

Лекція 7

Тема: Синтез методик визначення опорних точок позиціонування схвата порталних промислових роботів при проектуванні/синтезі роботизованих механоскладальних технологій

План. 7.1. Загальні положення.

7.2. Стисла сутність та постановка задачі.

7.3. Методики визначення опорних точок позиціонування Сх ППР при проектуванні/синтезі РМСТ.

7.1. 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) вирішувати ряд задач щодо розміщення та розташування технологічного обладнання (ТО) у робочій зоні (РЗ) ПР.

При проєктуванні РМСТ на сьогодні не приділяється особливої уваги щодо наукового обґрунтування визначення координат опорних точок схвату промислового робота (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 технологічного обладнання (ТО) до полюса схвата.

Для подальшого розвитку РМСТ необхідним є створення методик для вирішення ряду технологічних задач на науково-методичній основі визначення опорних точок СхПР за попередньо обраним критерієм. Це дасть змогу виробникам та проєктантам мінімізувати затрати часу на проєктування/синтез РМСТ, 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 вирішення задач даної проблеми ґрунтуються на математичних методах, що на даному етапі проєктування РМСТ є недосконалими.

В даній лекції 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 особливостей, основними серед яких є врахування геометричних розмірів ланок ППР, зон заборони (ЗЗ) ТО, траєкторій руху схвата та є основою для мінімізації рухів ППР за іншими критеріями.

Це дасть змогу підвищити ефективність технологічної підготовки (ТПг) роботизованого механоскладального виробництва (РМСВ) на прикладі гнучких виробничих комірок (ГВК) при автоматизованому проєктуванні РМСТ на етапі синтезу опорних точок траєкторії при технологічному обслуговуванні одноруким односхватним ППР робочих позицій (РП).

7.2. Стисла сутність та постановка задачі

Зміст цієї задачі означає наступне.

1. Для кожної з кінцевих точок C_i^{PP} кожної t -ої РП _{t} знайти початкову точку позиціонування СхППР A_i^{PP} за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу.
2. На основі знайдених множин опорних точок СхППР розробити методику визначення спільної для всіх одиниць ТО початкової точки A^{PP} та спільних або різних за координатами кінцевих точок C_t^{PP} за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу ($\min \Delta q_{\Sigma}$) для кожної РП _{t} | $t = \overline{1, T}$ та всієї ГВК в цілому.
3. На підставі проведених узагальнень виконаних робіт запропонувати метод автоматизованого синтезу визначення опорних точок СхППР.

При цьому вказані позначення точок в подальшому зберігаються як такі.

Загальна постановка вирішуваних задач визначається наступним.

Задано: ГВК з T -ою кількістю ТО (РП), що обслуговується однорукиким односхватним ПР порталної 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 елементів маніпуляційної системи ПР та ЗЗ РП _{t} .

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

7.3. Методики визначення опорних точок позиціонування СхППР при проектуванні/синтезі РМСТ

Виділені основні фактори, що визначають координати опорних точок СхППР (рис.7.1).

При відомих вхідних даних формується апріорна постановка задачі (табл. 7.1): для одиниць $ТО \ni \{OTO, DTO\}$, що формують T робочих позицій $\{РП_t | t = \overline{1, T}\}$ гнучкої виробничої комірки, та g -ої моделі ППР знайти опорні точки СхППР для реалізації РМСТ, що реалізується з використанням мінімальним кінематичним ресурсом.

Апріорі в загальній інженерній практиці може мати місце певна множина постановок задач при певних відношеннях R між множинами відповідних точок $\{C_t^{PP}\}$ та $\{A_t^{PP}\}$, що показана в табл. 7.1.

Для проведення графоаналітичних досліджень у РЗ g -ої моделі ППР з кінематичною структурою ХССВ (і відповідними переміщеннями, позначених як узагальнені координати, q_1, q_2, q_3, q_4) шляхом визначення висоти розташування множин кінцевих точок $\{C_t^{PP} | t = \overline{1, T}\} = \{(x_t^{PP}, y_t^{PP})\}$ позиціонування схвата 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).

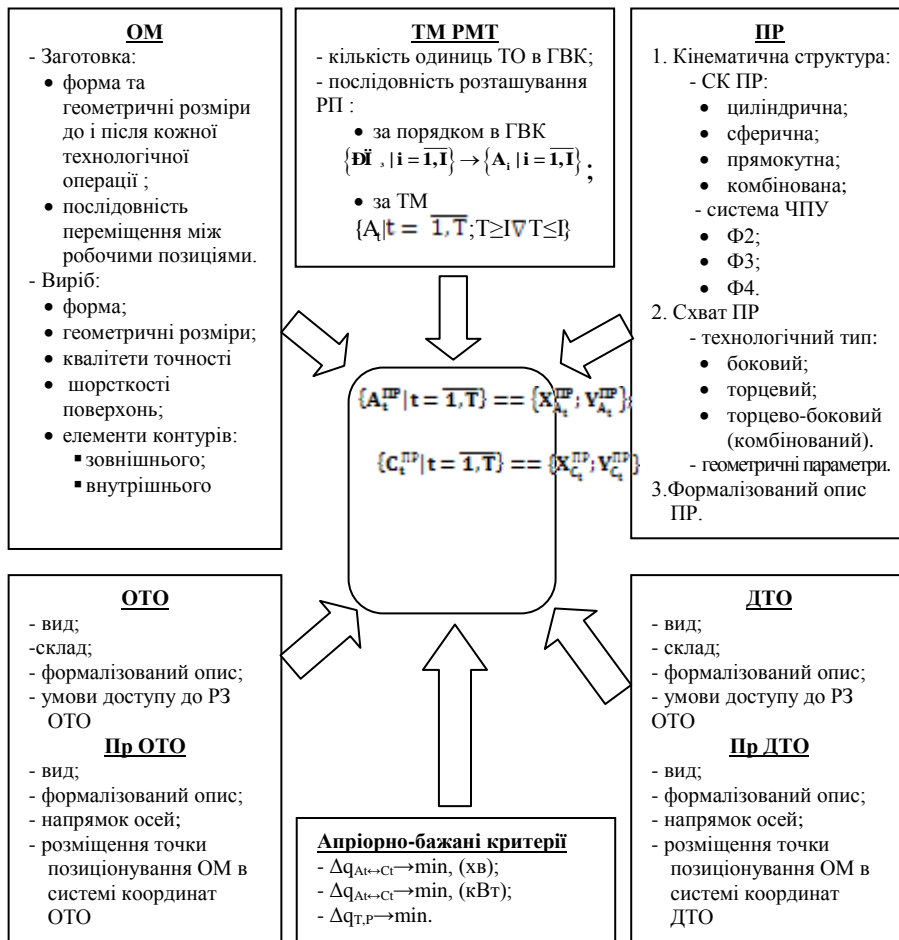


Рис. 7.1. Фактори, що визначають координати опорних точок позиціонування СхРР механоскладальних ГВК

В подальшому досліджувалися тільки кутові переміщення q_2 та q_3 відповідних ланок аналізованого ПРР, так як вони використовуються для завантаження/розвантаження ТО, тобто в даному випадку є активними.

Результати досліджень на конкретних прикладах показали, що у ПРР 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 ($y_{C_t}^{PP}$) та довжини ($x_{C_t}^{PP}$) розміщення точок $\{C_t^{PP}\}$ зображено на рис.7. 2.

Зміна кінематичного ресурсу у ПРР із позиційною системою ЧПУ при русі Сх РРР від вихідної початкової точки A_t^{PP} до множини кінцевих $\{C_t^{PP}\}$ ЧПУ дещо інша. Найменші зміни кута q_2 повороту однієї з ланок РР на будь-якій з висот спостерігається між точками 2 і 3 на графіку рис. 7.3. Інтервали 1 – 2 і 3 – 4 характеризуються великою зміною кінематичного ресурсу.

Таблиця 7.1
Множина апріорних постановок задач

№ задачі	Постановка задачі	№ підзадачі	Умови постановки				Апріорна інформація очікуваного результату
			Початкової точки		Кінцевої точки		
			Відомі	Невідомі	Відомі	Невідомі	
1.	$A_t^{IP} R_1 C_t^{IP}$	1.1.	A_t^{IP}	-	C_t^{IP}	-	$\Delta q_1(A_t^{IP} \overset{q_3}{\rightarrow} C_t^{IP}) \rightarrow \min$
		1.2.	A_t^{IP}	-	-	C_t^{IP}	
		1.3.	-	A_t^{IP}	C_t^{IP}	-	
		1.4.	-	A_t^{IP}	-	C_t^{IP}	
2.	$C_t^{IP} R_2 A_t^{IP}$	2.1.	C_t^{IP}	-	A_t^{IP}	-	$\Delta q_2(C_t^{IP} \overset{q_3}{\rightarrow} A_t^{IP}) \rightarrow \min$
		2.2.	C_t^{IP}	-	-	A_t^{IP}	
		2.3.	-	C_t^{IP}	A_t^{IP}	-	
		2.4.	-	C_t^{IP}	-	A_t^{IP}	
3.	$\{A_t^{IP}\} R_3 C_t^{IP}$	3.1.	$\{A_t^{IP}\}$	-	C_t^{IP}	-	$\Delta q_3(\{A_t^{IP}\} \overset{q_3}{\rightarrow} C_t^{IP}) \rightarrow \min$
		3.2.	$\{A_t^{IP}\}$	-	-	C_t^{IP}	
		3.3.	-	$\{A_t^{IP}\}$	C_t^{IP}	-	
		3.4.	-	$\{A_t^{IP}\}$	-	C_t^{IP}	
4.	$\{C_t^{IP}\} R_4 A_t^{IP}$	4.1.	$\{C_t^{IP}\}$	-	A_t^{IP}	-	$\Delta q_4(\{C_t^{IP}\} \overset{q_3}{\rightarrow} A_t^{IP}) \rightarrow \min$
		4.2.	$\{C_t^{IP}\}$	-	-	A_t^{IP}	
		4.3.	-	$\{C_t^{IP}\}$	A_t^{IP}	-	
		4.4.	-	$\{C_t^{IP}\}$	-	A_t^{IP}	
5.	$\{A_t^{IP}\} R_5 \{C_t^{IP}\}$	5.1.	$\{A_t^{IP}\}$	-	$\{C_t^{IP}\}$	-	$\Delta q_5(\{A_t^{IP}\} \overset{q_3}{\rightarrow} \{C_t^{IP}\}) \rightarrow \min$
		5.2.	$\{A_t^{IP}\}$	-	-	$\{C_t^{IP}\}$	
		5.3.	-	$\{A_t^{IP}\}$	$\{C_t^{IP}\}$	-	
		5.4.	-	$\{A_t^{IP}\}$	-	$\{C_t^{IP}\}$	
6.	$\{C_t^{IP}\} R_6 \{A_t^{IP}\}$	6.1.	$\{C_t^{IP}\}$	-	$\{A_t^{IP}\}$	-	$\Delta q_6(\{C_t^{IP}\} \overset{q_3}{\rightarrow} \{A_t^{IP}\}) \rightarrow \min$
		6.2.	$\{C_t^{IP}\}$	-	-	$\{A_t^{IP}\}$	
		6.3.	-	$\{C_t^{IP}\}$	$\{A_t^{IP}\}$	-	
		6.4.	-	$\{C_t^{IP}\}$	-	$\{A_t^{IP}\}$	

Тут : $A_t^{IP} \in P_3$ ПР – початкова точка позиціонування СхПР в СК ПР;
 $\{A_t^{IP}\} \in P_3$ ПР – множина початкових точок позиціонування СхПР в СК ПР;
 $C_t^{IP} \in P_3$ ТО – кінцева точка траєкторії переміщення ПР в СК ПР;
 $\{C_t^{IP}\} \in P_3$ ТО – множина кінцевих точок траєкторії переміщення ПР в СК ПР;
 $\Delta q(A_t^{IP} \overset{q_3}{\rightarrow} C_t^{IP})$ – використаний кінематичний ресурс при переміщенні СхПР з т. A_t^{IP} до т. C_t^{IP} $\forall t = \overline{1,7}$ в СК ПР;
 R_1, \dots, R_6 – множини відношень між A_t^{IP} та C_t^{IP} при розв'язуванні відповідних задач

Зміна кута q_3 є дещо іншою і полягає в наступному (рис. 7.4):

- 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_t.

Рис. 7.3 та 7.4 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. 7.5) $q = \Delta q_2 + \Delta q_3$. З рис. 5 видно, що величину загального переміщення Δq_{Σ} в основному визначає переміщення

Δq_2 . Тут, як і на рис. 7.3, 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 $1' - 1''$.

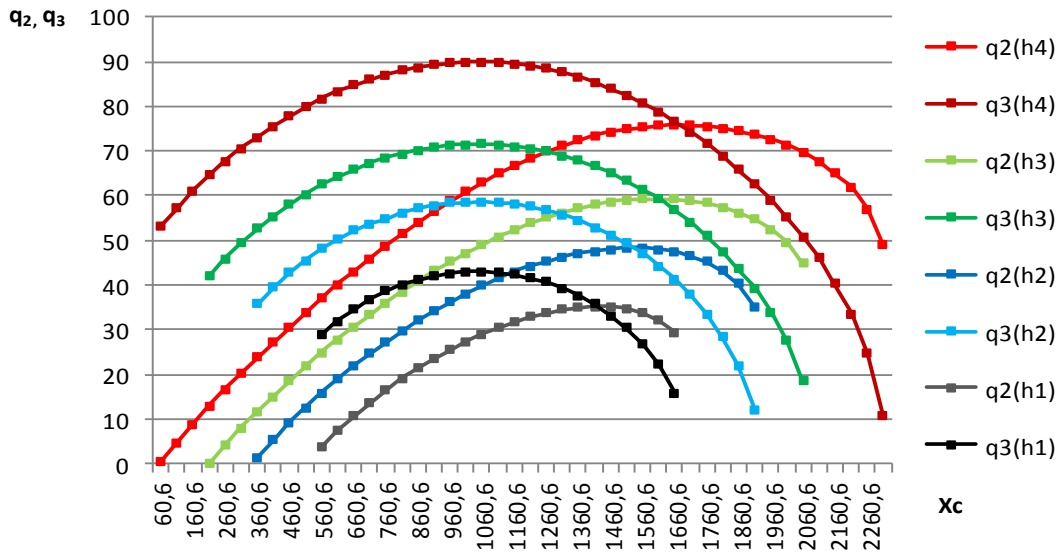


Рис. 7.2. Графіки зміни кінематичного ресурсу ППР контурної системи ЧПУ для чотирьох висот ($h_1 - h_4$)

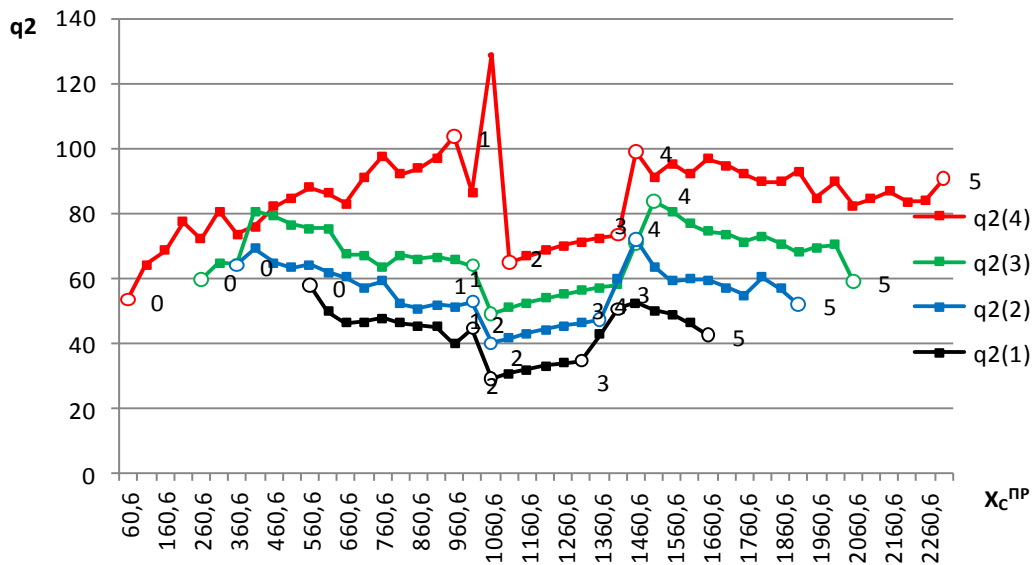


Рис. 7.3. Графіки зміни кінематичного ресурсу q_2 ППР позиційної системи ЧПУ для чотирьох висот ($h_1 - h_4$)

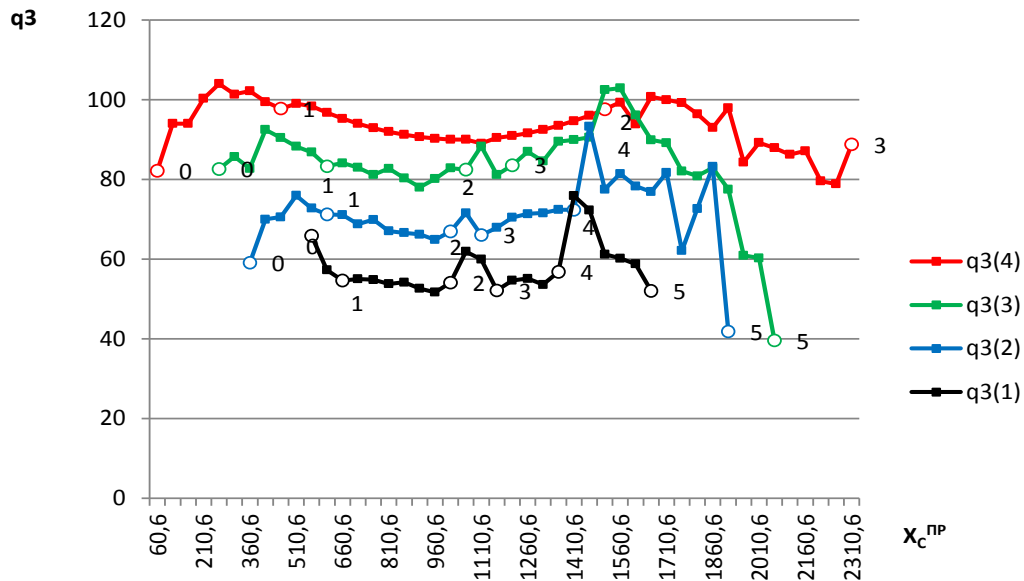


Рис.7.4. Графіки зміни кінематичного ресурсу q_3 ППР позиційної системи ЧПУ для чотирьох висот ($h_1 - h_4$)

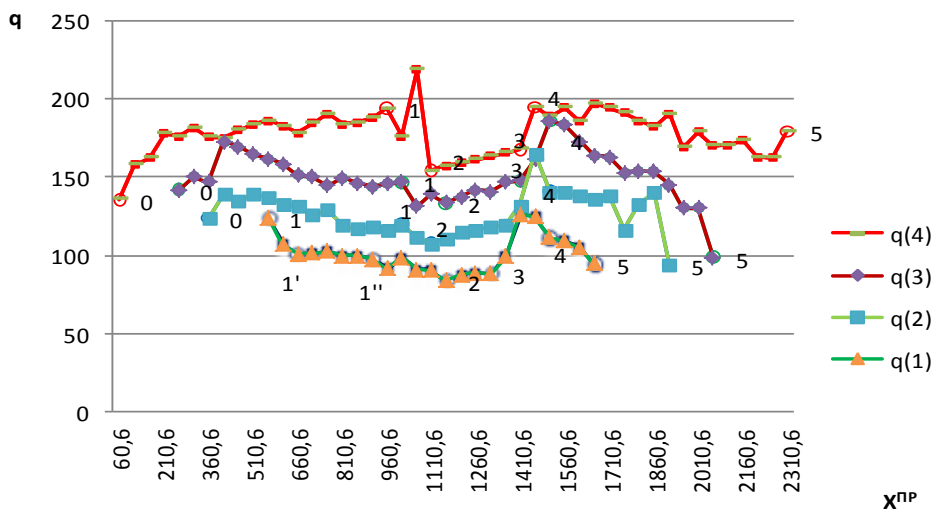


Рис. 7.5. Графіки зміни загального кінематичного ресурсу ППР позиційної системи ЧПУ для чотирьох висот ($h_1 - h_4$)

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. 7.6 – 7.8).

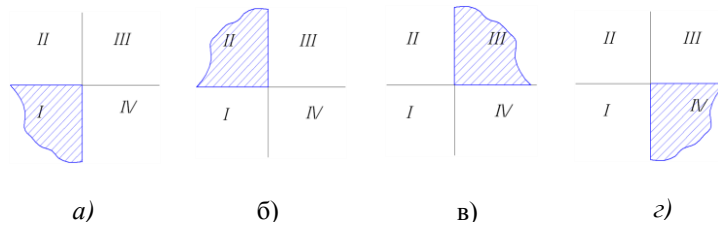


Рис. 7.6. Класифікація відкритих ЗО РП: а) відкрита у I квадранті; б) відкрита у II квадранті; в) відкрита у III квадранті; з) відкрита у IV квадранті

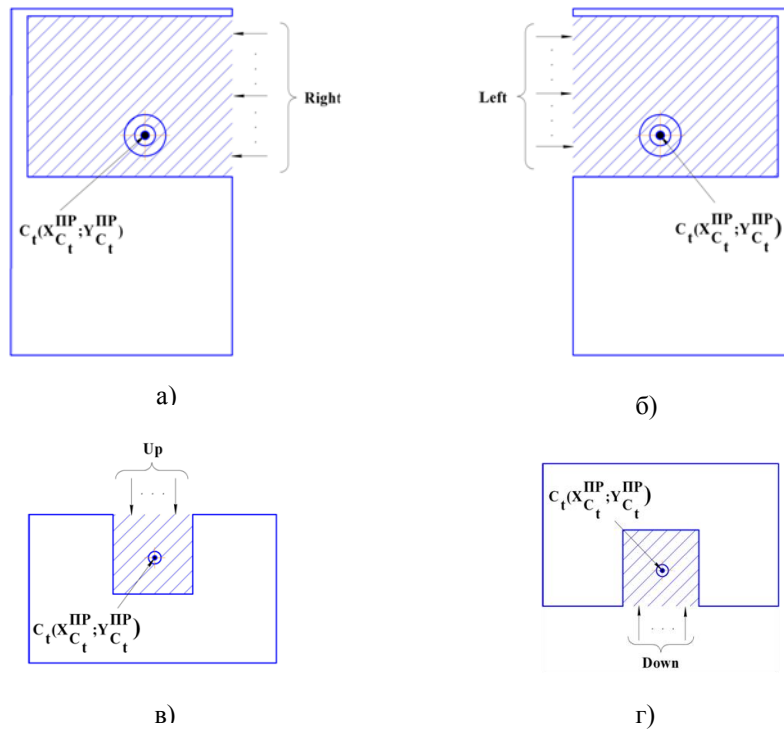


Рис. 7.7. Класифікація закритих ЗО РП: а) закрита з усіх сторін, крім правої; б) закрита з усіх сторін, крім лівої; в) закрита з усіх сторін, крім верху; з) закрита з усіх сторін, крім низу

З врахуванням викладеного вище розроблено метод визначення опорних точок $\{A_t^{PP} | t = \overline{1, T}\}$ позиціонування СхППР, 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 $\{c_t^{PP} | t = \overline{1, T}\} = \{(x_{C_t}^{PP}; y_{C_t}^{PP})\}$, мають спільний перетин по осі X^{PP} (див. рис. 7.10);
- з частковим перетином – коли спільний перетин мають не всі досліджувані множини (див. рис. 7.11);
- без перетину – коли множини кінцевих точок позиціонування Сх для $\forall t = \overline{1, T}$ лежать у різних частинах РЗ РП і не мають спільних перетинів (див. рис. 7.12).

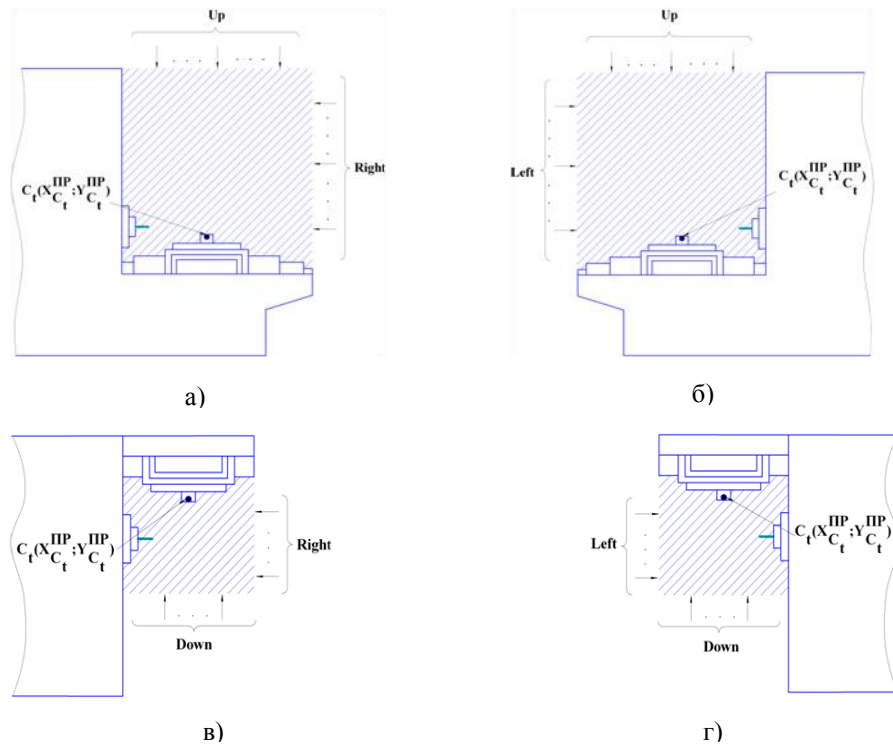


Рис. 7.8. Класифікація напіввідкритих 3О РП: а) напіввідкрита справа і зверху; б) напіввідкрита зліва і зверху; в) напіввідкрита справа і знизу; г) напіввідкрита зліва і знизу

Отже, **A_t-метод** – це набір (множина) методик визначення опорних точок позиціонування СхППР, 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. 7.9). Загальним для визначення опорних точок за даним методом є визначення множин як таких опорних точок та форми взаємного розташування множин кінцевих опорних точок $\{C_t^{PP}\}$ в СК ПР.

На IV рівні деталізації за характером пошуку опорних точок виділено одно- (**OC**) та різнокоординатні (**DC**) опорні точки.

Пошук однокоординатних опорних точок 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 – це точки, в яких спільна тільки початкова точка, а координати кінцевих точок різні.

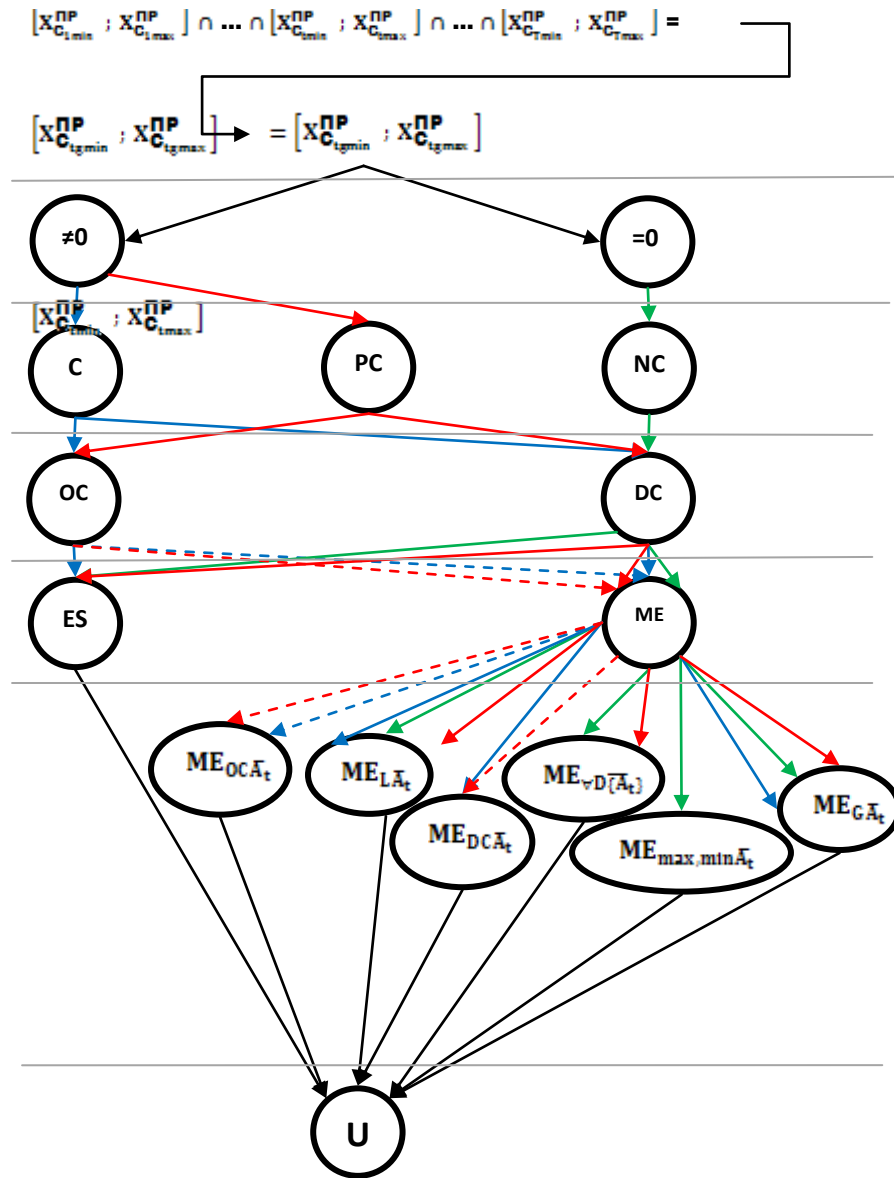
Далі на V рівні в залежності від форми перетину $[x_{C_{tqmin}}^{PP}; x_{C_{tqmax}}^{PP}]$ використовуються два методи пошуку опорних точок – це повний перебір (**ES**) та математичне очікування (**ME**). Подана конкретизація використання **ES** та **ME** відтворює VI рівень **A_t-методу**.

Метод повного перебору **ES** використовується для всіх форм перетинів і полягає у переборі кожної початкової точки A_i^{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.

Рівні деталізації РМТ	I	$\{C_{t_{\min}}^{PP}; X_{C_{t_{\max}}}^{PP}\}$	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	-OCA _t – one coordinate points -DCA _t – different coordinate points -LA _t – local points -GA _t – global point -vD{A _t } – points double {A _t } -max, min 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 та найближчих точок множин $\{C_t^{PP}\}$
	VII	U – united	Об'єднання результатів та вибір оптимального за $\Delta a \rightarrow \min$

a)

Рис. 7.9. Ієрархічна граф-схема синтезу методик визначення опорних точок СхППР
за A_t –методом: а –рівні деталізації; б – графічна ілюстрація рівнів



б)

Рис. 7.9. Ієрархічна граф-схема синтезу методик визначення опорних точок СхППР за A_t –методом: а –рівні деталізації; б – графічна ілюстрація рівнів

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_t -методу.

Метод повного перебору ES використовується для всіх форм перетинів і полягає у переборі кожної початкової точки A_{ti}^{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:

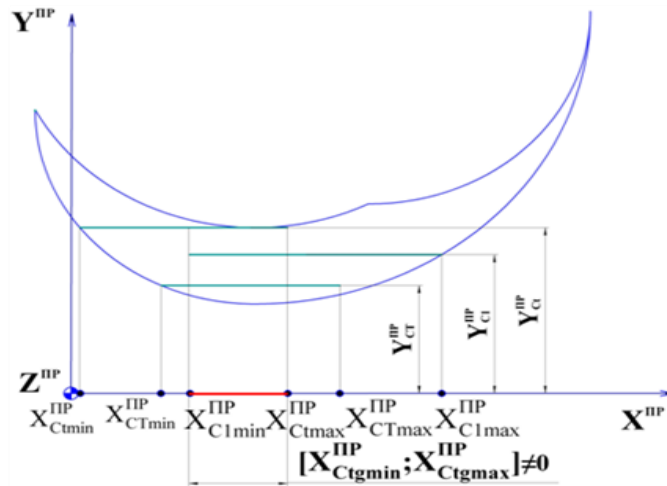


Рис. 7.10. Схема, що ілюструє взаємне розташування множин координат точок $\{C_t^{PP} / t = \overline{1, T}\}$ з непустим перетином $[X_{Ctmin}^{PP}; X_{Ctmax}^{PP}] \neq 0$

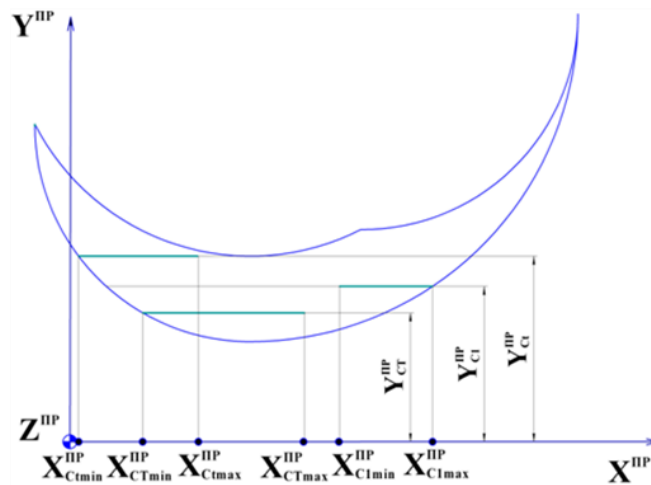


Рис. 7.11. Схема, що ілюструє взаємне розташування множин координат точок $\{C_t^{PP} / t = \overline{1, T}\}$ з частковим перетином $[X_{Ctmin}^{PP}; X_{Ctmax}^{PP}] \neq 0$

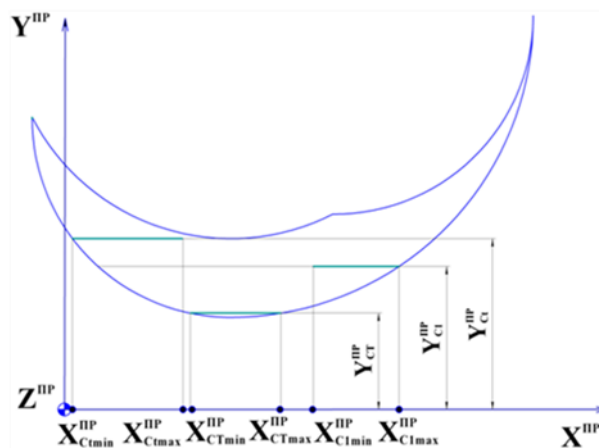


Рис. 7.12. Схема, що ілюструє взаємне розташування множин координат точок $\{C_t^{PP} / t = \overline{1, T}\}$ без перетину (з пустим перетином) $[X_{Ctmin}^{PP}; X_{Ctmax}^{PP}] = 0$

- 1) $ME_{OC\bar{A}_t}$ – використовується при повному та частковому перетинах і однокоординатному характеру 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 пара опорних точок позиціонування СхППР, які є спільними для всіх РП;
- 2) $ME_{DC\bar{A}_t}$ – використовується при повному та частковому 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 $\bar{A}^{PP}(X_A^{PP}; Y_A^{PP})$ 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 за критерієм мінімуму кінематичного ресурсу;
- 4) $ME_{G\bar{A}_t}$ – 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) $ME_{VD(\bar{A}_t)}$ – 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_t-методу** є об'єднання результатів, знайдених різними методами, і вибір опорних точок позиціонування СхППР з найменшим кінематичним ресурсом (реалізація U-методик).

Більш детально **A_t-метод** представлено на рис. 7.9. 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 математичного очікування, 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, детально розглядаються на практичному занятті № 7.