

Ю.В. Івахненко, магістр.  
В.А. Кирилович, к.т.н., доц.  
І.В. Сачук, аспір.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ СХВАТА АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНИХ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ЗА МІНІМУМОМ ТОЧОК ПОЗИЦІОНУВАННЯ**

У відповідності з пропонованою методикою автоматизованого вибору кінематичних структур промислових роботів (ПР) агрегатно-модульного (АМ) типу для конкретного РТК серед інших вирішується задача можливості побудови оптимального планування технологічного обладнання (ТО) на базі кінематичної структури АМ ПР, що розглядається. На основі заданих одиниць ТО та множини кінематичних структур АМ ПР обирається компоновочний варіант проєктованого РТК, який реалізує даний варіант технологічного процесу за вимогою мінімуму кількості точок позиціонування схвата. Розроблені алгоритм та відповідне програмне забезпечення автоматизованого планування ТО за мінімальною кількістю точок позиціонування при лінійній та полярній компоновках РТК, формування траєкторії переміщення схвата АМ ПР та визначення розрахункового значення тривалості часу циклу роботи РТК.

Однією із задач, що вирішуються при проєктуванні РТК, є задача визначення траєкторії переміщення схватів промислових роботів (ПР), в тому числі агрегатно-модульних (АМ) [2]. Вирішення цієї задачі базується на визначенні розміщення технологічного обладнання (ТО) в РТК.

Пропонується задачу розміщення обладнання в РТК вирішувати в чотири етапи (рис. 1).

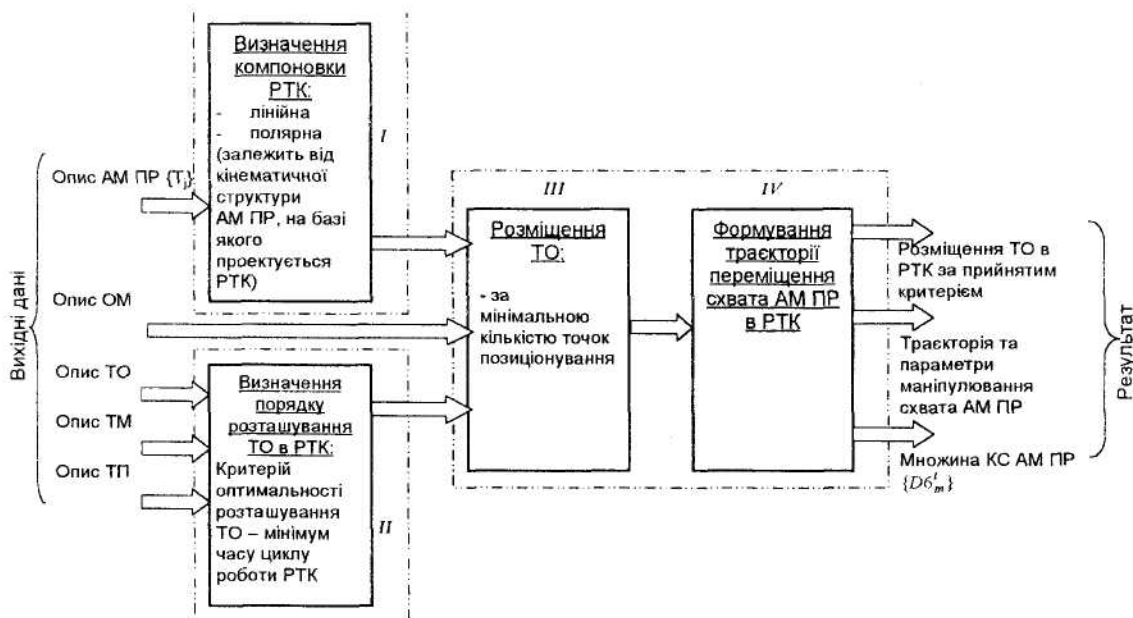


Рис. 1. Загальна схема вирішення задачі планування ТО при проєктуванні РТК

Відповідно до цього на першому етапі визначається схема компоновки РТК, яка може бути лінійною або полярною, в залежності від кінематичної структури (КС) АМ ПР з вхідної множини  $\{T_j^t\}$ , на базі якої проєктується РТК. При цьому ті КС із вхідної множини  $\{T_j^t\}$ , на множині яких вирішується задача розміщення обладнання в РТК та формуються відповідна траєкторія переміщення схвата, утворюють результуючу множини  $\{D6_m^t\}$ .

На другому етапі повним перебором всіх можливих варіантів визначається множина послідовностей розташування ТО в РТК, тобто формується  $N!$  матриць розташування ТО

$[R]_r, r = \overline{1, N!}$ , де  $N$  – кількість ТО в РТК. Змістовно матриця розташування ТО  $[R]$  представляє собою матрицю розміром  $N \times N$ , в якій рядки відтворюють місця розташування ТО  $(\mu, \nu)$ , а стовпці – назви (моделі) ТО  $(i, j)$ . Елементи матриці визначаються за правилами:

$$r_{i\mu} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i\text{-те ТО не знаходиться на } \mu\text{-ій позиції варіанту розташування ТО, що} \\ & \text{розглядається;} \\ 1, & \text{якщо } i\text{-те ТО знаходиться на } \mu\text{-ій позиції;} \end{cases}$$

$$r_{j\nu} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } j\text{-те ТО не знаходиться на } \nu\text{-ій позиції варіанту розташування ТО, що} \\ & \text{розглядається;} \\ 1, & \text{якщо } j\text{-те ТО знаходиться на } \nu\text{-ій позиції.} \end{cases}$$

При цьому

$$\sum_{i=1}^N r_{i\mu} = 1; \sum_{\mu=1}^N r_{i\mu} = 1; \sum_{j=1}^N r_{j\nu} = 1; \sum_{\nu=1}^N r_{j\nu} = 1; i \neq j; \mu \neq \nu.$$

На третьому етапі вирішується задача розміщення ТО за обраним критерієм оптимальності – мінімальною кількістю точок позиціонування схвата. Задача вирішується для відповідної схеми компоновки РТК та для всіх варіантів розташування ТО, що визначені відповідно на першому та другому етапах розв'язку даної задачі.

На четвертому етапі планування ТО вирішується задача формування траєкторії переміщення схвата АМ ПР. Траєкторія формується для всіх схем розміщення ТО, отриманих на виході попереднього етапу.

Для оцінки отриманих результатів для всіх варіантів розташування ТО та КС АМ ПР мпожини  $\{T_j^t\}$  обраховується складова часу циклу роботи РТК, що визначається тривалістю глобальних і регіональних переміщень схвата АМ ПР та основним часом роботи кожного ТО [3]. Ця величина використовується як технічний критерій вибору варіанта планування ТО в РТК. Планування ТО з найменшим значенням вказаної складової обирається як найкраще для розглядуваної  $j$ -ої КС АМ ПР.

Особливістю даної схеми вирішення задачі є те, що розв'язок другого етапу не залежить від кінематичної структури АМ ПР, на базі якої проектується РТК. Вихідними даними для визначення множини послідовності розташування обладнання в РТК є опис ТО, що входить до його складу, та технологічний маршрут (ТМ), що визначає послідовність обслуговування схватом АМ ПР робочих позицій, побудований на базі заданого ТП. Наступні два етапи (третій та четвертий) вирішуються в циклі для кожної кінематичної структури АМ ПР з вихідної множини  $\{T_j^t\}$ , що розглядалась на першому етапі, та для незмінної множини матриць розташування ТО в РТК  $\{[R]_r\}$ , що отримана в результаті розв'язку другого етапу. Після визначення розміщення ТО в РТК для всіх кінематичних структур з результуючої множини  $\{D\delta_m^t\}$  формується ранжований ряд відповідних значень визначеної складової розрахункового часу циклу роботи РТК, що побудований за критерієм мінімуму кількості точок позиціонування схвата АМ ПР.

Для кожного  $j$ -го ТО при його обслуговуванні виділені характерні точки позиціонування схвата АМ ПР: т.  $A_j$  – точка підходу схвата АМ ПР до  $j$ -го ТО; т.  $D_j$  – точка робочого простору  $j$ -го ТО перед установчим рухом схвата АМ ПР.

При плануванні РТК з траєкторією переміщення схвата АМ ПР за мінімумом точок позиціонування обладнання розташовується таким чином, щоб відстань між точками  $A_i$  і  $D_1$  та  $A_i$  і  $A_{i+1}$  була мінімальна за умови, що т.  $D_i$  кожної одиниці ТО належать загальній прямій  $D$  розташування ТО при лінійній компоновці або загальній дузі  $\bar{D}$  при полярній компоновці (рис. 2), а т.  $A_i$  належить прямій  $A$  (або дузі  $\bar{A}$ ), що паралельна (концентрична) прямій (дузі), якій належать точки  $D_i$ . Кожна точка має свої координати в системі координат АМ ПР. Так т.  $A_i$  має координати  $(x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai})$ , а т.  $D_i$  –  $(x_{Di}, y_{Di}, z_{Di})$ .

З урахуванням сказаного для реалізації планування РТК за мінімальною кількістю точок позиціонування необхідне виконання умови:

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ A_j \in (A \nabla \bar{A}), j = \overline{1, N} \rightarrow \max; \right. \\ & \left. \left\{ D_j \in (D \nabla \bar{D}), j = \overline{1, N} \rightarrow \max. \right\} \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

Для лінійної компоновки РТК умову (1) можна переписати у наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} & \left. \left. \begin{aligned} z_{A_1} = z_{A_2} = \dots = z_{A_j} = z_{A_N} \\ y_{A_1} = y_{A_2} = \dots = y_{A_j} = y_{A_N} \end{aligned} \right\} \right. \\ & \left. \left. \begin{aligned} z_{D_1} = z_{D_2} = \dots = z_{D_j} = z_{D_N} \\ y_{D_1} = y_{D_2} = \dots = y_{D_j} = y_{D_N} \end{aligned} \right\} \right\}, \end{aligned}$$

або

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ y_{A_j} = y_{A_j}; z_{A_i} = z_{A_j} \mid (i, j) = \overline{1, N}; i \neq j; \right. \\ & \left. \left\{ y_{D_i} = y_{D_j}; z_{D_i} = z_{D_j} \mid (i, j) = \overline{1, N}; i \neq j; \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \{x_{A_j}, y_{A_j}, z_{A_j} \mid j = \overline{1, N}\}, \{x_{A_i}, y_{A_i}, z_{A_i} \mid i = \overline{1, N}\} \right) \in A; \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \{x_{D_j}, y_{D_j}, z_{D_j} \mid j = \overline{1, N}\}, \{x_{D_i}, y_{D_i}, z_{D_i} \mid i = \overline{1, N}\} \right) \in D, \right. \right. \end{aligned}$$

де  $\{x_{A_j}, y_{A_j}, z_{A_j}\}$  ( $\{x_{A_i}, y_{A_i}, z_{A_i}\}$ ) – координати т.  $A_j$  ( $A_i$ ) кожної  $j$ -ої ( $i$ -ої) одиниці ТО;

$\{x_{D_j}, y_{D_j}, z_{D_j}\}$  ( $\{x_{D_i}, y_{D_i}, z_{D_i}\}$ ) – координати т.  $D_j$  ( $D_i$ ) кожної  $j$ -ої ( $i$ -ої) одиниці ТО;

$A$  – пряма, на якій розташовуються робочі точки ТО;

$D$  – пряма, на якій лежить траєкторія переміщення схвата АМ ПР між обладнанням.

Для полярної компоновки умова (1) записується наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ r_{A_j} = r_{A_j}; y_{A_i} = y_{A_j} \mid (i, j) = \overline{1, N}; i \neq j; \right. \\ & \left. \left\{ r_{D_i} = r_{D_j}; y_{D_i} = y_{D_j} \mid (i, j) = \overline{1, N}; i \neq j; \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \{r_{A_j}, \alpha_{A_j}, y_{A_j} \mid j = \overline{1, N}\}, \{r_{A_i}, \alpha_{A_i}, y_{A_i} \mid i = \overline{1, N}\} \right) \in \bar{A}; \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \{r_{D_j}, \alpha_{D_j}, y_{D_j} \mid j = \overline{1, N}\}, \{r_{D_i}, \alpha_{D_i}, y_{D_i} \mid i = \overline{1, N}\} \right) \in \bar{B}; \right. \right. \end{aligned}$$

де  $\{r_{A_j}, \alpha_{A_j}, y_{A_j}\}$ ,  $\{r_{A_i}, \alpha_{A_i}, y_{A_i}\}$  – координати т.  $A_j$  ( $A_i$ ) кожної  $j$ -ої ( $i$ -ої) одиниці ТО;

$\{r_{D_j}, \alpha_{D_j}, y_{D_j}\}$ ,  $\{r_{D_i}, \alpha_{D_i}, y_{D_i}\}$  – координати т.  $D_j$  ( $D_i$ ) кожної  $j$ -ої ( $i$ -ої) одиниці ТО;

$\bar{D}$  – дуга, на якій розташовуються робочі точка ТО;

$\bar{A}$  – дуга на якій лежать точки траєкторії переміщення схвата АМ ПР в робочих просторах ТО (точки завантаження ТО).

Мінімальна відстань від початку координат АМ ПР до прямої  $A$  (дуги  $\bar{A}$ ), вздовж якої переміщується схват АМ ПР між одиницями ТО, визначається довжиною руки АМ ПР у втягнутому положенні. Відстань від цієї прямої (дуги) до паралельної їй прямої  $D$  (концентричної дуги  $\bar{D}$ ), на якій розташовуються точки  $D_i$  завантаження  $i$ -го ТО, визначається найбільшим значенням  $a_{\max}$  “глибини” розташування цих точок серед всіх одиниць ТО. До цього значення додається величина  $\Delta^*$ , що забезпечує безперешкодне проходження схвата АМ ПР вздовж  $i$ -го ТО. Це мінімальна відстань між  $i$ -им ТО та траєкторією переміщення полюса схвата АМ ПР з врахуванням габаритних розмірів останнього в напрямку регіональних переміщень  $A_j D_j$ . Відстані між суміжними одиницями обладнання виконуються мінімально припустимими  $[\Delta]_{j,j+1}$  з огляду зручності обслуговування і виключення зіткнень схвата з конструктивними елементами РТК.

У відповідності з пропонованою методикою [5, 6] автоматизованого вибору кінематичних структур АМ ПР для РТК при відомих характеристиках ТО та множини кінематичних структур АМ ПР [1] розроблене відповідне алгоритмічне та програмно-математичне забезпечення автоматизованого планування ТО за даним критерієм при лінійній та полярній компоновках РТК з формуванням траєкторії переміщення схвата ПР.

Вихідною інформацією для вирішення задачі планування РТК є вимоги ТП, технічні та конструктивні параметри АМ ПР, ТО та характеристики об’єкту маніпулювання (ОМ) (див рис.1).

Формування вихідної інформації для вирішення задачі планування РТК полягає в попередній обробці даних, що приводяться в технічній документації ТО, та представлення їх у

пропонованій формі запису. Для реалізації процесу планування РТК створюється загальна база даних (БД), що містить в собі БД ТП, БД ТО, БД ОМ, БД АМ ПР.

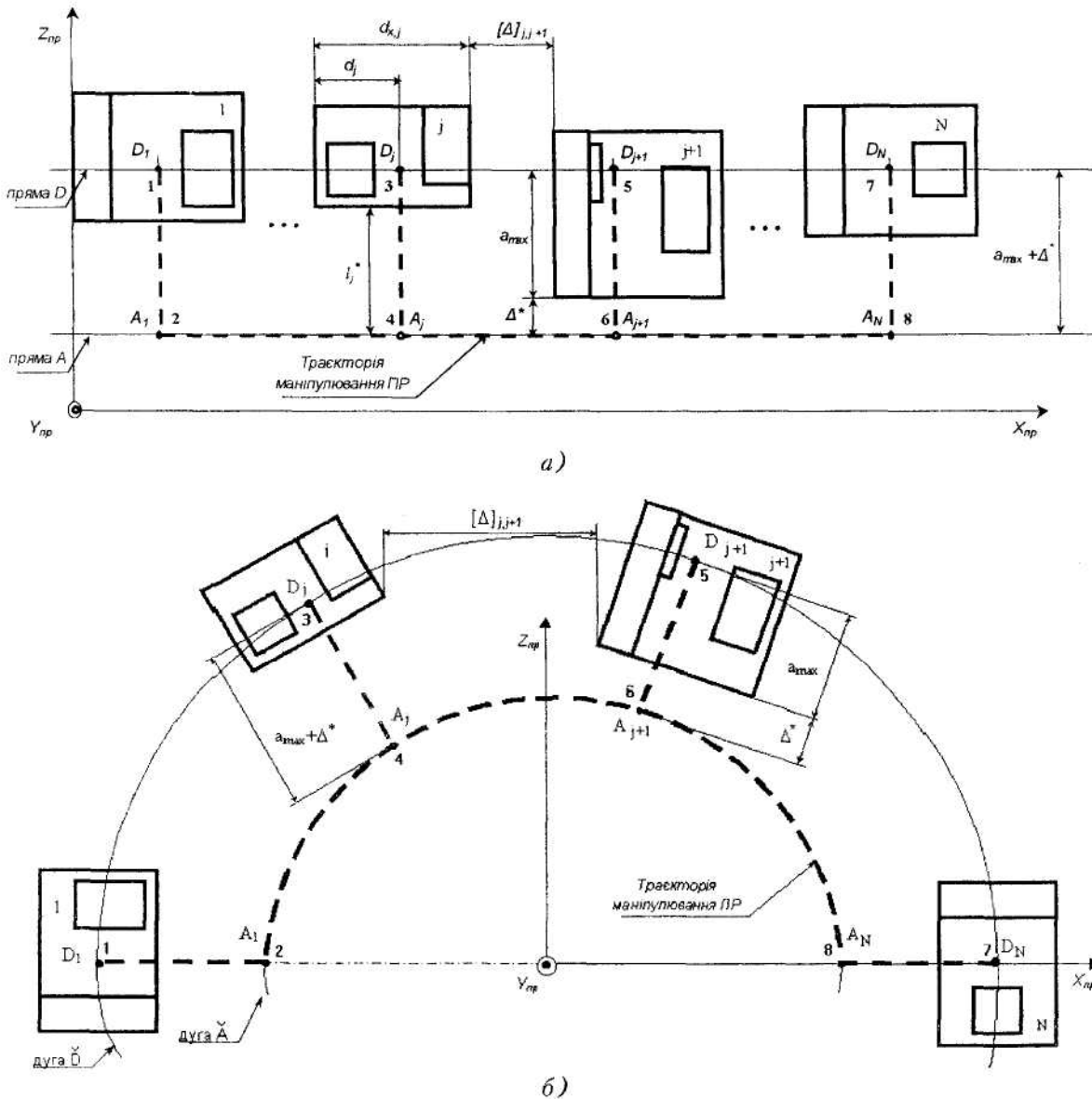


Рис. 2. Приклад планування РТК за мінімальною кількістю точок позиціонування:  
 а) лінійна компоновка;  
 б) полярна компоновка

Таким чином, основою для вирішення задачі розміщення обладнання в РТК є: множина формалізовано описаних конструктивно-доцільних кінематичних структур АМ ПР, що визначена за результатами виконання першого етапу вибору АМ ПР [4, 7]; множина одиниць ТО, що використовуються у відповідному ТП; опис ОМ; опис ТП.

Приклади таблиць баз даних, що описують параметри ТО, АМ ПР, ОМ та ТП, представлені відповідно на рис. 3 – 6.

№	Агрегатно-модельні ПР	Технологічне обладнання	Об'єкт маніпулювання	Технологічний маршрут														
1	3834-1480	1710	1210	660	0	520	830	1490	1	1	1	1	0	0	30	20	1B340F30	0
2	3950-1703	1950	1080	900	0	905	720	1650	1	1	1	1	0	0	30	20	16K20F30	0

Рис. 3. Таблиця параметрів технологічного обладнання

№	Просторова-інвентарна структура	Склад ГПС
1	1935УВ(180)4 V 10У(150)1 V 1374Z(850)1 V 30Z(45)1 V 10Z(0)5JKz	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
2	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 163X(45)2 V 96Z(20)1JKz	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
3	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 163X(45)2JKx	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
4	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 163Z(45)2 V 98X(20)1JKx	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
5	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 163Z(45)2 V 98У(20)1JKy	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
6	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 163Z(45)2JKz	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
7	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 212X(0)5 V 98У(20)1JKy	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
8	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 212X(0)5 V 98Z(20)1JKz	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
9	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 212X(0)5JKx	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
10	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 212Z(0)5 V 98X(20)1JKx	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
11	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 212Z(0)5 V 98У(20)1JKy	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
12	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1 V 212Z(0)5JKz	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4
13	1230X(50)3 V 102УВ(180)4 V 138У(30)1JKy	МП-5-50 МУ-13 МЛ-4

Рис. 4. Формалізований опис АМ ПР (приклад)

парт.к.	у	к	кв.	г	с	кв.	кг	шт.	дл.	кв.	дл.	шт.	
1	200	300	100	20	40	50	50	200	200	100	600	700	500
2	200	30	100	20	50	50	50	150	200	150	450	600	400

Рис. 5. Таблиця параметрів ОМ

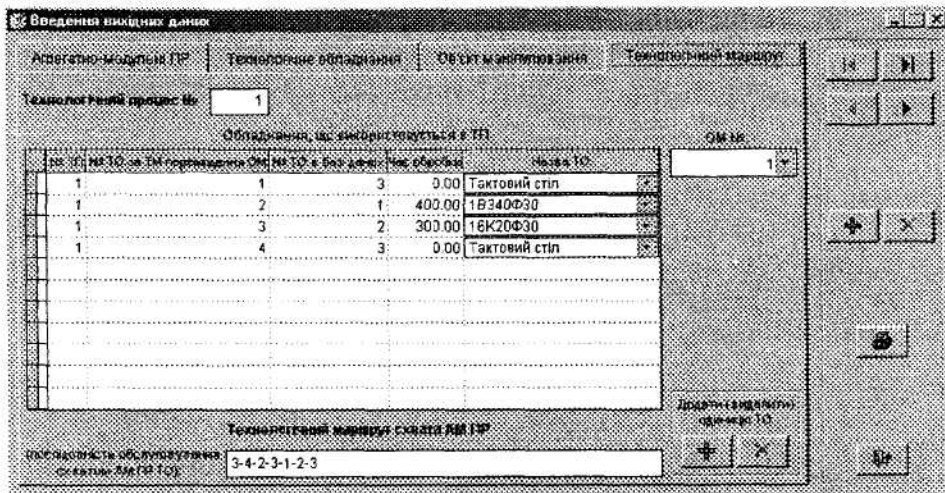
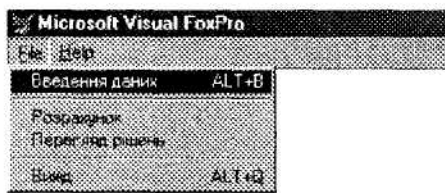


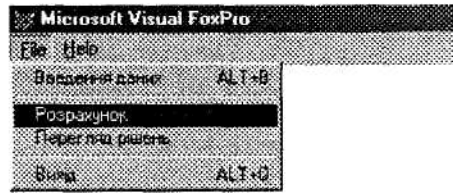
Рис. 6. Технологічний маршрут для відповідного ТП

- До складу розробленого програмного забезпечення при вирішенні даної задачі входять:
- бази даних, що містять вхідну та вихідну інформацію у вигляді таблиць;
  - екранні форми, що призначені для відображення та редагування вихідних даних та перегляду результатів роботи алгоритмів розміщення обладнання;
  - звіти перегляду результатів роботи програми в зручному вигляді та їх друкування;
  - панель головного меню;
  - файли, що містять програмні коди ініціалізації програмного середовища та обробки інформації.

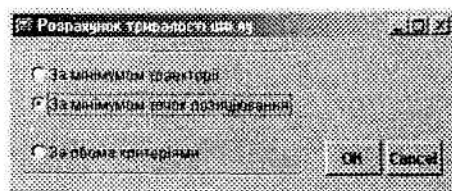
На початку роботи з програмою користувачем вибирається відповідний пункт головного меню "Введення даних" (рис. 7, а), де можуть бути введені нові чи відкореговані наявні вихідні дані. Для реалізації алгоритму планування обладнання за відповідним критерієм, що розглядається, вибирається пункт головного меню "Розрахунок" (рис. 7, б, в). Результатами роботи програми є множина варіантів розміщення обладнання за відповідним критерієм з розрахованим часом циклу, переліком обладнання, що використовується в даному ТП, координатами опорних точок траєкторії переміщення схвата для кожної одиниці обладнання (т. А -  $x_A, y_A, z_A$ ; т. D -  $x_D, y_D, z_D$ ). Для перегляду форми, що відображає вихідну інформацію, вибирається пункт головного меню "Перегляд рішень" (рис. 7, г). Загальний вигляд форми, що відображає вихідну інформацію, наведено на рис. 8.



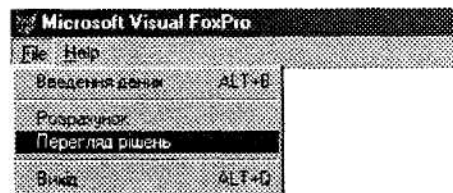
а)



б)

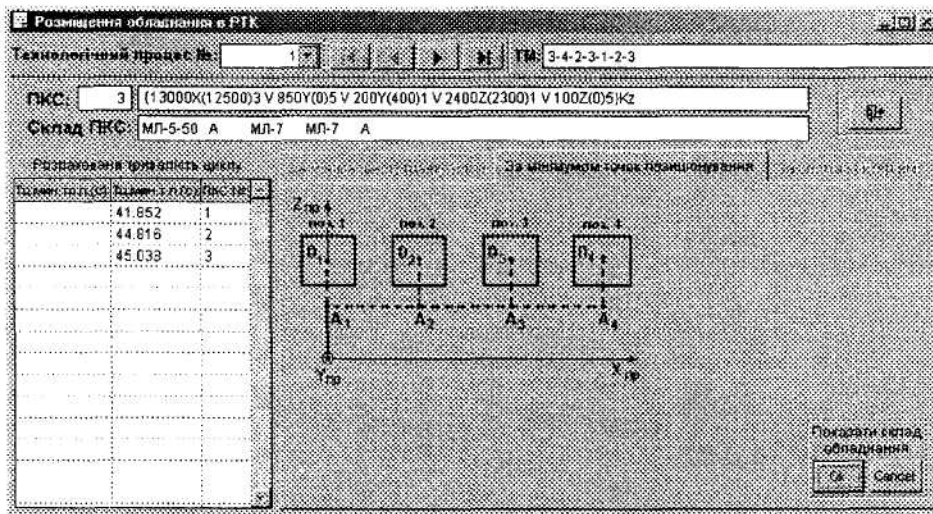


в)

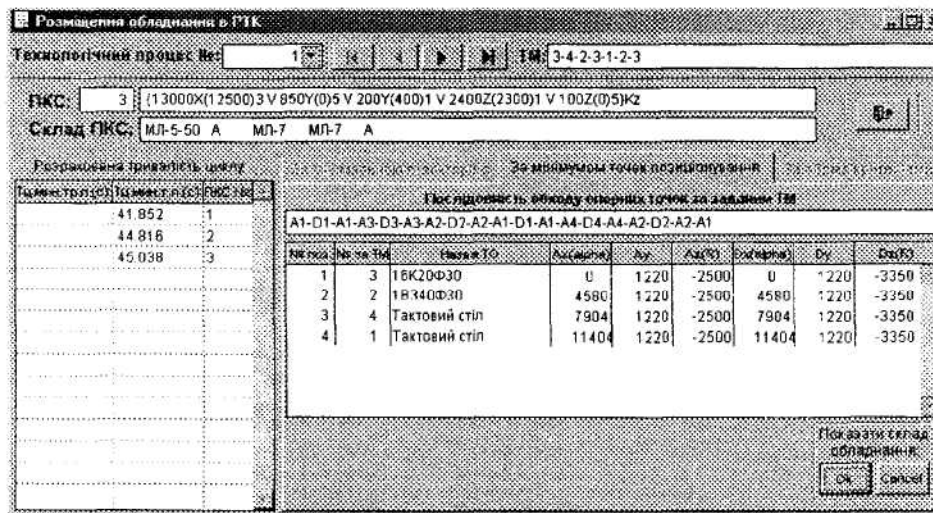


г)

Рис. 7. Пункти головного меню програми



а)



б)

Рис. 8. Приклади форми розміщення обладнання в РТК:  
 а) порядок розташування ТО;  
 б) перелік обладнання з координатами опорних точок траєкторії

В програмі передбачена можливість перегляду результатів її роботи, а також редагування відповідних баз даних. Для цього розроблено багатосторінкову екранну форму, що викликається вибором відповідного пункту головного меню "Введення вихідних даних".

Загальний вигляд цієї багатосторінкової екранної форми наведений на рис. 36. Форма містить багатосторінкову частину, що відображає таблиці параметрів ТО, конструктивно-доцільних просторово-кінематичних структур АМ ПР, опис ТП та ОМ. Користувач за допомогою елементів управління має можливість вводити та редагувати вихідну інформацію, а також формувати звіти, які створюються за даними відповідних таблиць.

Розглянута задача, що реалізована в програмному середовищі Visual Fox Pro 6.0, дає можливість автоматизовано вирішувати задачу розміщення обладнання в РТК за відповідним критерієм як для агрегатно-модульних промислових роботів, так і для ПР з постійною кінематичною структурою. Реалізоване програмне забезпечення передбачає його використання автономно та як складову інтегрованого програмного комплексу автоматизованого вибору АМ ПР, що розробляється в ЖІТІ.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Богдановський М.В., Кирилович В.А., Сачук І.В. Автоматизоване формування конструктивно-можливих кінематичних структур агрегатно-модульних промислових роботів // Сучасні технології в аерокосмічному комплексі / Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 40-річчю польоту людини в космос, 4-6 вересня 2001 р. – Житомир. – С. 10-14.
2. Бурдаков С. Ф., Дьяченко В. А., Тимофеев А. Н. Проектирование манипуляторов ПР и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
3. Кирилович В.А. Технологія автоматизованого виробництва. Випуск 1. Практичні заняття. Навчально-методичний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 156 с.
4. Кирилович В.А., Ковальчук П.М. Формалізація просторово-кінематичних структур промислових роботів // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Житомир. – 1994. – № 1. – С. 40-46.
5. Кирилович В., Сачук І. Методика автоматизованого вибору агрегатно-модульних промислових роботів для механоскладання // Technologia i automatyzacja montazu. – Rzeszow-Bystre, Poland. – 2001. – № 2. – С. 54-57.
6. Сачук І.В. Стратегія та задачі автоматизованого вибору агрегатно-модульних промислових роботів для механоскладання // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – 2001. – № 17 – С. 109-112.
7. Kirilowicz W., Saczuk I. Sformalizowany opis mechaniczno-montazowych modułow funkcjonalnych robotow przemyslowych// Technologia I automatizacja montazu. – Preszow. Poland. – 2001 – №1. – S. 19 – 22.

ІВАХНЕНКОВ Юрій Володимирович – магістрант кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

E-mail: at5\_iuv@usr.ziet.zt.ua;

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

E-mail: kiril\_v@ziet.zhitomir.ua;

САЧУК Ілона Володимирівна – магістр, аспірантка кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

E-mail: aikt\_siv@usr.ziet.zhitomir.ua

Подано 23.08.2002