

УДК 621.9.06

Павленко І.І., д.т.н, проф., Вахніченко Д.В.
 Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ВЕРСТАТА З ПАРАЛЕЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

Pavlenko I., Vahnichenko D.
 Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine

STUDY WORKSPACE MACHINE TOOLS WITH OF PARALLEL STRUCTURES

Визначається робочий простір верстату з механізмом паралельної структури при виконанні технологічних рухів під кутом за умови нахилу інструменту в одну сторону з обмеженням руху штанг та габаритними розмірами самого каркасу. Робочий простір умовно поділено на зони. Виведені рівняння по визначенню величини кожної зони і складено загальне рівняння визначення зони обслуговування робочого простору. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів механізму паралельної структури на величину його основної частини – зони обслуговування.

Ключові слова: верстат, гексапод, МПС, ВПС, верстат з паралельною структурою

Вступ

Один із важливих етапів створення верстатів з паралельною структурою (ВПС) полягає у визначенні найбільш раціональних конструктивних параметрів його основних елементів, які забезпечуватимуть ефективність функціонування верстатів. Першочерговою умовою виконання цих вимог виступає здійснення ними необхідних технологічних рухів, що потрібно для реалізації різних технологічних операцій типу свердління, фрезерування, шліфування та ін., так як дані верстати мають основну перспективу використання при обробці деталей складної форми, де необхідні рухи інструменту в різних напрямках, під різними кутами.

Мета

Функціонування верстата можливе при наявності геометрично вільного простору, який являє собою робочий простір (простір функціонування) ВПС. Обґрунтоване визначення величини цього простору (рис.1), відповідно до технологічного призначення верстата, дозволяє встановити доцільні його розміри залежно від використовуваного механізму з паралельною структурою (МПС). Величина робочого простору, залежно від здійснюваних рухів може оцінюватись різними показниками [1,3]. Пропонується виконати аналіз робочого простору в площині аналітичним методом, що дасть можливість більш повно оцінити вплив конструктивних параметрів МПС на його функціональні можливості.

Дослідження

Розглянемо простір переміщень вершини інструменту, який приймає безпосередню участь в процесі обробки і охоплює зону обслуговування ВПС (яка включає в себе: зону установчих рухів, технологічну і резервну технологічну зони).

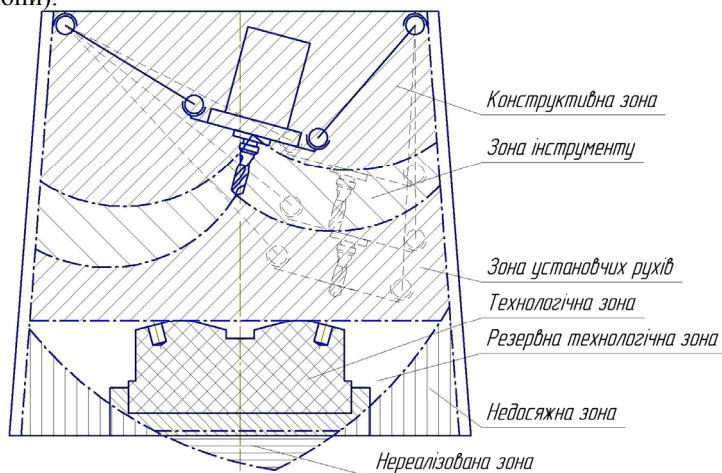


Рис. 1. Робочий простір ВПС

В роботі розглядається простір (рис.2), де здійснюються рухи МПС без урахування тієї частини простору, яку займає основа (станіни) і інші складові конструкції на яку встановлюється МПС. В цих дослідженнях прийнято умову переміщень вершини інструменту з нахилом лише в одну сторону та обмеженням його руху штангами змінної довжини, а також висотою каркасу самого верстату з МПС. При цьому враховується, що штанги не переходять за межі свого вертикального положення (кут в верхній опорі не більше 90°).

Загальну частину площі розбиваємо на п'ять складових частин, які відповідно позначені $S_1 \dots S_5$, для кожної із них складаємо свої рівняння.

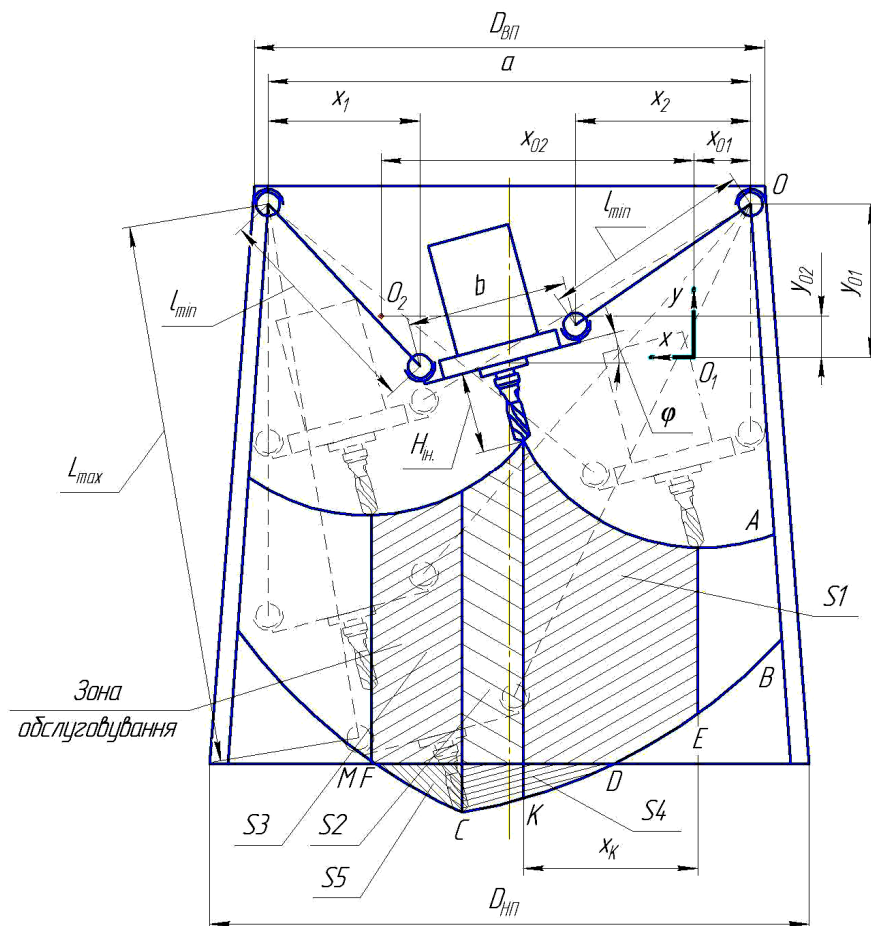


Рис. 2. Зона обслуговування при обробці під кутом

В даній схемі використовують позначення: a, b - відповідно розмір (діаметр) нерухомої та рухомої платформ; l_i - довжина штанги в проміжному положенні; L_{max} - максимальна довжина штанги; l_{min} - мінімальна довжина штанги.

Для будь якої фігури, яка обмежена кривими можна визначити площу за допомогою визначеного інтегралу. В загальному випадку дане рівняння матиме вигляд:

$$S = \int_{n1}^{n2} [f(x_1) - f(x_2)] dx, \quad (1)$$

де $n1, n2$ - відповідно границі інтегрування.

$f(x_1), f(x_2)$ - функції кривих, якими обмежено площу розмір якої визначається.

Початок системи координат вибираємо в центрі одної з кривих, що обмежують зону обслуговування. Відповідні центри кривих мають координати $O_1(x_{01}, y_{01})$ та $O_2(x_{02}, y_{02})$.

Якщо пов'язати ці координати із позначеннями на розрахунковій схемі (рис.2) і перенести обмеження на рух кінематичних ланок з центра шарнірів до вершини інструменту, новий початок координат буде $O_1(0,0)$. З іншого боку координати центру O_1 відносно т. O будуть:

$$x_{01} = H_{ин} \cdot \sin \varphi + \frac{b}{2} \cdot \cos \varphi, \quad y_{01} = H_{ин} \cdot \cos \varphi + \frac{b}{2} \cdot \sin \varphi.$$

Координати точки O_2 по відношенню до O_1 становлять: $x_{02} = a - b \cdot \cos \varphi$, $y_{02} = -b \cdot \sin \varphi$.

Для визначення першої складової площі S_1 необхідно визначити межі, а саме точку E (рис.2). Дана точка знаходиться на початку системи координат і обмежує зону обслуговування за умови, що штанга змінної довжини не переходить за межі свого вертикального положення (кут в опорі не більше 90°).

$$x_e = 0$$

Потім необхідно визначити друге обмеження, тобто координати точки K , яка у верхньому положенні проходить через вершину інструменту.

Для визначення координати x_k складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = a - b \cdot \cos \varphi \\ \sqrt{l_{\min}^2 - x_1^2} + \sqrt{l_{\min}^2 - x_2^2} = b \cdot \sin \varphi \end{cases} \quad (2)$$

В даній системі рівнянь позначення x_1 і x_2 відповідає проєкціям штанг l_{\min} на нерухому платформу розміром a . Визначаємо x_2 так як $x_2 = x_k$.

Рівняння матиме вигляд:

$$\sqrt{l_{\min}^2 - [(a - b \cdot \cos \varphi) - x_2]^2} - \sqrt{l_{\min}^2 - x_2^2} = b \cdot \sin \varphi; \quad (3)$$

Розв'язавши дане рівняння отримаємо значення x_k :

$$\begin{aligned} x_k = & \frac{-\left[-4(a - b \cdot \cos \varphi)^3 - 4(a - b \cdot \cos \varphi)(b \cdot \sin \varphi)^2\right] +}{2\left[4(a - b \cdot \cos \varphi)^2 + 4(b \cdot \sin \varphi)^2\right]} + \\ & + \left\{ \left[-4(a - b \cdot \cos \varphi)^3 - 4(a - b \cdot \cos \varphi)(b \cdot \sin \varphi)^2\right]^2 - 4 \cdot \left[4(a - b \cdot \cos \varphi)^2 + 4(b \cdot \sin \varphi)^2\right] \cdot \right. \\ & \cdot \left. \left[(a - b \cdot \cos \varphi)^4 + (b \cdot \sin \varphi)^4 + 2(a - b \cdot \cos \varphi)^2(b \cdot \sin \varphi)^2 - 4(b \cdot \sin \varphi)^2 l_{\min}^2\right] \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \\ & \cdot 2\left[4(a - b \cdot \cos \varphi)^2 + 4(b \cdot \sin \varphi)^2\right]^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

Записуємо рівняння кривих, які обмежують площу S_1 по вісі y і виводимо з них координату y :

$$\begin{aligned} (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2 + y^2 &= L_{\max}^2 & y &= \sqrt{L_{\max}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} \\ x^2 + (y - b \sin \varphi)^2 &= l_{\min}^2 & y &= \sqrt{l_{\min}^2 - x^2} + b \sin \varphi \end{aligned} \quad (5)$$

Визначаємо площу даної ділянки:

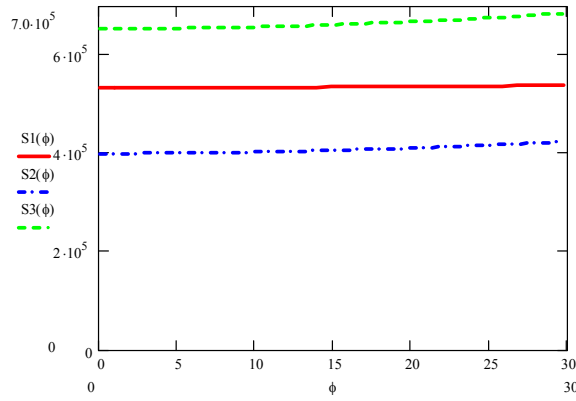
$$S_1 = \int_{x_e}^{x_k} \left(\sqrt{L_{\max}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - \sqrt{l_{\min}^2 - x^2} + b \sin \varphi \right) dx \quad (6)$$

Подібним чином визначаємо величину інших складових загальної зони обслуговування.

В підсумку величина цієї зони (площі) буде:

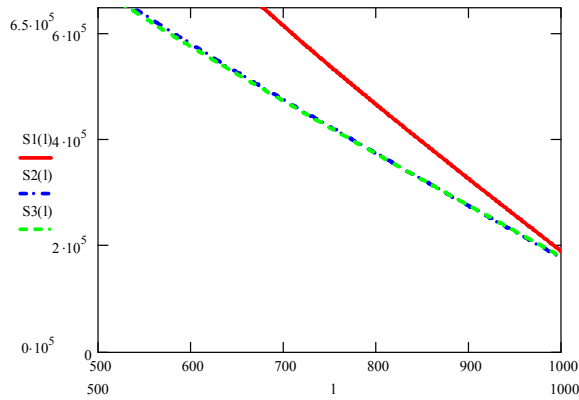
$$\begin{aligned} S = S_1 + S_2 + S_3 - S_4 - S_5 = & \int_{x_e}^{x_k} \left(\sqrt{L_{\max}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - \sqrt{l_{\min}^2 - x^2} + b \sin \varphi \right) dx + \\ & + \int_{x_k}^{x_c} \left(\sqrt{L_{\max}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - \sqrt{l_{\min}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} \right) dx + \\ & + \int_{x_c}^{x_m} \left(\sqrt{L_{\max}^2 - x^2} + b \sin \varphi - \sqrt{l_{\min}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} \right) dx - \\ & - \int_{x_d}^{x_c} \left(\sqrt{L_{\max}^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - \left(H_{ВПК} + b \sin \varphi - \left(H_{in} \cos \varphi + \frac{b \sin \varphi}{2} \right) \right) \right) dx - \\ & - \int_{x_c}^{x_f} \left(\sqrt{L_{\max}^2 - x^2} + b \sin \varphi - \left(H_{ВПК} + b \sin \varphi - \left(H_{in} \cos \varphi + \frac{b \sin \varphi}{2} \right) \right) \right) dx \end{aligned} \quad (7)$$

Проаналізуємо вплив конструктивних і технологічних складових ВПК на зону обслуговування робочого простору. Результати цих досліджень представлені графіками на Рис.3...Рис.5.



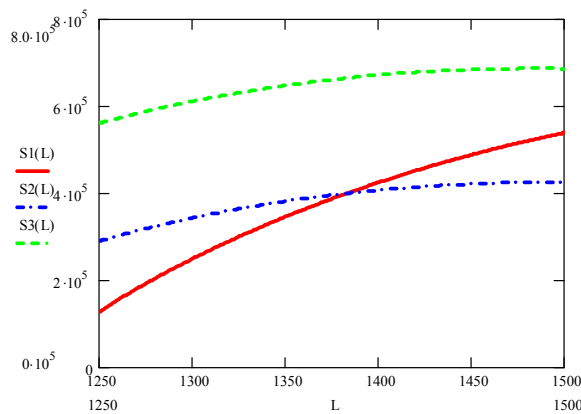
1. $b = 300; a = 1500; l_{\min} = 750; L_{\max} = 1500; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.
2. $b = 225; a = 1125; l_{\min} = 750; L_{\max} = 1500; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.
3. $b = 150; a = 1050; l_{\min} = 500; L_{\max} = 1500; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.

Рис. 3. Графік впливу кута нахилу рухомої платформи на величину зони обслуговування ВПС при нахилі ВО в одну сторону



1. $b = 300; a = 1500; L_{\max} = 1500; \varphi = 30^\circ; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.
2. $b = 225; a = 1125; L_{\max} = 1500; \varphi = 30^\circ; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.
3. $b = 150; a = 1050; L_{\max} = 1500; \varphi = 30^\circ; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.

Рис. 4. Графік впливу мінімального розміру штанги на зону обслуговування ВПС при нахилі ВО в одну сторону



1. $b = 300; a = 1500; l_{\min} = 750; \varphi = 30^\circ; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.
2. $b = 225; a = 1125; l_{\min} = 750; \varphi = 30^\circ; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.
3. $b = 150; a = 1050; l_{\min} = 500; \varphi = 30^\circ; H_{in} = 100; H_{ВПС} = 1250$.

Рис. 5. Графік впливу максимального розміру штанги на зону обслуговування ВПС при нахилі ВО в одну сторону

Висновки

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. В роботі запропоновано методику аналітичного визначення зони обслуговування робочого простору верстатів з механізмами паралельної структури в площині.
2. З графіка впливу кута нахилу рухомої платформи на величину зони обслуговування ВПС, видно, що із збільшенням кута нахилу інструменту величина зони обслуговування дещо збільшується. Так при зміні кута φ від 0° до 30° зона обслуговування збільшується до 6%.
3. Вплив мінімального розміру штанги на зону обслуговування верстата з МПС, показує, що із збільшенням мінімального розміру штанги від 500 мм до 1000 мм величина зони обслуговування зменшується в 2-3 рази.
4. Збільшенням максимального розміру штанги від 1250 мм до 1500 мм величина зони обслуговування зростає від 1,2 до 3,2 раз.

***Анотація.** Определяется рабочее пространство станка с механизмом параллельной структуры при исполнении технологических движений под углом при условии наклона инструмента в одну сторону с ограничением движений штанг и габаритными размерами самого каркаса. Рабочее пространство условно разделено на зоны. Выведены уравнения по определению величины каждой зоны и составлено общее уравнение для определения зоны обслуживания рабочего пространства. Проанализировано влияние конструктивных параметров механизма параллельной структуры на величину его зоны обслуживания.*

***Ключевые слова:** станок, гексапод, МПС, СПС, станок с параллельной структурой*

***Abstract.** In work it is offered a technique of analytical definition of a zone of service of working space of the machine with mechanisms of parallel structure in the plane. The working space of the machine decides at execution of technological movements at an angle on condition of a tool inclination in one party on restriction of movements of bars and overall dimensions of the framework. The working space is conditionally divided into zones. The equations by determination of size of each zone are removed and the general equation for definition of a zone of service of working space is worked out. Influence of design data of the mechanism of parallel structure on the size of its zone of service is analysed. It is established that the increase in a tilt angle of a mobile platform leads to increase in a zone of service, and here the increase in the maximum size of a bar of variable length leads to increase in a zone of service of the machine several times. The increase in the minimum size of a bar of variable length leads to reduction of a zone of service of the machine several times.*

***Keywords:** machine, hexapod, PKM, machine with parallel structure*

Бібліографічний список використаної літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування./ Павленко І.І. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420с.
2. Струтинський В.Б., Кириченко А.М. Геометрична побудова робочого простору обладнання з механізмами паралельної структури / Струтинський В.Б., Кириченко А.М. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2011. – Вип.24. - С.216-222.
3. Павленко І.І., Вахніченко Д.В. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І.І., Вахніченко Д.В. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2012. – Вип.25. ч.1. - С.117-124.

References

1. Pavlenko I.I. Promislovi roboti: osnovi rozrahunku ta proektuvannya. (Industrial robots: the bases of calculation and design). Kirovograd; KNTU, 2007. 420p.
2. Strutins'kiy V.B., Kirichenko A.M. Zbirnik naukovih prats' KNTU: tehnika v sil's'kogospodars'komu virobnitstvi, galuzeve mashinobuduvannya, avtomatizatsiya. (Journal of scientific papers KNTU: machinery in agricultural production, an industry engineering, automation). Kirovograd, 2011. no.24. pp.216-222.
3. Pavlenko I.I., Vahnichenko D.V. Zbirnik naukovih prats' KNTU: tehnika v sil's'kogospodars'komu virobnitstvi, galuzeve mashinobuduvannya, avtomatizatsiya (Journal of scientific papers KNTU: machinery in agricultural production, an industry engineering, automation). Kirovograd, 2012. no.25. P.1. pp.117-124.

Подана до редакції 08.04.2014