

## Лекція 9-10.

# МЕТОДОЛОГІЯ ГЕНЕРУВАННЯ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ОПОРНИХ ТОЧОК ПОЗИЦІОНУВАННЯ Сх ПР ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ СПОЖИТОГО КІНЕМАТИЧНОГО РЕСУРСУ

### 9.1. Загальні положення

На сьогодні в гнучких механоскладальних технологіях широкого використання набули промислові роботи (ПР) порталної конструкції. Основними перевагами використання порталних промислових роботів (ППР) є велика площа та об'єм зони обслуговування (ЗО) ПР, що значно полегшує проєктанту роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) розв'язувати ряд задач щодо розміщення та розташування допоміжного та основного технологічного обладнання (ДТО та ОТО) у робочій зоні (РЗ) ПР.

При проєктуванні РМСТ на сьогодні не приділяється особливої уваги науковому обґрунтуванню визначення координат опорних точок схвата промислових роботів (СхПР), хоча впровадження роботизації як такої є вагомим кроком щодо економії фінансових, часових та інших ресурсів. Найчастіше за початкову точку позиціонування СхПР приймають випадковим чином вибрану вихідну точку СхПР, а кінцеву визначають шляхом визначення відповідних переміщень від ОТО та/або ДТО до полюса Сх.

Для подальшого розвитку РМСТ необхідним є створення методик для розв'язування ряду технологічних задач на науково визначеній методичній основі щодо координат опорних точок СхПР за попередньо обраним критерієм. Це дасть змогу виробникам та проєктантам мінімізувати затрати часу на проєктування РМТ, потужності та інших ресурсів, що впливають на собівартість продукції.

Вказане приведе до зменшення кількості точок позиціонування СхПР, що в свою чергу полегшить процес програмування ПР, зменшить тривалість циклу та збільшить продуктивність функціонування технологічних роботизованих структур.

Більшість відомих підходів для розв'язування задач даної проблеми ґрунтуються на математичних методах, що на даному етапі проєктування РМСТ є недосконалими. В даній роботі як основу для синтезу методик визначення опорних точок Сх порталних промислових роботів (ППР) застосовано графоаналітичний метод досліджень та критерій мінімізації

використаного кінематичного ресурсу при переміщенні СхПР. Вказаний підхід дає ряд переваг, основними серед яких є:

- врахування геометричних розмірів ланок ППР;
- зон заборони (ЗЗ) ТО;
- траєкторій руху Сх;
- може розглядатись як основ для мінімізації рухів ППР за іншими критеріями.

**Особливості** змісту даного матеріалу

**1. метою** роботи є підвищення ефективності технологічної підготовки роботизованого механоскладального виробництва на прикладі ГВК при автоматизованому проектуванні РМСТ на етапі синтезу опорних точок траєкторії при технологічному обслуговуванні одноруким односхватним ППР робочих позицій (РП) ГВК;

**2.** для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати наступні **завдання:**

1. на підставі аналізу існуючих методів та методик визначення опорних точок позиціонування схвата ПР обґрунтувати доцільність використання графоаналітичного методу дослідження ППР;
2. для кожної з кінцевих точок  $C_i^{PP}$  кожної  $t$ -ої РП <sub>$t$</sub>  знайти початкову точку позиціонування СхППР  $A_i^{PP}$  за критерієм мінімуму використаного кінематичного ресурсу;
3. на основі знайдених множин опорних точок СхППР розробити методику визначення спільної для всіх одиниць ТО початкової точки  $A_t^{PP}$  та спільних або різних за координатами кінцевих точок  $C_t^{PP}$  за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу ( $\min \Delta q_{\Sigma}$ ) для кожної РП <sub>$t$</sub>   $t = \overline{1, T}$  та всієї ГВК в цілому;
4. на підставі проведених узагальнень виконаних робіт запропонувати метод автоматизованого синтезу визначення опорних точок СхПР;
5. проаналізувати візуалізовану ілюстрацію розміщення опорних точок Сх в СК ППР та автоматизованого визначення величини переміщення СхПР.
6. проілюструвати на прикладах результати розроблених методик.

**3. Наукова новизна** полягає у вперше запропонованому новому підході до синтезу методик пошуку опорних точок Сх портальних ПР при проектуванні ГВК за критерієм мінімізації використаного кінематичного ресурсу, що базується на методі графоаналітичних досліджень маніпуляційної системи (МС) ППР та може бути основою для аналогічних досліджень ПР різного конструктивно-технічного виконання.

**4. Практична цінність роботи.** Розроблені нові методики визначення опорних точок СхПР на основі графоаналітичних досліджень кінематичних можливостей ППР.

**5. Загальна постановка та сутність вирішуваних задач** визначається наступним.

*Задано* ГВК з  $T$ -ою кількістю ТО (РП), що технолоогічно обслуговується одноруким односхватним ПР порталльної конструкції типу ХССВ.

*Необхідно* синтезувати методики визначення початкових  $A_t^{PP}$  та кінцевих  $C_t^{PP}$  опорних точок позиціонування Сх, які забезпечують найменші переміщення ланок ПР з урахуванням геометричних розмірів ланок маніпуляційної системи ПР та борони (ЗЗ) кожної РП<sub>t</sub>.

Таким чином, *змістом* даної роботи є синтез методик пошуку опорних точок СхППР за критерієм мінімуму витрати кінематичного ресурсу.

## 9.2. Зміст матеріалу (за темою ДРМ Козловського О.)

У **вступі** обґрунтовується актуальність та необхідність синтезу методик визначення опорних точок позиціонування СхППР при автоматизованому проектуванні роботизованих механоскладальних технологій, формулюються мета та задачі досліджень.

У **першому розділі** визначається перспективність мінімізації рухів ланок ПР. Проведено аналіз існуючих методів визначення координат опорних точок СхПР. Розкрито позитивні та негативні сторони цих методів та обґрунтовується доцільність використання графоаналітичного методу, який покладено в основу синтезу методик визначення опорних точок позиціонування СхППР.

У **другому розділі** проводиться синтез методик визначення опорних точок позиціонування СхППР при проектуванні / синтезі РМСТ.

Виділені основні фактори, що визначають координати опорних точок СхПР (рис. 9.1).

При відомих вхідних даних формується *априорна постановка задачі* (табл. 9.1), а саме:

для одиниць  $TO \supset \{OTO, DTO\}$ , що формують  $T$  робочих позицій  $\{RP_t | t = \overline{1, T}\}$  ГВК, та  $r$ -ої моделі ППР знайти опорні точки СхППР для виконання РМСТ, що реалізується використаним мінімальним кінематичним ресурсом.

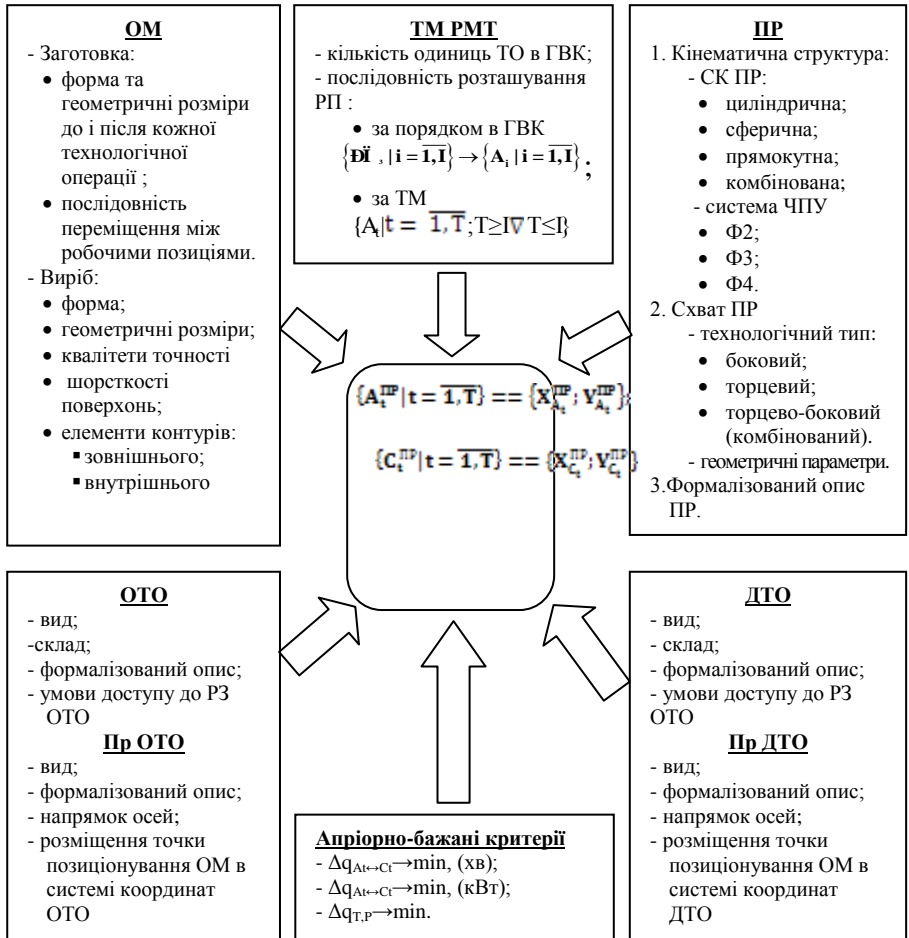


Рис. 9.1. Фактори, що визначають координати опорних точок позиціонування СхРР механоскладальних ГВК

Апріорі в загальній інженерній практиці може мати місце певна множина постановок задач при певних відношеннях R між множинами відповідних точок  $\{C_i^{PP}\}$  та  $\{A_i^{PP}\}$ , що показана в табл. 9.1.

Таблиця 1

## Множина апріорних постановок задач

№ задачі	Постановка задачі	№ підзадачі	Умови постановки				Апріорна інформація очікуваного результату
			Початкової точки		Кінцевої точки		
			Відомі	Невідомі	Відомі	Невідомі	
1.	$A_t^{PP} R_1 C_t^{PP}$	1.1.	$A_t^{PP}$	-	$C_t^{PP}$	-	$\Delta q_1(A_t^{PP} \xrightarrow{q_1} C_t^{PP}) \rightarrow \min$
		1.2.	$A_t^{PP}$	-	-	$C_t^{PP}$	
		1.3.	-	$A_t^{PP}$	$C_t^{PP}$	-	
		1.4.	-	$A_t^{PP}$	-	$C_t^{PP}$	
2.	$C_t^{PP} R_2 A_t^{PP}$	2.1.	$C_t^{PP}$	-	$A_t^{PP}$	-	$\Delta q_2(C_t^{PP} \xrightarrow{q_2} A_t^{PP}) \rightarrow \min$
		2.2.	$C_t^{PP}$	-	-	$A_t^{PP}$	
		2.3.	-	$C_t^{PP}$	$A_t^{PP}$	-	
		2.4.	-	$C_t^{PP}$	-	$A_t^{PP}$	
3.	$\{A_t^{PP}\} R_3 C_t^{PP}$	3.1.	$\{A_t^{PP}\}$	-	$C_t^{PP}$	-	$\Delta q_3(\{A_t^{PP}\} \xrightarrow{q_3} C_t^{PP}) \rightarrow \min$
		3.2.	$\{A_t^{PP}\}$	-	-	$C_t^{PP}$	
		3.3.	-	$\{A_t^{PP}\}$	$C_t^{PP}$	-	
		3.4.	-	$\{A_t^{PP}\}$	-	$C_t^{PP}$	
4.	$\{C_t^{PP}\} R_4 A_t^{PP}$	4.1.	$\{C_t^{PP}\}$	-	$A_t^{PP}$	-	$\Delta q_4(\{C_t^{PP}\} \xrightarrow{q_4} A_t^{PP}) \rightarrow \min$
		4.2.	$\{C_t^{PP}\}$	-	-	$A_t^{PP}$	
		4.3.	-	$\{C_t^{PP}\}$	$A_t^{PP}$	-	
		4.4.	-	$\{C_t^{PP}\}$	-	$A_t^{PP}$	
5.	$\{A_t^{PP}\} R_5 \{C_t^{PP}\}$	5.1.	$\{A_t^{PP}\}$	-	$\{C_t^{PP}\}$	-	$\Delta q_5(\{A_t^{PP}\} \xrightarrow{q_5} \{C_t^{PP}\}) \rightarrow \min$
		5.2.	$\{A_t^{PP}\}$	-	-	$\{C_t^{PP}\}$	
		5.3.	-	$\{A_t^{PP}\}$	$\{C_t^{PP}\}$	-	
		5.4.	-	$\{A_t^{PP}\}$	-	$\{C_t^{PP}\}$	
6.	$\{C_t^{PP}\} R_6 \{A_t^{PP}\}$	6.1.	$\{C_t^{PP}\}$	-	$\{A_t^{PP}\}$	-	$\Delta q_6(\{C_t^{PP}\} \xrightarrow{q_6} \{A_t^{PP}\}) \rightarrow \min$
		6.2.	$\{C_t^{PP}\}$	-	-	$\{A_t^{PP}\}$	
		6.3.	-	$\{C_t^{PP}\}$	$\{A_t^{PP}\}$	-	
		6.4.	-	$\{C_t^{PP}\}$	-	$\{A_t^{PP}\}$	
Тут :		$A_t^{PP} \in P_3$ ПР	– початкова точка позиціонування СхПР в СК ПР;				
	$\{A_t^{PP}\} \in P_3$ ПР	– множина початкових точок позиціонування СхПР в СК ПР;					
	$C_t^{PP} \in P_3$ ТО	– кінцева точка траєкторії переміщення ПР в СК ПР;					
	$\{C_t^{PP}\} \in P_3$ ТО	– множина кінцевих точок траєкторії переміщення ПР в СК ПР;					
	$\Delta q(A_t^{PP} \xrightarrow{q} C_t^{PP})$	– використаний кінематичний ресурс при переміщенні СхПР з т. $A_t^{PP}$ до т. $C_t^{PP}$ $\forall t = \overline{1, T}$ в СК ПР;					
	$R_1, \dots, R_6$	– множини відношень між $A_t^{PP}$ та $C_t^{PP}$ при розв'язуванні відповідних задач					

Для проведення графоаналітичних досліджень у РЗ г-ої моделі ППР з кінематичною структурою ХССВ (тобто відповідними переміщеннями: **q1** – лінійне переміщення вздовж або паралельно осі  $X^{PP}$ , тут та далі – в прийнятій правій системі координат ПР; **q2, q3** – обертальне переміщення відповідних ланок МС навколо або паралельно осей  $Z^{PP}$ ; **q4** – обертання відповідної ланки навколо осі  $Y^{PP}$ ) шляхом визначення висоти

розташування множин кінцевих точок  
 $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\} = \{(X_t^{PP}, Y_t^{PP})\}$  позиціонування Сх в горизонтальних перетинах  
 РЗ ПР у СК ПР.

Розглянуто найбільш поширений випадок, коли за початкову приймається точка вихідного положення ланок ПР (положення полюса Сх знаходиться в найнижчій точці РЗ ПР). В роботі досліджувалися тільки кутові переміщення  $q_2$  та  $q_3$  відповідних ланок аналізованого ППР, так як вони використовуються для завантаження/розвантаження ТО, тобто в даному випадку є активними (із 4 активних ступенів рухомості, що потенційно можуть бути активованими).

Результати досліджень на конкретних прикладах показали, що у ППР з *контурною системою ЧПУ* величина використаного кінематичного ресурсу зростає зі збільшенням висоти розташування множини апріорно можливих точок  $\{C_t^{PP}\}$ .

Щодо зміни переміщень відносно горизонтальної осі, то  $q_2$  увесь час зростає і приблизно на останній третині відрізка починає спадати.

Величина  $q_3$ , в свою чергу, зростає до середини відрізка множини апріорно можливих точок  $\{C_t^{PP}\}$ , після чого спадає швидшими темпами, ніж зростала, причому величина переміщення на кінці такої множини у кілька разів менша, ніж на початку.

Графіки залежності кінематичного ресурсу від висоти ( $Y_t^{PP}$ ) та довжини ( $X_t^{PP}$ ) розміщення точок  $\{C_t^{PP}\}$  зображено на рис. 9.2.

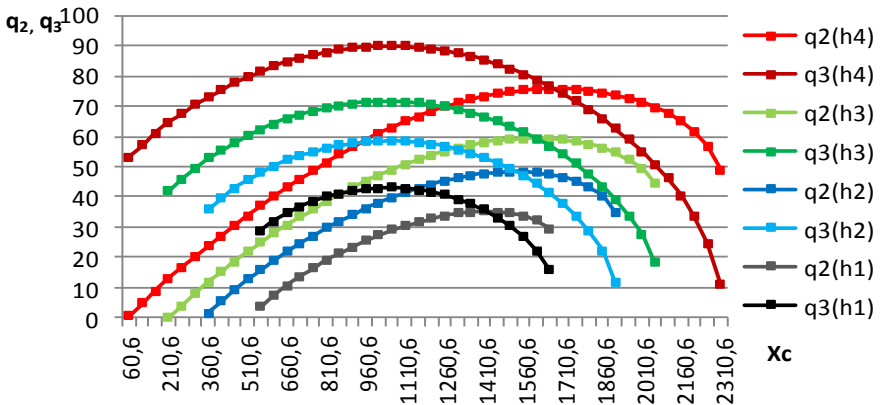


Рис. 9.2. Графіки зміни кінематичного ресурсу ППР контурної системи ЧПУ для чотирьох висот ( $h_1 - h_4$ )

Зміна кінематичного ресурсу у ППР із *позиційною системою ЧПУ* при русі  $S_x$  ППР від вихідної початкової точки  $A_i^{PP}$  до множини кінцевих  $\{C_i^{PP}\}$  ЧПУ дещо інша.

Найменші зміни кута  $q_2$  повороту однієї з ланок ПР на будь-якій з висот спостерігається між точками 2 і 3 на графіку рис. 9.3. Інтервали 1–2 і 3–4 характеризуються великою зміною кінематичного ресурсу.

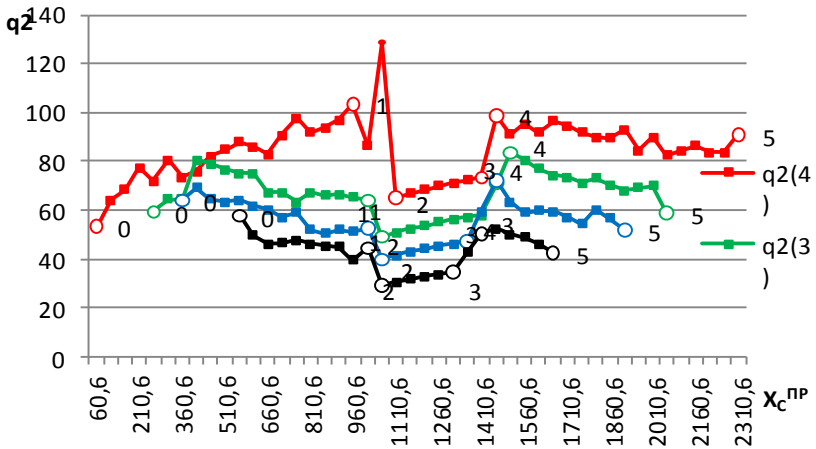


Рис. 9.3. Графіки зміни кінематичного ресурсу  $q_2$  ППР позиційної системи ЧПУ для чотирьох висот ( $h_1 - h_4$ )

Зміна кута  $q_3$  є дещо іншою і полягає в наступному (рис. 9.4):

- 1) інтервали 1–2 та 3–4 характеризуються відносно малими значеннями кутових переміщень;
- 2) інтервали 0–1, 2–3 та 4–5 є відрізками з різкими змінами кінематичного ресурсу як в бік зростання, так і в сторону спадання і тому не є рекомендованими для розташування ОМ на РП, з такими координатами опорних точок

Рис. 9.3 та 9.4 вказують, що інтервали з мінімальними затратами кінематичного ресурсу для  $q_2$  та  $q_3$  мають спільні координати по горизонтальній осі.

Для визначення цих меж побудовано графік сумарної витрати кінематичного ресурсу ППР (рис. 9.5)  $q = \Delta q_2 + \Delta q_3$ .

З рис. 9.5 видно, що величину загального переміщення  $\Delta q_\Sigma$  в основному визначає переміщення  $\Delta q_2$ . Тут, як і на рис. 9.3, спільними пріоритетними зонами розміщення ОМ на кожній з чотирьох висот є

інтервал від точки 2 до точки 3. На найнижчій досліджуваній висоті виділяється ще одна така зона, що обмежена відрізком 1'–1''

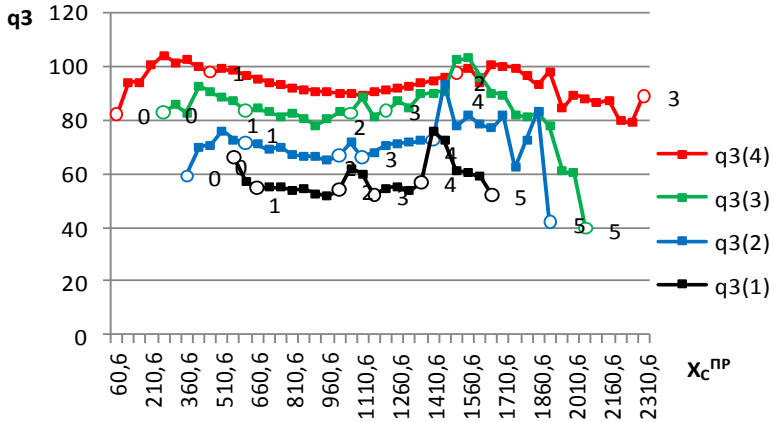


Рис.

9.4. Графіки зміни кінематичного ресурсу  $q_3$  ППР позиційної системи ЧПУ для чотирьох висот ( $h_1 - h_4$ )

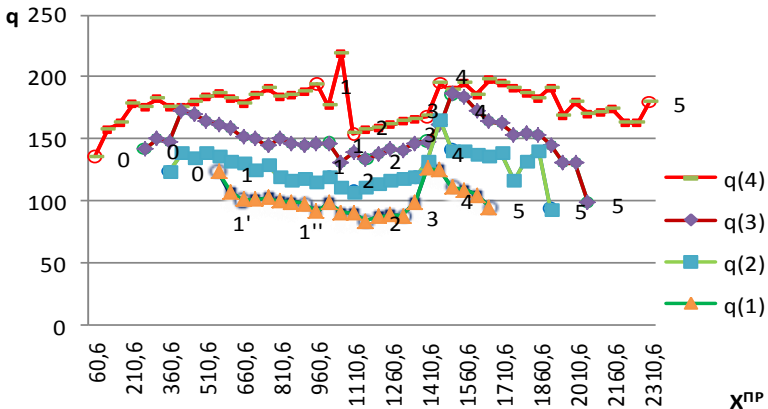


Рис. 9.5. Графіки зміни загального кінематичного ресурсу ППР позиційної системи ЧПУ для чотирьох висот ( $h_1 - h_4$ )



Наступний крок дослідження полягав в перевірці попереднього методу на реальному технологічному обладнанні з реальним ППР контурної системи ЧПУ.

В якості прикладу взяті РП з відкритою, напіввідкритою та закритою ЗО. Використані наступні одиниці ТО: 1В340Ф30, 2Р135Ф2, СТ 150, VENUS 350, MULTUS В200.

При проведенні даного дослідження було удосконалено класифікацію ЗО ТО за можливими напрямками обслуговування його (ТО) ППР (рис. 9.6 – 9.8).

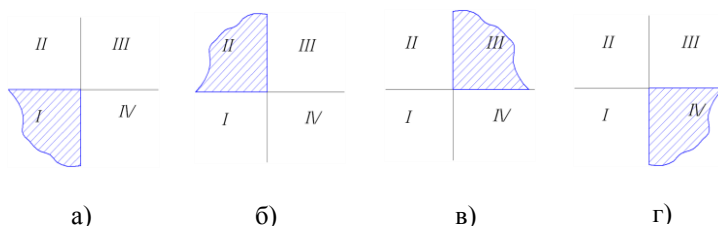


Рис. 9.6. Класифікація відкритих ЗО РП:

- а) відкрита у I квадранті;
- б) відкрита у II квадранті;
- в) відкрита у III квадранті;
- г) відкрита у IV квадранті

З врахуванням викладеного вище розроблено метод визначення опорних точок  $\{A_t^{PP} | t = \overline{1, T}\}$  позиціонування Сх ППР, який названо  **$A_t$ -метод**. В його основу покладено аналіз взаємного розміщення технічно можливих та кінематично досяжних множин кінцевих точок  $\{C_t^{PP}\}$  позиціонування Сх. Виділено три можливі випадки взаємного розташування вказаних множин:

- із непустим перетином – множини  $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\} = \{(x_t^{PP}; y_t^{PP})\}$ , мають спільний перетин по осі  $X^{PP}$  (див. рис. 9.10);
- з частковим перетином – коли спільний перетин мають не всі досліджувані множини (див. рис. 9.11);
- без перетину – коли множини кінцевих точок позиціонування Сх для  $\forall t = \overline{1, T}$  лежать у різних частинах РЗ ПР і не мають спільних перетинів (див. рис. 9.12);

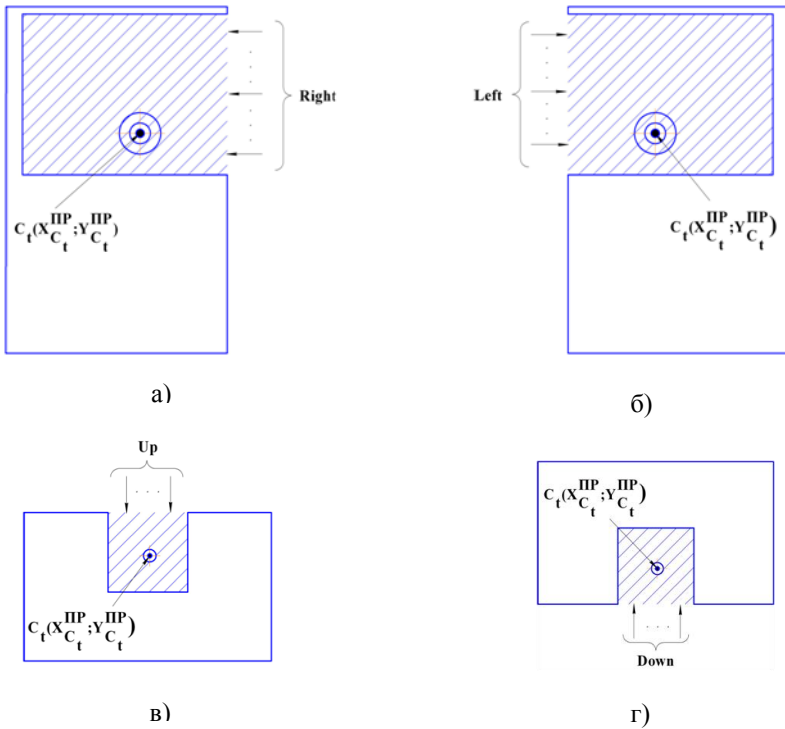


Рис. 9.7. Класифікація закритих ЗО РП:

- а) *закрита з усіх сторін, крім правої;*
- б) *закрита з усіх сторін, крім лівої;*
- в) *закрита з усіх сторін, крім верху;*
- г) *закрита з усіх сторін, крім низу*

Отже, **A<sub>t</sub>-метод** – це набір (множина) методик визначення опорних точок позионування S<sub>x</sub> ППР, які використовуються в залежності від взаємного розташування РП в ГВК і відрізняються рівнем деталізації.

Вказаний пошук перетинів змістовно відтворює I, II та III рівні деталізації синтезу опорних точок РМТ (див. рис. 9.9).

Загальним для визначення опорних точок за даним методом є:

- визначення множин як таких опорних точок;
- форми взаємного розташування множин кінцевих опорних точок  $\{C_t^{PP}\}$  в СК ПР.

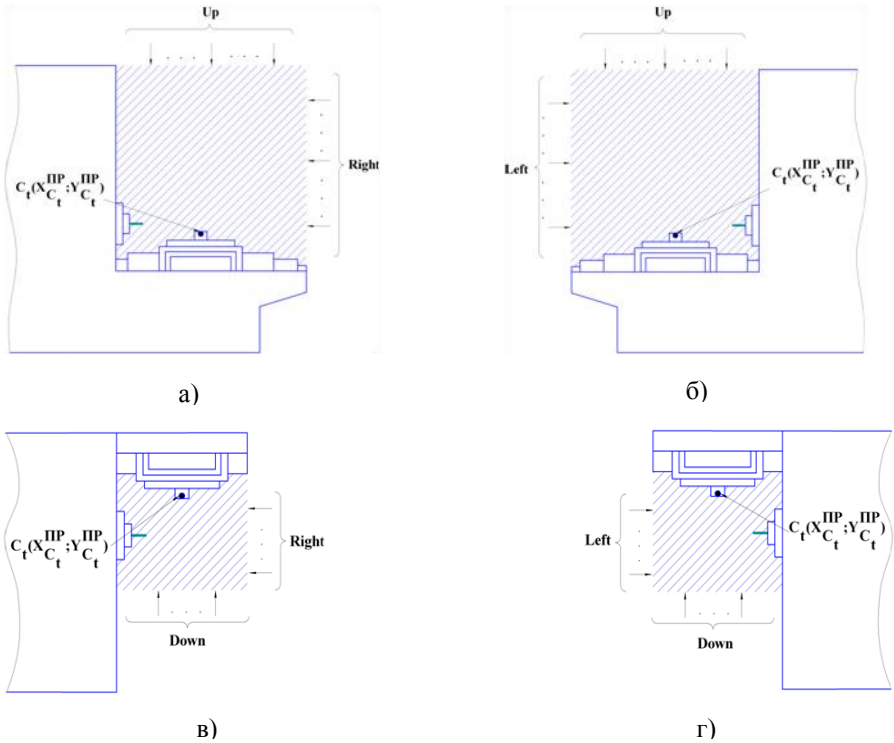


Рис. 9.8. Класифікація напіввідкритих 3D РП:

- а) напіввідкрита справа і зверху;
- б) напіввідкрита зліва і зверху;
- в) напіввідкрита справа і знизу;
- г) напіввідкрита зліва і знизу

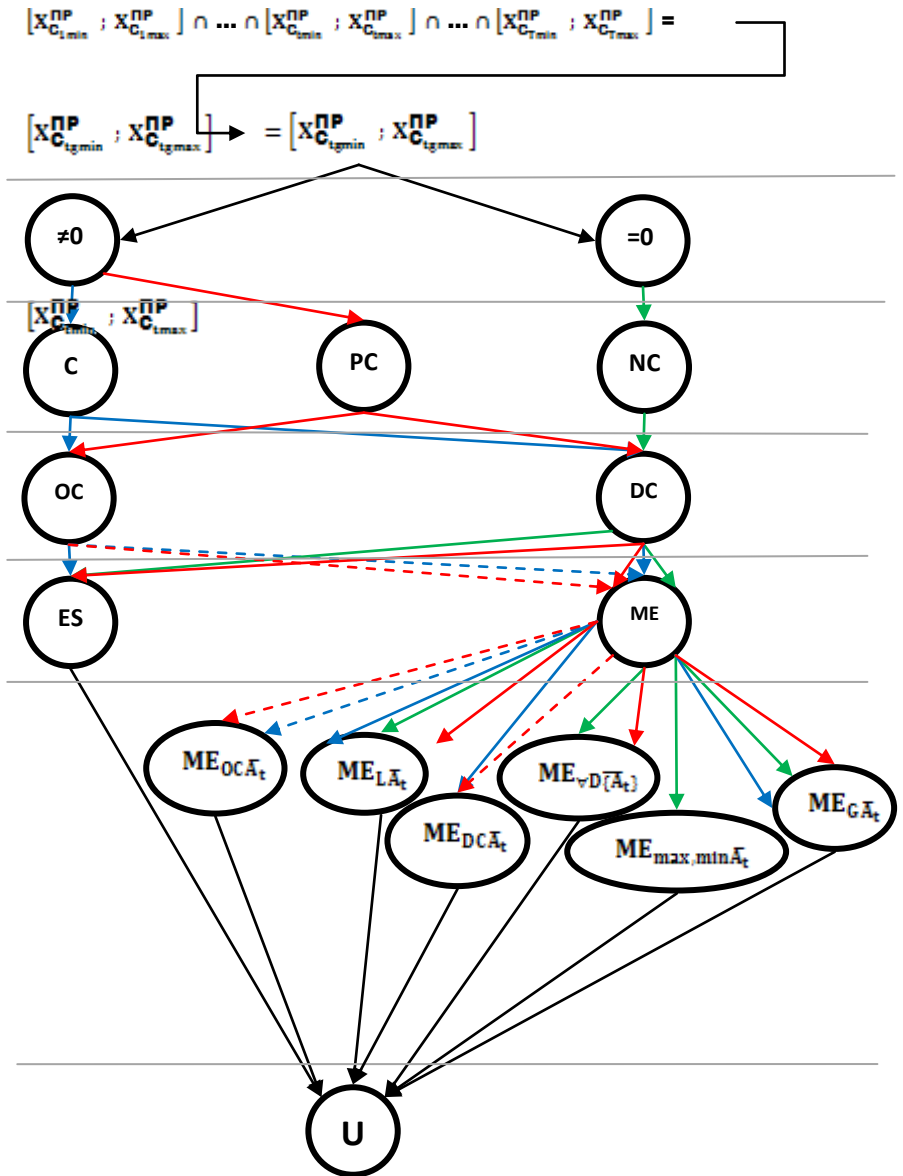
На IV рівні деталізації за характером пошуку опорних точок виділено одно- (ОС) та різнокоординатні (ДС) опорні точки.

Пошук однокоординатних опорних точок (ОС) полягає у визначенні спільної початкової точки ( $A_1^{PP} = \dots = A_t^{PP} = \dots = A_T^{PP}$ )  $\forall t = \overline{1, T}$  та спільної кінцевої  $X_C^{PP}$  ( $X_{C_1}^{PP} = \dots = X_{C_t}^{PP} = \dots = X_{C_T}^{PP}$ ).

Різнокоординатні опорні точки (ДС) – це точки, в яких спільна тільки початкова точка, а координати кінцевих точок різні.

Рівні деталізації РМТ	I	$x_{C_{t_{\min}}}^{PP} ; x_{C_{t_{\max}}}^{PP}$ ]	пошук загальних перетинів
	II	$=0$ $\neq 0$	непустий перетин (непуста множина) пустий перетин (пуста множина)
	III	C – crossing NC – noncrossing PC – partial crossing	перетин наявний перетин відсутній частковий перетин
	IV	OC – one coordinate DC – different coordinates	однокоординатні ( $x_{C_1}^{PP} = \dots = x_{C_t}^{PP} = \dots = x_{C_T}^{PP}$ ; $A_1^{PP} = \dots = A_t^{PP} = \dots = A_T^{PP}$ ) різнокоординатні ( $x_{C_1}^{PP} \neq \dots \neq x_{C_t}^{PP} \neq \dots \neq x_{C_T}^{PP}$ )
	V	ES – extensive search ME – mathematical expectation	повний перебір математичне очікування
	VI	$OC\bar{A}_t$ – one coordinate points $DC\bar{A}_t$ – different coordinate points $L\bar{A}_t$ – local points $G\bar{A}_t$ – global point $\forall D\{\bar{A}_t\}$ – points double $\{\bar{A}_t\}$ $\max, \min \bar{A}_t$ – remotest and nearest points	одна точка $\bar{A}^{PP}$ і одна точка $x_{C_1}^{PP} = \dots = x_{C_t}^{PP} = \dots = x_{C_T}^{PP}$ одна точка $\bar{A}^{PP}$ і різні точки $x_{C_1}^{PP}, \dots, x_{C_t}^{PP}, \dots, x_{C_T}^{PP}$ одна локальна точка $\bar{A}^{PP}$ від однієї з $\{C_t^{PP}\}$ одна загальна $\bar{A}^{PP}$ для всіх множин $\{C_t^{PP}\}$ одна загальна $\bar{A}^{PP}$ знайдена з двох множин $\{C_t^{PP}\}$ одна загальна $\bar{A}^{PP}$ від найвіддаленіших
	VII	U – united	об'єднання результатів і вибір найкращого

Рис. 9.9. Ієрархічна граф-схема синтезу методик



визначення опорних точок SxППP за  $A_1$ -методом

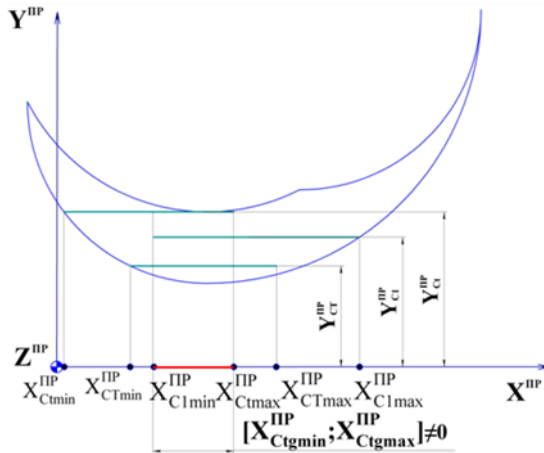


Рис. 9.10. Схема, що ілюструє взаємне розташування множин координат точок  $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\}$  з непустим перетином  $[X_{C_{tgin}^{PP}}; X_{C_{tgin}^{PP}}] \neq 0$

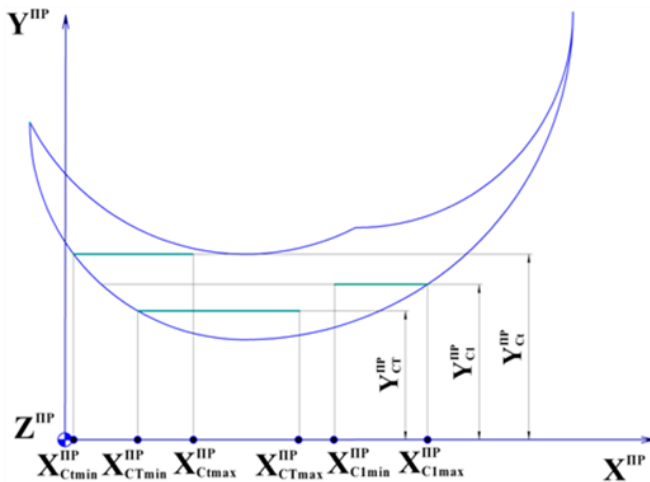


Рис. 9.11. Схема, що ілюструє взаємне розташування множин координат точок  $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\}$  з частковим перетином  $[X_{C_{tgin}^{PP}}; X_{C_{tgin}^{PP}}] \neq 0$

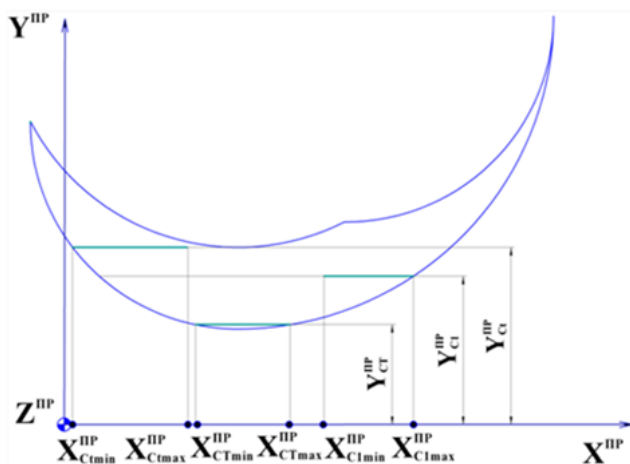


Рис. 9.12. Схема, що ілюструє взаємне розташування множин координат точок  $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\}$  без перетину (з пустим перетином)

$$[X_{C_{tqmin}}^{PP}; X_{C_{tqmax}}^{PP}] = 0$$

Далі на V рівні в залежності від форми перетину  $[X_{C_{tqmin}}^{PP}; X_{C_{tqmax}}^{PP}]$  використовуються два методи пошуку опорних точок – це повний перебір (**ES**) та математичне очікування (**ME**). Подана конкретизація використання **ES** та **ME** відтворює VI рівень **A<sub>t</sub>-методу**.

Метод повного перебору **ES** використовується для всіх форм перетинів і полягає у переборі кожної початкової точки  $A_{it}^{PP}$  кожної множини  $\{A_t^{PP}\}$  зі всіма кінцевими  $\{C_t^{PP}\}$  всіх РП з подальшим визначенням пари точок, що мають найменші затрати кінематичного ресурсу.

Метод математичного очікування **ME** використовується в залежності від форми взаємного розташування множин  $\{C_t^{PP}\}$  і поділяється на такі різновиди:

- 1) **ME<sub>осдт</sub>** – використовується при повному (**C**) та частковому перетинах (**PC**) і однокоординатному (**OC**) характеру пошуку опорних точок. Полягає у визначенні множини початкових точок  $\{A_t^{PP}\}$  для всіх точок з однаковими координатами  $X_C^{PP}$  всіх кінцевих точок множин  $\{C_t^{PP}\}$ . За результатами пошуку вибирається пара опорних точок позиціонування  $SxPPP$ , які є спільними для всіх РП;

- 2)  $ME_{DC\bar{A}_t}$  – використовується при повному (С) та частковому (РС) перетинах і при всіх характерах пошуку опорних точок. Полягає у визначенні множини початкових точок  $\{\bar{A}_t^{PP}\}$  для всіх точок з однаковими координатами  $X_C^{PP}$  всіх кінцевих точок множин  $\{C_t^{PP}\}$ . За результатами пошуку вибирається спільна початкова опорна точка позиціонування СхППР  $\bar{A}^{PP}(X_{\bar{A}}^{PP}; Y_{\bar{A}}^{PP})$  та різні кінцеві  $\{C_t^{PP}\}$ ;
- 3)  $ME_{L\bar{A}_t}$  – використовується при всіх формах перетинів і при всіх характерах пошуку опорних точок. Полягає у визначенні однієї точки  $A_t^{PP}$  із кожної з множин  $\{A_t^{PP}\}$  з подальшим пошуком кінцевої точки  $C_t^{PP}$  для кожної з РП<sub>t</sub> за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу;
- 4)  $ME_{C\bar{A}_t}$  – як і попередній, використовується при всіх формах перетинів і при всіх характерах пошуку опорних точок. Полягає у визначенні однієї точки  $\bar{A}^{PP}$  з усіх точок всіх множин  $\{A_t^{PP}\}$  з подальшим пошуком кінцевої точки  $C_t^{PP}$  для кожної з одиниць ТО за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу;
- 5)  $ME_{D(\bar{A}_t)}$  – використовується для другого і третього виду перетину і для різнокоординатного характеру пошуку опорних точок. Полягає у визначенні однієї точки  $\bar{A}_t^{PP}$  із кожної з пар множин  $\{A_t^{PP}\}$  з подальшим пошуком для кожної з РП кінцевої точки  $C_t^{PP}$  за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу;
- 6)  $ME_{max, min\bar{A}_t}$  – використовується тільки для третього виду перетину і для різнокоординатного характеру пошуку опорних точок. Полягає у визначенні двох точок  $\bar{A}_{min}^{PP}$  та  $\bar{A}_{max}^{PP}$  шляхом математичного очікування з найбільш віддалених та найближчих точок множин  $\{A_t^{PP}\}$ . Найбільш віддалені, як і найближчі точки, вибираються по одній з кожної із множин з попередньо побудованої точкової діаграми координат множин  $\{A_t^{PP}\}$ .

Кінцевим VII рівнем (U) **A<sub>t</sub>-методу** є об'єднання результатів, знайдених різними методами, і вибір опорних точок позиціонування СхППР з найменшим кінематичним ресурсом (реалізація U-методик).

Більш детально **A<sub>t</sub>-метод** представлено на рис. 9.9. Тут кожен з напрямків (гілок) визначення опорних точок позиціонування СхППР для кожної з форм взаємного розташування множин  $\{C_t^{PP}\}$  виділено окремим кольором стрілок. Стрілки, що позначені пунктирними лініями, вказують



на види маточікування, які використовуються тільки при однокоординатному характеру пошуку опорних точок СхППР.

На тестових прикладах продемонстровано перевірку роботи даної методики на ГВК з вищезгаданими моделями технологічного обладнання, що обслуговуються ППР мод. СМ40Ф2. Мінімальні витрати кінематичного ресурсу для трьох видів взаємного розташування ТО і за всіма методиками, які використовуються для кожного з видів, представлені діаграми на рис. 9.13–9.15.

**У третьому розділі** дається обґрунтування вибору програмних продуктів для автоматизації проведення даних досліджень та наводиться створений програмний продукт (ПП).

Для розв'язування поставлених задач графоаналітичним методом обґрунтовано застосування графічного продукту КОМПАС 3D-V10. Дана програма значно полегшує та пришвидшує проведення графічної частини досліджень, до того ж з високою точністю визначає затрати кінематичного балансу для ланок ППР при русі схвата між опорними точками.

Для фіксування та аналізу отриманих результатів обрано прикладний пакет Excel пакету прикладних програм (ППП) Microsoft Office. MO Excel забезпечує швидке та надійне виконання розрахунків, що подані у вигляді таблиці.

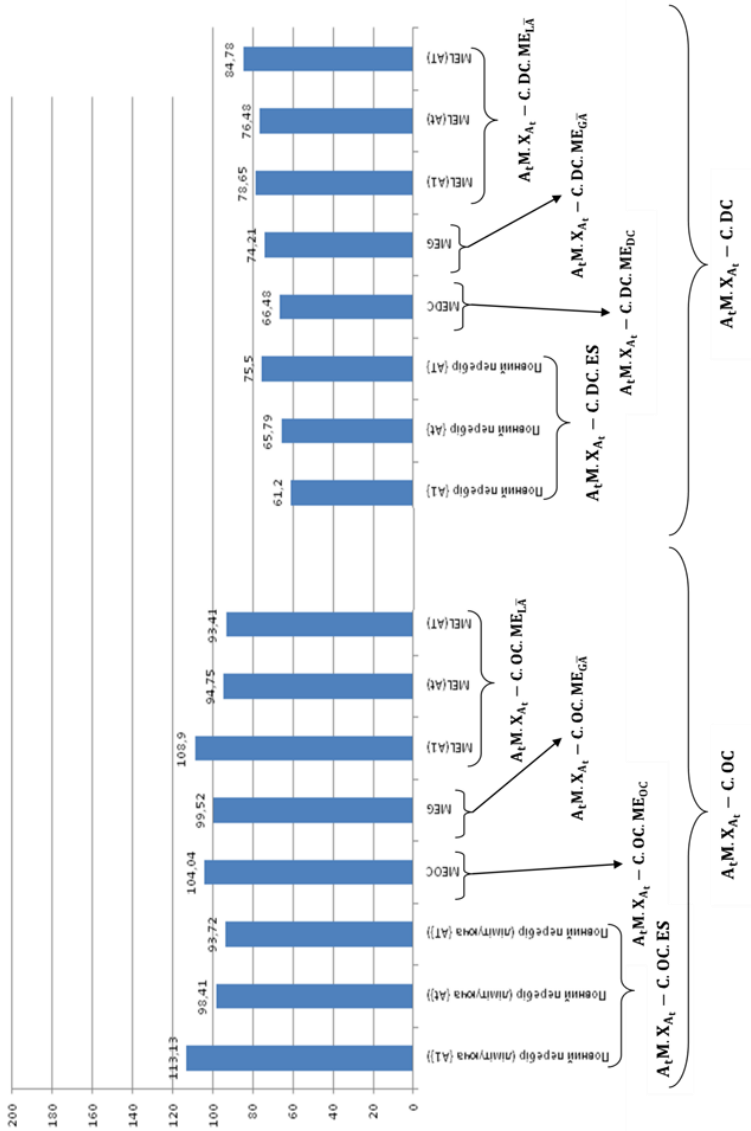
Пакет нечіткої логіки Fuzzy Logic Toolbox системи MatLab 6.5. використовується для переведення дискретності визначення результатів у неперервність з метою інформативно ілюстрованої візуалізації отриманих результатів, а також при розв'язуванні різних задач, у яких закони зміни величини (величин) спожитого кінематичного ресурсу змінюються на різних інтервалах по різному.

Розроблений ПП містить приклади роботит тестових програм для визначення мінімальних затрат кінематичного ресурсу, а також координат опорних точок позиціонування Сх ППР для трьох форм взаємного розташування ТО.

Розглянемо результати роботи розробленого ПП для однієї з форм взаємного розташування ТО - для *непустого перетину* (NC).

На рис. 9.16 представлені візуалізації роботи програми автоматичного визначення координат кінцевої точки при спільній початковій при однокоординатному характері пошуку опорних точок позиціонування Сх ППР.

При цьому: - вхідною величиною є значення початкової точки  $A_t^{PP}(X_{At}^{PP}, Y_{At}^{PP})$ ; - вихідними – координати кінцевої точки  $X_{Ct}^{PP}$  та величина переміщення між опорними точками. Візуальне представлення зміни вихідних величин від вхідної представлено на рис. 9.17.



$$r = \left\{ C_t^{IP} \mid \Gamma \right\}$$

Рис. 9.13. Мінімальні витрати кінематичного ресурсу при непустому перетині множин координат  $\Gamma \{C_t^{IP} \mid \Gamma\}$

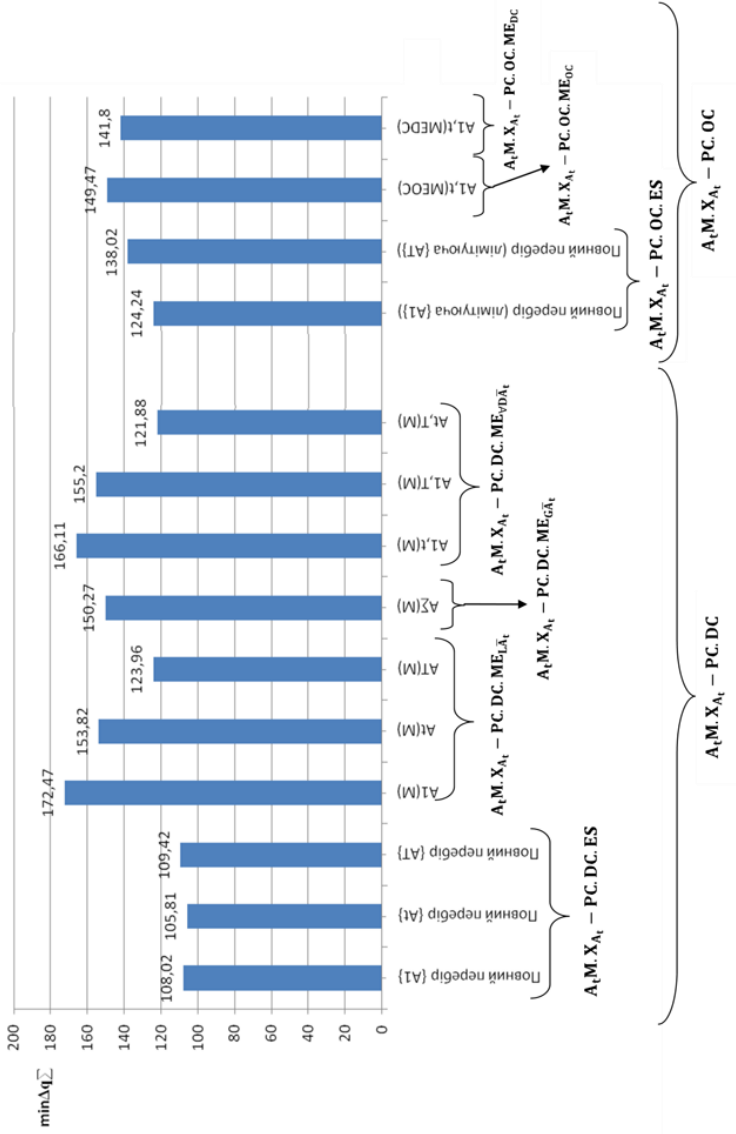


Рис. 9.14. Мінімальні витрати кінематичного ресурсу при частковому перетині множин координат  $t \{C_t | t\}$

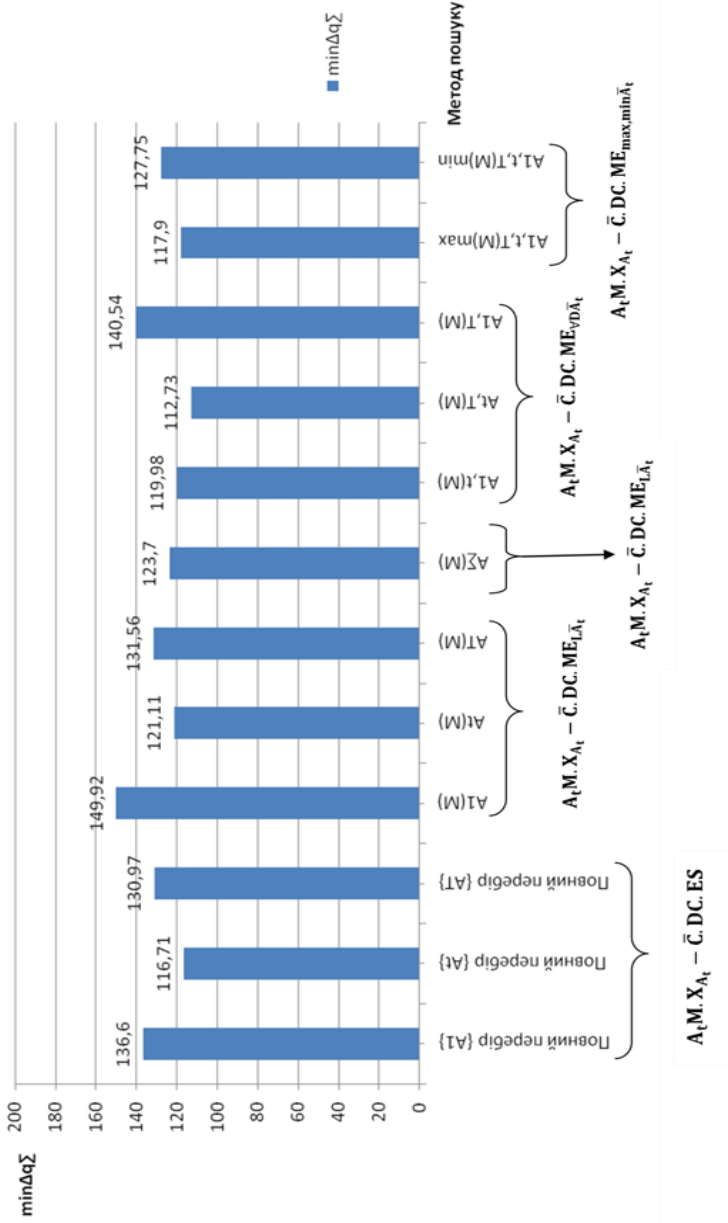
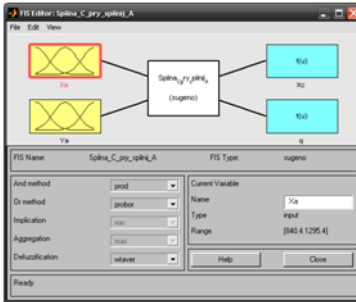
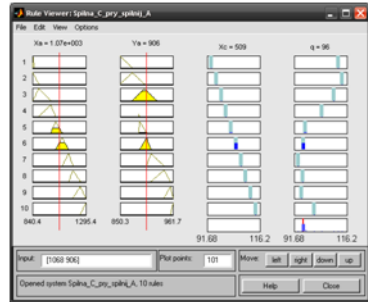


Рис. 9.15. Мінімальні витрати кінематичного ресурсу при взаємному розташуванні ТО, коли відсутні

$$t = \overline{1, T}$$

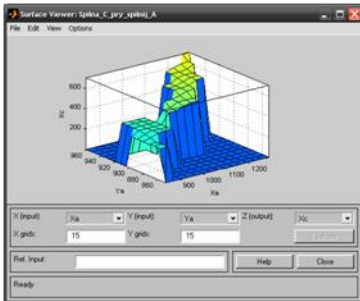


а

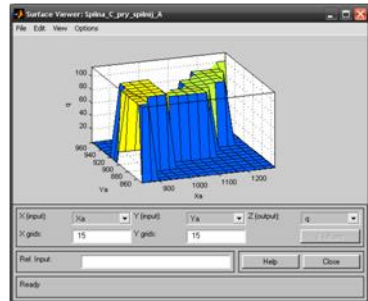


б

Рис. 9.16. Автоматичне визначення координат кінцевої точки при спільній початковій для непустилого перетину при однокоординатному характері пошуку опорних точок (методики  $A_1M.X_{At} - C.OC$ ):  
 а) інтерфейс програми;  
 б) вікно задання початкових параметрів і визначення кінцевих



а)



б)

Рис. 9.17. Візуалізація автоматичного визначення координат кінцевої точки при спільній початковій для непустилого перетину (методики  $A_1M.X_{At} - C.OC$ ):  
 а) зміна кінематичного ресурсу  $q$  у кожній точці  $\{C_i^{III}\}$ ;  
 б) зміна координат  $X_C^{III}$  від  $X_A^{III}$

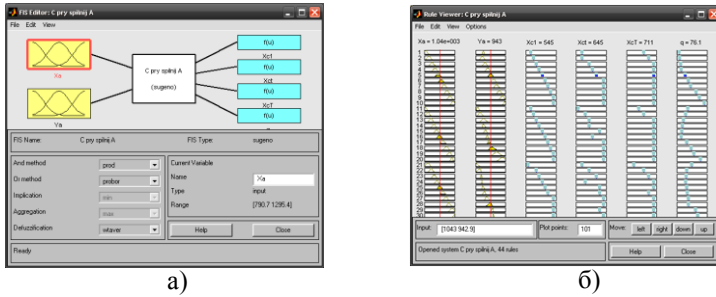
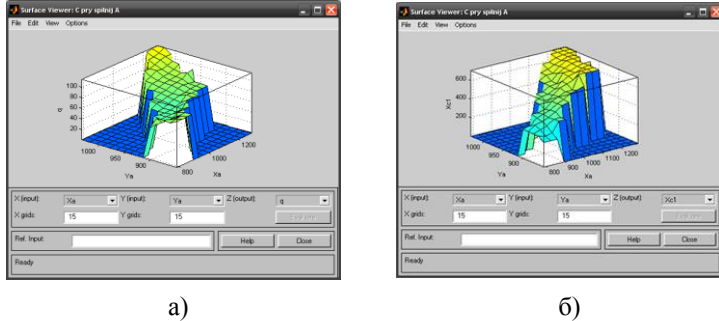


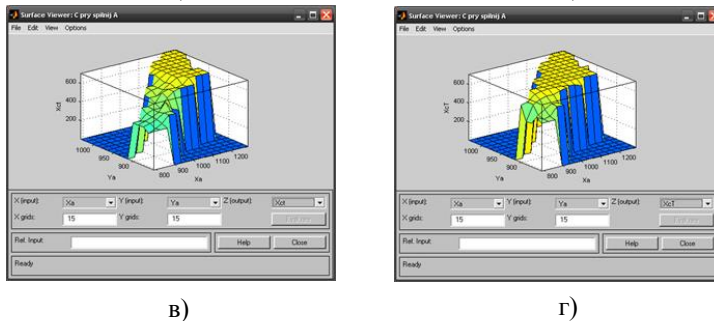
Рис. 9.18. Автоматичне визначення координат кінцевих точок при спільній початковій для непустих перетину при різнокоординатному характері пошуку опорних точок (методики  $A_1M.X_{A1} - C.DC$ ):  
а) інтерфейс програми;

б) вікно задання початкових параметрів і визначення кінцевих



а)

б)



в)

г)

Рис. 9.19. Візуалізація автоматичного визначення координат кінцевих точок при спільній початковій для непустих перетину (методики  $A_1M.X_{A1} - C.DC$ ):

а) зміна кінематичного ресурсу  $q$  у кожній точці  $\{C_i^{PP}\}$ ;

б) зміна координат  $X_{C1}^{PP}$  від  $X_A^{PP}$ ;

в) графік зміни координат  $X_{C1}^{PP}$  від  $X_A^{PP}$ ;

г) графік зміни координат  $X_{Ct}^{PP}$  від  $X_A^{PP}$

Вхідними даними в цьому випадку є координати початкової точки  $X_C^{PP}$  та  $Y_A^{PP}$ , вихідними є координати кінцевих точок позиціонування  $S_x$  ППР та кінематичний ресурс, що витрачено при технологічному обслуговуванні ГВК (рис. 9,18, а).

Величина спожитого кінематичного ресурсу представлена на рис. 9.19,а.

У **четвертому розділі** визначено напрямки подальших досліджень:

- використання запропонованого  $A_t$ -методу для дослідження ПР інших конструктивних виконань (дворуких, двосхватних) з врахуванням геометричних параметрів  $S_x$ ПР та об'єктів маніпулювання;
- теоретичне обґрунтування використання апріорі доцільної методики синтезу координат опорних точок;
- теоретичне обґрунтування критерію найбільш віддалених крайніх точок множин та найближчих крайніх точок множин;
- розробка програмного забезпечення, для реалізації всіх запропонованих методик за допомогою одного контекстного меню.

### 9.3. Загальні висновки

1. В даній роботі розроблено методи підвищення ефективності технологічної підготовки роботизованого механоскладального виробництва на прикладі гнучких виробничих комірок (ГВК) при автоматизованому проектуванні РМСТ на етапі синтезу опорних точок траєкторії при технологічному обслуговуванні одноруким односхватним ППР робочих позицій ГВК.

2. Представлено аналіз існуючих методів визначення опорних точок позиціонування схвата ПР та на основі їх (методів) недоліків запропоновано новий метод.

3. Розроблено класифікацію взаємного розміщення множин кінцевих точок  $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\}$  позиціонування  $S_x$  в системі координат (СК) ПР.

4. Розроблено методику визначення спільної для всіх одиниць ТО початкової точки  $A$  та спільних або різних за координатами кінцевих точок  $C_t$  за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу ( $\min \Delta q_{\Sigma}$ ) для кожної РП $_t | t = \overline{1, T}$  та всієї ГВК в цілому.

5. На ряді тестових прикладів показано результати розроблених методик та виділено кращі методи знаходження опорних точок позиціонування схвату для кожного з видів розташування множин кінцевих точок в СК ППР за вище згаданим критерієм.

6. Запропоновано візуалізовану ілюстрацію розміщення опорних точок  $S_x$  в СК ППР та автоматизоване визначення величини переміщення для кожної з пари точок.