6 X+



	1	2	3	4	5	6	7	8
1					1			8
2	8			8	8	1	8	8
3	1	1		8				
4	1				8			8
5								1
6	8			1	8			8
7	1				8			8
8								211

4 X+

	1	2	3	4	5	6	7	8
1					1			8
2	8			8	8	1	8	8
3	1	1		8				
4	1				8			8
5								1
6	8			1	8			8
7	1				8			8
8								211

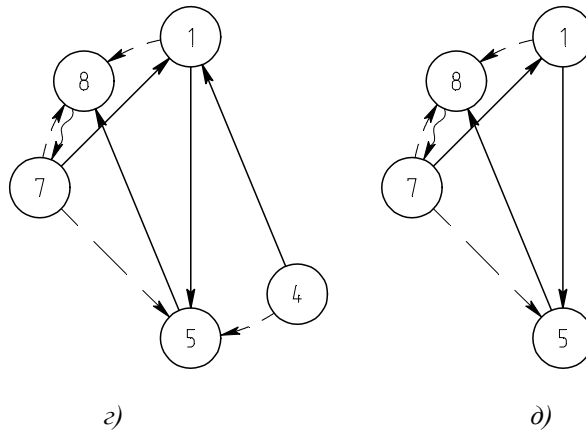


Рис. 5. Перетворення відношень БВОР  $M(X+)$  та  $G(R+)$  для другого ланцюга:

а – руйнування ЗЗЦ між деталями  $a_1$  і  $a_3$ ; б – видалення деталі  $a_3$ ; в – видалення деталі  $a_2$ ; г – видалення деталі  $a_6$ ; д – видалення деталі  $a_4$

Оскільки виявлені ланцюги для всіх ЗЗЦ, то відповідно до шостого етапу алгоритму об'єднуємо зняті обмеження БВОР. Стан СО після виконання цього етапу наведений на рис. 6. Складальна одиниця у стані, представлениму на рис. 6, „розпадається” у послідовність  $(a_7X+) \wedge (a_1X-)$ .

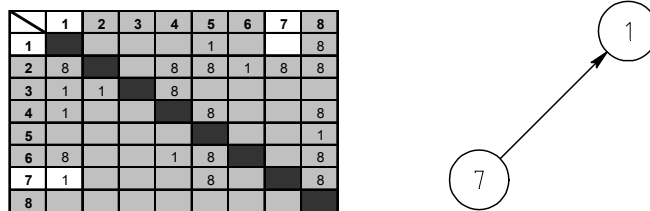


Рис. 6. Матриця  $M(X+)$  та граф  $G(X)$  завершального етапу розкладання СО „Буфер”

На цьому етапі процес розкладання СО „Буфер” завершується і остаточною схемою розкладання, яка дозволяє виділити порядок і напрямки видалення деталей, є:

$$(((a_8X-) \wedge (a_5X-)) \vee ((a_3X+) \wedge (a_2X+) \wedge (a_6X+) \wedge (a_4X+))) \wedge ((a_7X+) \wedge (a_1X-)).$$

Графічно виявлена схема буде представлена так, як показано на рис. 7. Така схема враховує тільки прямі зв'язки, які були виявлені з аналізу ланцюгів ЗЗЦ.

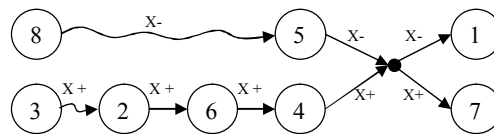


Рис. 7. Схема розкладання СО „Буфер”

Наступним кроком є аналіз схеми складання з метою виявлення обмежень, що виникають при встановленні деталей. Початковим етапом формування схеми складання є вибір базової деталі. В нашому прикладі, відповідно до формальних критеріїв вибору базової деталі [4], обираємо за базову деталь  $a_1$  – „Корпус”. Базова деталь може встановлюватись з будь-якого напрямку, а решта деталей можуть встановлюватись в додатному або від'ємному напрямках. Базова схема розкладання (рис. 7) дозволяє виявити дві множини складання, які за напрямками складання є інверсними до напрямків розкладання:

- множина деталей, що складається в додатному напрямку –  $\{a_5, a_8\}$ ;
- множина деталей, що складається у від'ємному напрямку –  $\{a_2, a_3, a_4, a_6, a_7\}$ .

Сформулюємо **правило перетворення БВОР у схему альтернатив складання**. Для перетворення БВОР у схему альтернатив складання необхідно: видалити всі обмеження, накладені ЗЗЦ; між двома множинами деталей, які встановлюються з різних координатних напрямків, „зруйнувати” всі обмеження; для множини деталей, які встановлюються у від'ємному напрямку, напрямком дії обмежень замінити на протилежний; привести віддалені та контактні обмеження до спільної ознаки наявності обмеження.

На графові обмежень видалення зв'язків між двома множинами позначається видаленням всіх дуг і ребер, які зв'язують деталі різних множин, а також ЗЗЦ, після чого в межах множини деталей, що встановлюються у від'ємному напрямку, замінюються напрямки дуг графа. В матриці БВОР видаляються коди, які позначають ЗЗЦ, та обмеження з боку протилежних множин, а для множини деталей, які встановлюються у від'ємному напрямку, стовпчики і рядки міняються місцями.

Результат перетворення початкової БВОР (рис. 8, а) у схему альтернатив складання СО „Буфер” (рис. 8, б), відповідно до сформульованого вище правила, дає нам повну схему альтернатив складання за умови вибору базової деталі  $a_1$ .

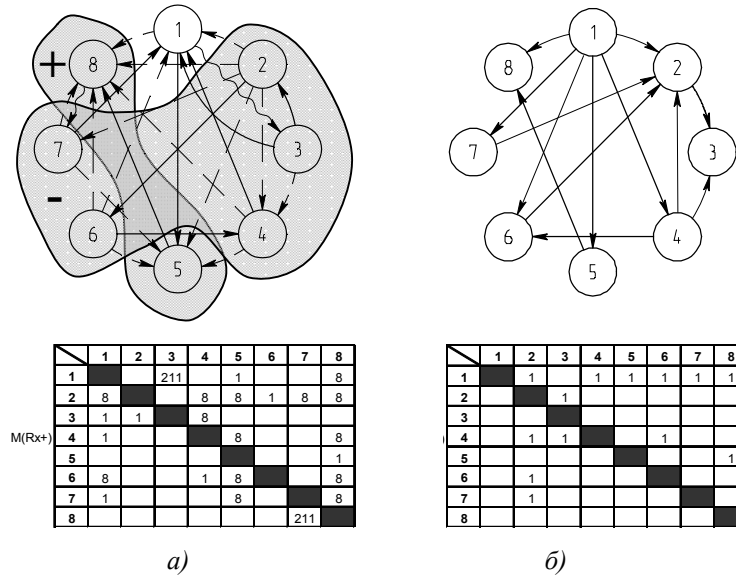
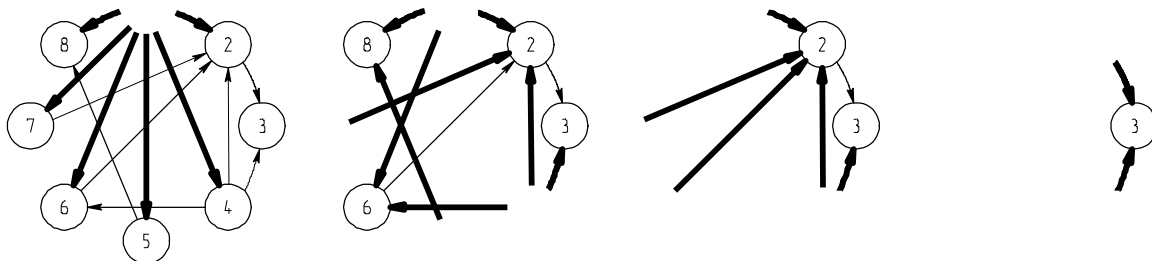


Рис. 8. Перетворення БВОР у схему альтернатив складання для СО „Буфер”:  
а – початкові БВОР; б – схема складання

**Правило для визначення послідовностей встановлення деталей.** Встановлення певної деталі у складання призводить до видалення усіх дуг графа, що входять у деталь, та „збудження” дуг, що виходять з неї. Збудження дуги означає зняття обмеження на встановлення деталі, на яку вказує „збуджена” дуга з боку деталі, що вже встановлена. На наступному кроці можна встановлювати ті деталі, які мають усі „збуджені” дуги, що входять у неї.

Для СО „Буфер” тільки одна вершина має виключно дуги, що виходять (у матриці це позначається відсутністю будь-яких обмежень переміщення в першому стовпчику). Після встановлення базової деталі  $a_1$  „збуджуються” дуги до вершин  $\{2, 4, 5, 6, 7, 8\}$  („збуджені” дуги виділені жирними лініями), проте тільки вершини  $\{4, 5, 7\}$  мають всі „збуджені” вхідні дуги. Це означає, що після встановлення деталі  $a_1$  з'являється можливість встановити одночасно або послідовно деталі  $a_4, a_5, a_7$  (рис. 9, а). Встановлення деталей  $a_4, a_5, a_7$  дає можливість на наступному етапі встановити деталі  $a_6$  і  $a_8$  (рис. 9, б), причому можливість встановити деталь  $a_8$  пов'язана із фактом попереднього встановлення деталі  $a_5$ , а можливість встановити деталь  $a_6$  пов'язана із попереднім встановленням деталі  $a_4$ . Звернемо увагу на той факт, що на цьому етапі не можна встановлювати деталі  $a_2$  і  $a_3$ , оскільки відповідні вершини 2 і 3 мають по одній „незбудженій” вхідній дузі (рис. 9, б). Після встановлення деталі  $a_6$  з'являється можливість встановити деталь  $a_2$  (рис. 9, в). На завершальному етапі встановлюється деталь  $a_3$  (рис. 9, г). Упорядкована схема складання з виявленням етапів представлена на рис. 10.



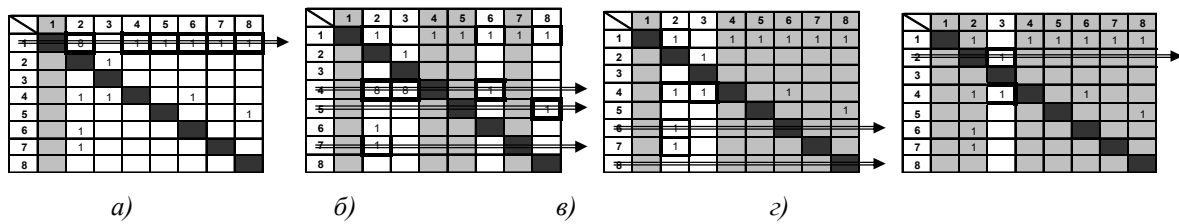


Рис. 9. Визначення послідовності складання для СО „Буфер”:

*a* – встановлення базової деталі ; *б* – встановлення деталей  $a_4, a_5, a_7$ ; *в* – встановлення деталей  $a_6, a_8$ ; *г* – встановлення деталі  $a_2$  із наступним встановленням деталі  $a_3$

Застосування правила визначення послідовності встановлення деталей складальної одиниці „Буфер”, проілюстроване прикладом (рис. 9), призведе до синтезу **технологічно доцільної** схеми складання (рис. 10, *a*), яка містить найнижчу кількість етапів для складання даного виробу. Кожна гілка обов’язково завершується ЗЗЦ, що позначається відповідною лінією (рис. 10, *б*), причому, у випадку, якщо до складу ЗЗЦ входить базова деталь, зв’язок встановлюється як дуга графа, спрямована від базової деталі до іншої, якщо ЗЗЦ утворене деталями, які не є базовими, зв’язок встановлюється як ребро (без напрямку).

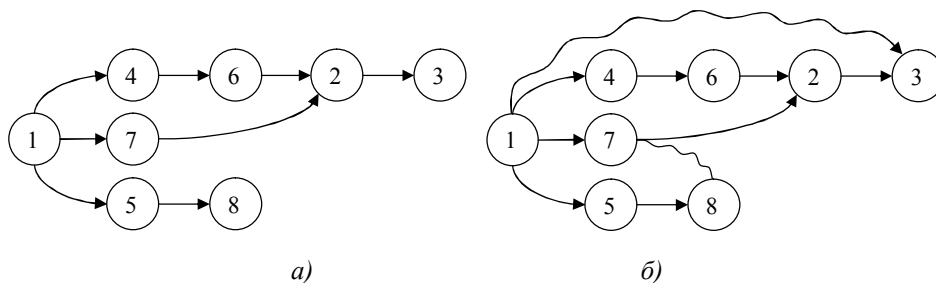


Рис. 10. Технологічно доцільна схема складання СО „Буфер”:

*a* – без ЗЗЦ; *б* – після додавання зв’язків ЗЗЦ

Технологічно доцільна схема складання (рис. 10) дозволяє визначити мінімальну кількість одиниць технологічного обладнання, яка забезпечить складання за умов відсутності інших технічних обмежень. Для даного прикладу кількість типів обладнання не може бути меншою, ніж 2 (маніпулятор для встановлення деталей та пристрій для загвинчування).

Ця схема (рис. 10) також дозволяє визначити технологічно доцільні варіанти послідовно-паралельного складання, коли кожен ланцюг реалізується до кінцевого ЗЗЦ. Для вказаної схеми існує 6 варіантів послідовного складання і 4 варіанти паралельного складання, які є технологічно доцільними.

*Варіанти послідовного складання:*

- $a_1 \wedge a_5 \wedge a_8 \wedge a_7 \wedge a_4 \wedge a_6 \wedge a_2 \wedge a_3$
- $a_1 \wedge a_5 \wedge a_8 \wedge a_4 \wedge a_7 \wedge a_6 \wedge a_2 \wedge a_3$
- $a_1 \wedge a_5 \wedge a_8 \wedge a_4 \wedge a_6 \wedge a_7 \wedge a_2 \wedge a_3$
- $a_1 \wedge a_7 \wedge a_4 \wedge a_6 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge a_5 \wedge a_8$
- $a_1 \wedge a_4 \wedge a_7 \wedge a_6 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge a_5 \wedge a_8$
- $a_1 \wedge a_4 \wedge a_6 \wedge a_7 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge a_5 \wedge a_8$

*Варіанти паралельно-послідовного складання:*

- $a_1 \wedge ((a_5 \wedge a_8) \vee (a_7 \wedge a_4 \wedge a_6 \wedge a_2 \wedge a_3))$
- $a_1 \wedge ((a_5 \wedge a_8) \vee (a_4 \wedge a_7 \wedge a_6 \wedge a_2 \wedge a_3))$
- $a_1 \wedge ((a_5 \wedge a_8) \vee (a_4 \wedge a_6 \wedge a_7 \wedge a_2 \wedge a_3))$
- $a_1 \wedge ((a_5 \wedge a_8) \vee ((a_4 \wedge a_6) \vee a_7) \wedge a_2 \wedge a_3))$

В той же час існують альтернативні варіанти складання, які мають нижчий пріоритет, проте вони є технічно припустимими і можуть бути виявлені за допомогою схеми альтернатив складання. Такі варіанти передбачають можливість повної або часткової реалізації різних гілок при незавершеній основній. Множини технологічно доцільних (рис. 11, *a, в*) та альтернативних (рис. 11, *б, г*) варіантів складання, доповнені інформацією про ЗЗЦ, утворюють початкові множини для розподілу операцій між наявним технологічним обладнанням, які можуть бути представлені як графи (рис. 11, *a, б*) або матриці (рис. 11, *в, г*).



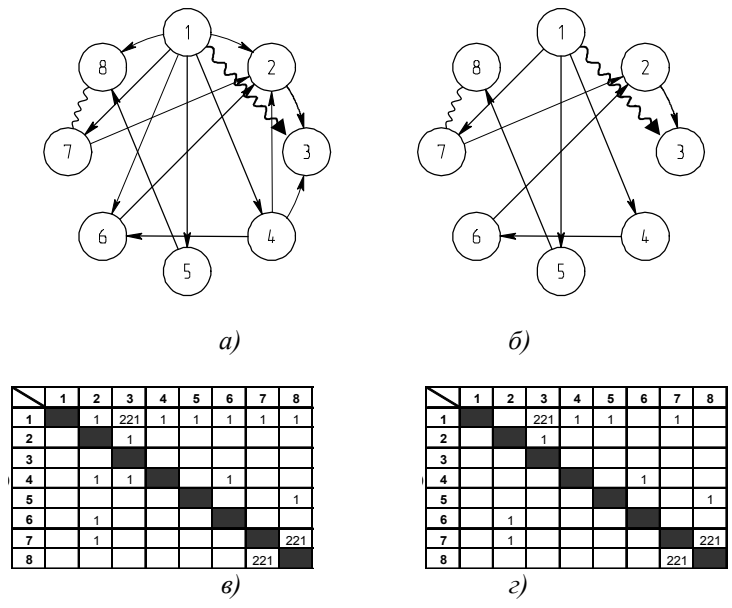


Рис. 11. Множини варіантів складання СО „Буфер”:  
 а – граф альтернатив складання; б – граф технологічно доцільного складання;  
 в – матриця альтернатив складання; г – матриця технологічно доцільного складання

В умовах гнучкого виробництва, яке здатне забезпечити найвищу ефективність, як початкові дані для виробничої системи слід надавати не жорстку послідовність складання, а множину технічно припустимих варіантів. Зазначимо, що на представлені множини (рис. 11) можуть бути накладені інші обмеження технічного або організаційного характеру, які звужать кількість варіантів вибору аж до одного варіанту, проте в більшості випадків залишається широке поле для вибору варіантів виконання складання в умовах гнучкої системи. Проілюструємо можливості застосування множини варіантів складання СО „Буфер” для різних умов виробництва. Як вже зазначалось вище, мінімальною кількістю технологічного обладнання різних типів для даної СО є дві одиниці технологічного обладнання ( $ман_1$  – пристрій для встановлення;  $зв_1$  – пристрій для загвинчування). Якщо обладнання не задіяне для виконання інших робіт, то на нього претендуватимуть тільки складальні операції даної СО, якщо ж обладнання задіяне на складання кількох різних виробів, то претендентами на обладнання будуть усі операції, які допустимі в поточний момент часу.

Складання завжди починається зі встановлення базової деталі  $a_1$  – етап 1, для чого буде задіяне обладнанням  $ман_1$ . На другому кроці на обладнання  $ман_1$  є три претенденти –  $a_4, a_5, a_7$  („збуджені” дуги від вершини 1 – рис. 11, б). Можливість встановити на другому кроці деталей  $a_4, a_5, a_7$  не означає, що в умовах обмеженої кількості обладнання на наступних кроках слід одразу реалізувати всю множину. Навпаки, доцільно буде обрати один ланцюг і реалізувати його складання до завершення ЗЗЦ, після чого повернутися до іншого ланцюга. Якщо „готові до приєднання” деталі претендують на обладнання різних типів, тоді складання можна проводити послідовно або паралельно. Табл. 2 ілюструє декілька варіантів завантаження технологічного обладнання в часі з множини технологічно доцільних схем складання. Коли кількість одиниць обладнання є вищою за мінімально необхідну, значно розширюються можливості розподілу складальних операцій. Табл. 3 ілюструє варіанти розподілу операцій складання за умов використання 3-х маніпуляторів та 2-х пристроїв для закручування різьбових з’єднань. Як видно з табл. 3, є можливість розподілити виконання операцій між 5-ма різними одиницями технологічного обладнання (варіант 1) або між 3-ма без збільшення кількості етапів складання, які мінімально складають 5, а максимально – 8.

Таблиця 2

Варіанти реалізації технологічно доцільних послідовностей складання для двох одиниць технологічного обладнання

Варіант	Обладнання	Етапи							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Варіанти технологічно доцільного послідовного складання									
1	$ман_1$	$a_1$	$a_4$	$a_6$	$a_7$	$a_2$		$a_8$	
	$зв_1$						$a_3$		$a_5$
2	$ман_1$	$a_1$	$a_4$	$a_7$	$a_6$	$a_2$		$a_8$	

	$z_{\beta_1}$						$a_3$		$a_5$
Варіанти технологічно доцільного паралельно-послідовного складання									
3	$MAN_1$	$a_1$	$a_4$	$a_6$	$a_7$	$a_2$	$a_8$		
	$z_{\beta_1}$						$a_3$	$a_5$	
4	$MAN_1$	$a_1$	$a_8$	$a_7$	$a_4$	$a_6$	$a_2$		
	$z_{\beta_1}$			$a_5$				$a_3$	

Таблиця 3

Варіанти реалізації технологічно доцільних послідовностей складання для п'яти одиниць технологічного обладнання

Варіант	Обладнання	Етапи							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Варіанти технологічно доцільного паралельно-послідовного складання									
1	$MAN_1$	$a_1$	$a_4$	$a_6$	$a_2$				
	$MAN_2$		$a_7$						
	$MAN_3$		$a_8$						
	$z_{\beta_1}$			$a_5$					
	$z_{\beta_2}$					$a_3$			
2	$MAN_1$	$a_1$	$a_7$	$a_8$					
	$MAN_2$		$a_4$	$a_6$	$a_2$				
	$MAN_3$								
	$z_{\beta_1}$				$a_5$	$a_3$			
	$z_{\beta_2}$								

**Висновки.** Запропонована індексація та мнемонічні позначення складальних з'єднань дозволяють формально виявлену на етапі аналізу складальної одиниці інформацію перетворювати у вигляд, придатний для розподілу операцій між обладнанням, а також виявляти мінімально необхідну кількість такого обладнання.

Удосконалений алгоритм розкладання СО дозволяє виявити ланцюги деталей, які „тягнуться” за видаленням деталі, яка входить до складу з'єднання, що забезпечує цілісність. Можливість формалізувати формування схеми розкладання СО з виявленням ланцюгів ЗЗЦ дозволяє після визначення базової деталі розподілити деталі на дві множини: які встановлюються в додатному напрямку вздовж певної осі, й ті, що встановлюються у від'ємному напрямку.

Запропоноване правило перетворення БВОР у схему альтернатив складання дозволяє формалізувати процес визначення такої схеми, а правило визначення послідовності встановлення деталей дозволяє формально перетворювати альтернативи складання в технологічно доцільні схеми. Показано, що множина альтернативних і технологічно доцільних схем складання є основою для обґрунтованого розподілу операцій складання між наявним технологічним обладнанням.

Реалізація сукупності запропонованих в роботі процедур дозволяє поглибити інтеграцію етапів проектування виробу, проектування технології його складання та безпосередньо виготовлення, що відповідає сучасній концепції інформаційної підтримки життєвого циклу виробу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Давыгора В.Н., Пасечник В.А. Теория формализованного синтеза множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки // Вестник НТУУ «КПИ». – К., 2000. – № 39 / Машиностроение. – С. 55–77.
2. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. – Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Виявлення значущих координатних напрямків і технологічних груп деталей у складанні // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – Житомир, 2002 / Спеціальний випуск / ІКТ 2002. – С. 152–157
4. Кореньков В.М., Сімута Р.Р. Структура процесу автоматизованого проектування технології складання виробів // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2005. – № 1 (32). – С. 100–106.

ПАСІЧНИК Віталій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

– автоматизація проектування і технологічної підготовки процесів складання, автоматизації та роботизації складальних робіт.

Тел. (+38-044)-454-95-33

E-mail: tm\_mmi@users.ntu-kpi.kiev.ua

РАТУШНА Ірина Вікторівна – магістрант кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання складальних процесів, інтеграція проектування виробу з технологічною підготовкою його виробництва.

Тел. (+38-044)-454-95-33

E-mail: tm\_mmi@users.ntu-kpi.kiev.ua

Подано 01.11.2006

**Пасічник В.А., Ратушна І.В. Урахування багатоваріантності схем складання на етапі розподілу операцій між обладнанням**

**Пасечник В.А., Ратушная И.В. Учет многовариантности схем сборки на этапе распределения операций между оборудованием**

**Pasichnyk V.A., Ratushna I.V. Accounting of assembling scheme variance when distributing operations among equipment**

УДК 658.512

Урахування багатоваріантності схем складання на етапі розподілу операцій між обладнанням / В.А. Пасічник, І.В. Ратушна

Запропоновано новий спосіб алгоритмічного формування сукупності схем складання, який дозволяє врахувати вид зв'язків між деталями, виявити припустимі варіанти складання із виділенням з їхнього складу технологічно доцільних, розподілити операції складання між наявним технологічним обладнанням з урахуванням його завантаження. Представлені нові правила й алгоритми формування сукупності схем розкладання, їх трансформація у схеми складання й розподілу операцій між основним технологічним обладнанням.

УДК 658.512

**Учет многовариантности схем сборки на этапе распределения операций между оборудованием / В.А. Пасечник, И.В. Ратушная**

Предложен новый способ алгоритмического формирования совокупности схем сборки, позволяющий учесть вид связей между деталями, выявить все допустимые варианты сборки с выделением из их состава технологически целесообразных, распределить операции сборки между имеющимся технологическим оборудованием с учетом его загрузки. В статье представлены новые правила и алгоритмы формирования совокупности схем разборки, трансформации в схемы сборки и распределения операций между основным технологическим оборудованием.

УДК 658.512

**Accounting of assembling scheme variance when distributing operations among equipment / V.A. Pasichnyk, I.V. Ratushna**

The new method of algorithmic generation of assembling schemes which allows accounting connection parts, revealing all possible variants of assembling and selecting technologically practical units, distributing operations among basic technological equipment considering its load is offered. The new rules and algorithms of disassembling scheme generation, transformation into assembling schemes and distribution of operations among basic technological equipment are presented in the article.