

Згідно представленого графіка знос ЕІ збільшується зі збільшенням сили струму та статичного тиску робочої рідини.

**Висновки.** За умов реалізації технологічної схеми формоутворення РОД, коли робоча рідина прокачується в напрямку від периферії ЕІ до його центра, а надалі відпрацьована рідина разом з продуктами ерозії видаляється через технологічний отвір в ЕІ, запропоновано ЕІ, який відрізняється тим, що по зовнішньому робочому контурі передбачається робочий пояс в межах 3-5 мм, а від нього в напрямку отвору передбачається нахил робочої торцевої поверхні в межах 3-5°.

Запропоновано спосіб РОД одержання наскрізних отворів в заготовці, коли в заготовці попередньо передбачається технологічний отвір, а ЕІ відрізняється тим, що робоча поверхня електрода-інструмента сформована під кутом 45-60° від отвору до периметру отриманого контуру деталі.

## Список літератури

1. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов, 2005. №1. – С. 8 – 17.
2. Потапов В. А. Опытэксплуатациилазерных установок для резки на заводах США // Сварщик. - 2000. № 6. - С. 32-36.
3. Быховский Д. Г. Плазменнаярезка // Режущая дуга и энергетическоеоборудование. Л., «Машиностроение», 1972. – С. 168.
4. Носуленко В.И. Электрическая дуга в поперечномпотокесреды – диэлектрикакакисточник тепла для новыхтехнологий /В.И. Носуленко// Электроннаяобработкаматериалов, – 2005. №2. – С. 26-33.

**Viktor Nosulenko, Vitaly Yuriev**

*KirovogradNationalTechnicalUniversity*

**Dimensional processing electric arc holes of complex contour**

The article is devoted to the development and improvement in dimensional processing electric arc holes of challenging when pumping circuit through the electrode-tool and the workpiece.

In work the analysis of the known methods of processing of complex contour holes and their shortcomings. Substantiated the technological scheme of forming holes of complex contour method dimensional processing electric arc. Were developed the structure of the electrodes and their relative linear wear

A method dimensional processing electric arc for processing sheet metal parts of complex contour and electrode-tool, ensuring high quality treatment.

**electricarc, complexcontours, workpiece, forming, schematic**

Одержано 28.04.15

**УДК 621.865.8**

**І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет, poprugapavel@gmail.com*

## Автоматизація структурного та кількісного аналізу кінематичних схем промислових роботів

© І.І. Павленко, П.В. Попруга, 2015

В статті розглянуто автоматизований структурний та кількісний аналіз кінематичних схем промислових роботів за допомогою створеного програмного модуля в середовищі Delphi. Представлено опис розроблених процедур для проведення запропонованого аналізу. Наведено переваги даного автоматизованого аналізу та програмного модуля.

**промисловий робот, кінематична схема, автоматизований структурний аналіз кінематичних схем, програмний модуль, процедура**

**И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград*

**Автоматизация структурного и количественного анализа кинематических схем промышленных роботов**

В статье рассмотрено автоматизированный структурный и количественный анализ кинематических схем промышленных роботов с помощью созданного программного модуля в среде Delphi. Представлено описание разработанных процедур для проведения предложенного анализа. Наведено преимущества данного автоматизированного анализа и программного модуля

**промышленный робот, кинематическая схема, автоматизированный структурный анализ кинематических схем, программный модуль, процедура**

**Вступ.** Промисловий робот – автоматична машина, стаціонарна чи пересувна, з виконавчим пристроєм у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, і перепрограмовуваного пристрою програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових і управляючих функцій. Створення якісних конструкцій промислових роботів є важливою проблемою, від її вирішення суттєво залежить ефективність впровадження їх у виробництво.

**Мета.** Значна кількість можливих варіантів схем, а відповідно і конструкцій промислових роботів ускладнює вибір доцільного варіанту [1]. Для вирішення даного питання створено спеціальний алгоритм [2], який оснований на аналізі кінематичних схем промислових роботів. Аналізуючи кінематичні схеми можна отримати попередню уяву про рухи робота та його конструкцію. Пропонується автоматизувати створений алгоритм аналізу схем. Для автоматизації алгоритму створено спеціальний програмний модуль в середовищі Delphi, який працює за допомогою розроблених процедур та масивів даних.

**Дослідження.** Загалом створено 5 процедур:

1. Процедура створення списку структурних формул теоретично можливих варіантів.

2. Процедура визначення практично не виконуваних варіантів.

3. Процедура визначення не доцільних варіантів.

4. Процедура визначення малодоцільних варіантів.

5. Процедура визначення доцільних варіантів.

Для роботи процедур створені масиви даних, в яких наведені умови аналізу кінематичних схем. Загалом створено 5 масивів даних:

1. Масив даних типів кінематичних пар.

2. Масив даних напрямків руху між кінематичними парами.

3. Масив даних з умовами не виконуваних кінематичних схем.

4. Масив даних з умовами не доцільних кінематичних схем.

5. Масив даних з умовами доцільних варіантів.

Далі більш детально розглянемо кожен з створених процедур та масивів даних.

*Процедура створення списку структурних формул теоретично можливих варіантів.*

Процедура працює на основі двох масивів даних. Перший – типи кінематичних пар: пряма поступальна (П), «вигнута» поступальна (П'), обертова з співпадаючою

віссю обертання (О) та обертова з не співпадаючу (О') віссю обертання. Другий масив даних – напрям руху відносно попередньої кінематичної пари: співвісний (I), паралельний (II), перпендикулярний, які перетинаються ( $\perp$ ) та перпендикулярні, які не перетинаються ( $\times$ ), тобто схрещуються.

Спочатку процедура визначає кількість теоретично можливих варіантів схем, які складаються із кінематичних пар п'ятого класу, по формулі:

$$m = 4^n \cdot 4^{(n-1)} = 4^{(2n-1)},$$

де  $n$  – кількість ступенів рухомості.

Далі, по запрограмованому шаблону, програма компонує з двох масивів варіанти структурних формул. Шаблон має вигляд:

$$\text{КП}_1\text{-ВП}_1\text{-КП}_2\text{-ВП}_2 \dots \text{ВП}_{n-1}\text{-КП}_n,$$

де КП – кінематична пара;

ВП – напрям руху суміжних кінематичних пар;

$n$  – кількість ступенів рухомості промислового робота.

Також варто зауважити те, що в процесі аналізу вищезгадані масиви записуються не в вигляді раніше перерахованих символів, а в числовому варіанті. Масиви та варіанти їх позначення представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Масиви даних типів кінематичних пар та напрямків руху між ними

	Тип кінематичної пари				Напрямок руху КП			
Дійсне символічне позначення	П	П'	О	О'	I	II	$\perp$	$\times$
Програмне числове позначення	1	2	2	4	6	7	8	9

Для прикладу наведено декілька варіантів формул:

$$\text{П}' \parallel \text{О} \perp \text{П}; \quad 2-7-3-8-1;$$

$$\text{П}' \parallel \text{О}' \parallel \text{О}; \quad 2-7-4-7-3.$$

Всі отримані варіанти компонуються в спеціальний список, після чого переводяться в символічний варіант і виносяться в вікно програми. Кількість варіантів відповідає кількості розрахованій по формулі. Блок-схема побудови структурних формул представлена на рис. 1.

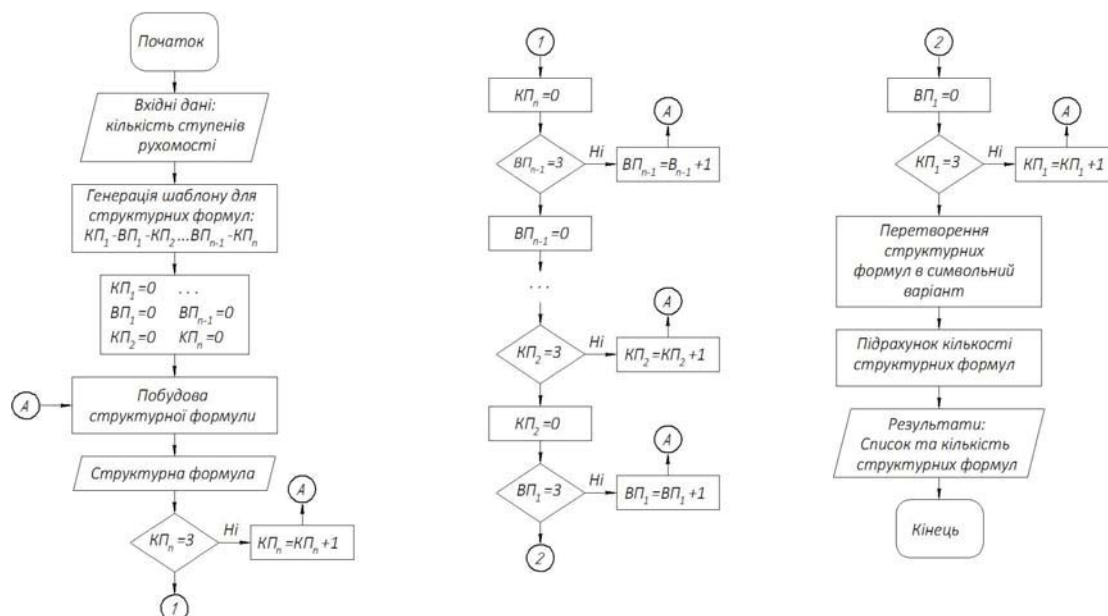


Рисунок 1 – Блок-схема компонування варіантів структурних формул

Таблиця 2 – Масив даних умов не виконуваних варіантів

Дійсне символічне позначення	Умови не виконуваних варіантів					
	П'	О'	П	О	П ×	О ×
Програмне числове позначення	2-6	4-6	1-7	3-7	1-9	3-9

Процедура може працювати в двох режимах. Перший режим аналізує список теоретично можливих варіантів. Знаходить варіанти, в яких присутня хоча б одна з умов масиву даних. Далі видаляє зі списку теоретично можливих варіантів формули, в яких не присутні умови. Тобто, даний режим відображає практично не виконуваних варіанти. Другий режим також аналізує список теоретично можливих варіантів та знаходить в ньому формули, в яких присутні умови масиву. Відмінністю даного режиму є те, що зі списку видаляються варіанти, в яких присутні умови не виконуваних варіантів. Другий режим відображає практично виконуваних варіанти. Для вибору режиму процедури створена спеціальна змінна «і», яка може приймати два значення: -1 – перший режим; 1 – другий режим. Аналогічно в послідовних процедурах визначення не доцільних та малодоцільних варіантів використовується така ж змінна.

*Процедура визначення не доцільних варіантів.*

Процедура працює на основі масиву даних, в якому наведені умови не доцільних варіантів кінематичних схем (табл. 3).

Таблиця 3 – Масив даних умови не доцільних варіантів

Дійсне символічне позначення	Програмне числове позначення	Дійсне символічне позначення	Програмне числове позначення
П   П	1-6-1	П   О'    П	1-6-4-7-1
П   П'	1-6-2	П   О'    П'	1-6-4-7-2
П'    П	2-7-1	П'    О   П	2-7-3-6-1
П'    П'	2-7-2	П'    О   П'	2-7-3-6-2
О   О	3-6-3	П'    О'    П	2-7-4-7-1
О   О'	3-6-4	П'    О'    П'	2-7-4-7-2
П   О   П	1-6-3-6-1	О   П   О	3-6-1-6-3
П   О   П'	1-6-3-6-2	О   П   О'	3-6-1-6-4

Дана процедура також працює в двох режимах. В обох режимах спочатку аналізується список варіантів структурних формул отриманих в попередньому етапі. Знаходить варіанти, в яких присутні умови, що наведені в масиві даних. Далі, при першому режимі, зі списку видаляються варіанти в яких відсутні умови не доцільних варіантів. Тобто, відображає не доцільні варіанти схем. В другому режимі зі списку видаляються варіанти, в яких присутні умови наведені в масиві даних. Другий режим відображає попередньо доцільні варіанти.









*Процедура визначення малодоцільних варіантів.*

Процедура працює на основі лише однієї умови. Цією умовою є аналіз останньої кінематичної пари в формулі. За основу прийнято, що будова робота поділяється на кінематику основи, кінематику руки і кінематику кисті. Виходячи з того, що аналіз проводиться для руки робота, то малодоцільними варіантами будуть ті, в яких останньою ланкою стоїть обертова ланка  $O$ , яка аналогічна до кінематики кисті. Процедура теж працює в двох режимах, які працюють аналогічно до двох попередніх процедур. Тобто, перший режим відображає малодоцільні варіанти, другий – попередньо доцільні варіанти.

*Процедура визначення доцільних варіантів.*

Остання процедура аналізує кінематичні схеми по робочим зонам, які вони утворюють. Багато кінематичних схем мають різну структуру, але утворюють однакову робочу зону. Тому схеми з однаковими робочими зонами можна видалити, залишивши тільки одну, яка б була найбільш доцільна як по рухових якостях, так і по конструктивній реалізації схеми. Для роботи процедури створено спеціальний масив даних з заданими умовами аналізу робочих зон (табл. 4). В масиві наведено групи суміжних кінематичних пар, які утворюють однакову робочу зону. Перший варіант з групи прийнято за типовий її представник.

Таблиця 4 – Масив даних доцільних варіантів

Робочі зони								
Доцільні варіанти	$P \perp P$ $P \perp P'$ $P' \perp P$ $P' \perp P'$ $P' \times P$ $P' \times P'$	$P' \parallel O'$ $O \perp P'$ $O' \parallel P$ $O' \parallel P'$	$P \perp O'$ $P' \perp O'$ $P' \times O'$	$O \perp P$ $O \perp P'$ $O' \perp P$ $O' \perp P'$ $O' \times P$ $O' \times P'$	$O' \parallel O'$	$O \perp O'$	$O' \perp O'$	$O' \times O'$

Процедура працює наступним чином. Аналізується структурна формула кінематичної схеми, а саме поетапно всі суміжні кінематичні пари. Тобто, якщо аналізується схема з трьома ступенями рухомості, то спочатку аналізуються перша та друга кінематична пари, від основи робота, потім друга та третя. Процедура визначає до якої групи відносяться суміжні кінематичні пари. Далі перевіряється чи відповідають ці кінематичні пари типовому представнику даної групи. Якщо ні, то вони замінюються на вказаний представник. Додатковою умовою процедури є те, що заміну суміжних кінематичних пар можна виконувати тільки в тому випадку, якщо не змінюється робоча зона, утворена попередніми суміжними кінематичними парами. Один з прикладів наведено на рис. 2.

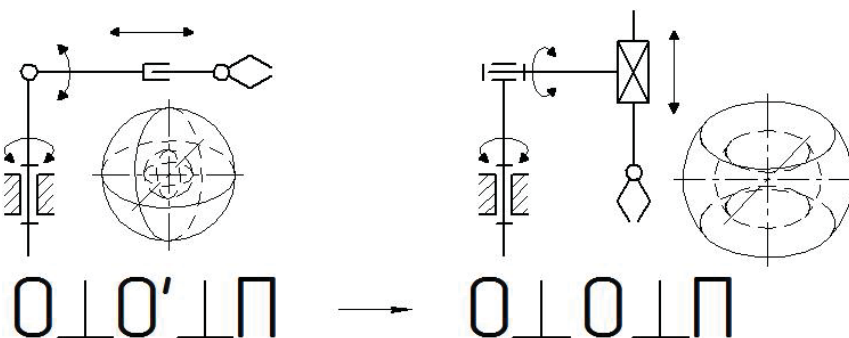


Рисунок 2 – Приклад аналізу робочої зони схеми

Для цього взята схема, яка утворює робочу зону в вигляді сфери з змінним її радіусом (рис.2, а). Дану структурну формулу схеми можна умовно розділити на 2 прості -  $O \perp O'$  та  $O' \perp \Pi$ . Перша з частин структурної формули утворює сферу з постійним радіусом, а друга – коло з змінним радіусом. Якщо використовувати умову спрощення, то другу частину треба було би замінити на  $O \perp \Pi$ , що призвело до зміни першої частини схеми, і тим самим змінило би всю робочу зону (рис. 2, б). Тому в даному випадку даною умовою необхідно знехтувати. Також ще однією важливою умовою є врахування цільове призначення промислового робота.

В підсумку структурний аналіз можна представити в вигляді блок-схеми (рис.3).

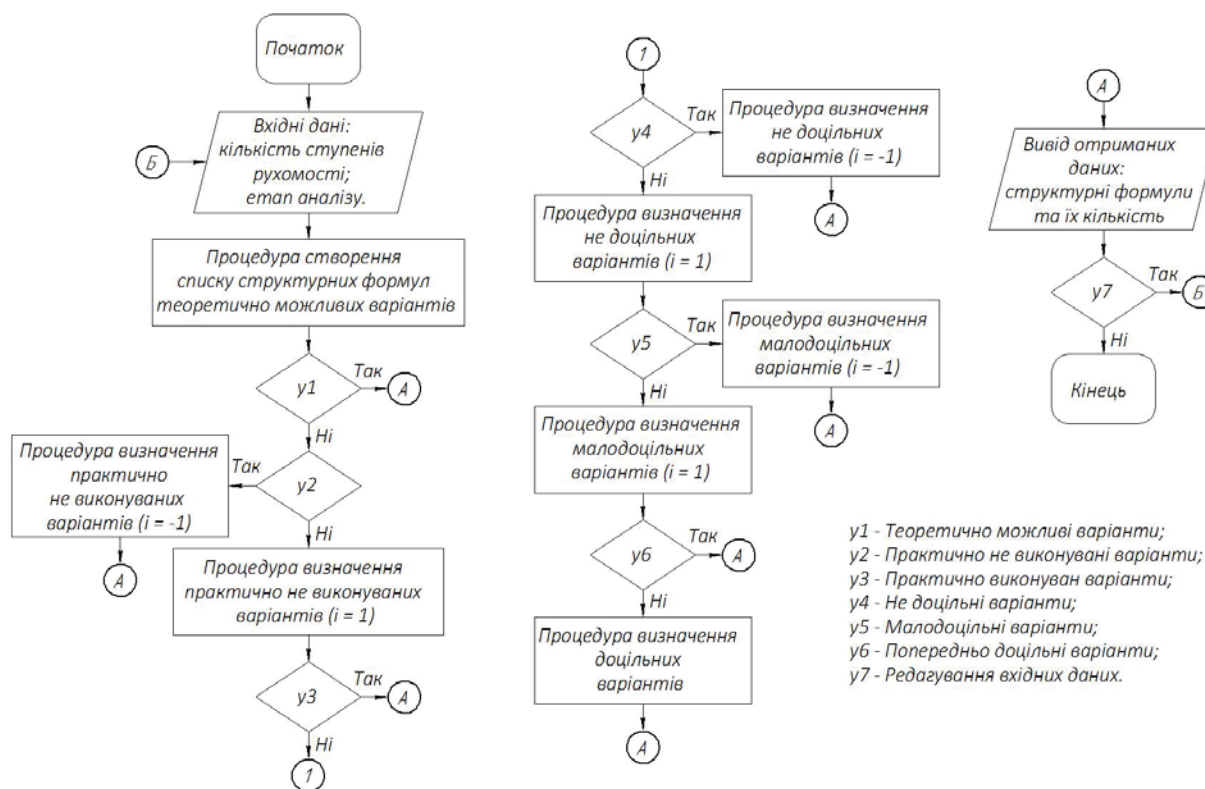


Рисунок 3 – Блок схема структурного аналізу кінематичних схем

**Висновки.** На основі проведених автоматизованих структурних досліджень кінематичних схем промислових роботів, в якості висновків, слід відзначити:



- розроблено процедури, масиви даних і блок схеми для побудови структурних формул та їх структурних досліджень;
- виконано аналіз різних схем роботів та вирішено питання вибору із них найбільш доцільних варіантів;
- за розробленим програмним забезпеченням виконана побудова кінематичних схем та їх робочих зон згідно отриманих результатів досліджень.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / І.І. Павленко – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Павленко І.І. Комп'ютеризований аналіз кінематичних схем промислових роботів / І.І. Павленко, Т.Г. Сябірзянов, П.В. Попруга. //Зб. «Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». – Кіровоград: КНТУ. – 2013. – Вип. 42, Ч.1. – 215 с.
3. Павленко І.І. Програмний аналіз варіантів кінематичних схем промислових роботів та їх робочих зон / І.І. Павленко, П.В. Попруга, М.І. Черновол // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.– Кіровоград: КНТУ.– 2014. – Вип. 27. – 34 с.

**Ivan Pavlenko, Pavel Popruga**

*Kirovograd National Technical University*

### **Automation of the structural and quantitative analysis of kinematic schemes of industrial robots**

A significant amount of designs of industrial robots complicates a choice of expedient option. For the solution of the matter the special algorithm which is based on the analysis of kinematic schemes of industrial robots is created. Analyzing kinematic schemes it is possible to receive preliminary information on the movements work and its designs. For automation of algorithm the special program module in the environment of Delphi which works with the help of the developed procedures and data files is created.

In article it is presented the automated structural analysis of kinematic schemes of industrial robots by means of the created program module. The description of the developed procedures for implementation of the considered analysis is submitted. It is induced advantages of this automated analysis and the program module. In a general view it is created such procedures: procedure of creation of the list of structural formulas of versions of schemes; procedure of definition of almost not carried out options; procedure of definition not of expedient options; procedure of definition of expedient options. For work of procedure data files, in which targeting of a condition on which kinematic schemes are analyzed are created.

On the basis of the conducted automated structural researches of kinematic schemes of industrial robots, as conclusions, it should be noted: procedures, data files and flowcharts are developed for creation of structural formulas and their structural researches; the analysis of various versions of schemes of robots is made and the choice issue from them the most expedient options is resolved; on the developed software it is executed creation of kinematic schemes and their working zones according to the received results of researches.

**industrial robot, kinematic scheme, automated structural analysis of kinematic schemes, program module, procedure**

Одержано 29.04.15