

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, викл., С.М. Якименко, доц., канд. фіз.-мат. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Зона обслуговування верстата з МПС при виконанні свердлильних операцій

В статті визначається зона обслуговування робочого простору верстату з МПС при свердлінні деталі, в якій отвори розташовані з різних боків.

верстат, гексапод, МПС, ВПС, верстат з механізмом паралельної структури

И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук Д.В. Вахниченко, преп. С.Н. Якименко, доц., канд. физ.-мат. наук

Кировоградский национальный технический университет

Зона обслуживания станка с МПС при выполнении сверлильных операций

В статье определяется зона обслуживания рабочего пространства станка с МПС при сверлении детали, в которой отверстия расположены с разных сторон.

станок, гексапод, МПС, СПС, станок с механизмом параллельной структуры

У сільському господарстві важливу роль відіграють механічні засоби виробництва – трактори, автомобілі, та інші робочі і силові машини. Важлива складова даного обладнання – корпусні деталі. Для зменшення часу на обробку отворів в корпусних деталях та можливості виконання обробки під кутом пропонується використовувати нове обладнання на основі механізмів паралельної структури (МПС).

В процесі проектування верстата з механізмом паралельної структури важливо встановити його рухові характеристики. Однією з таких характеристик є величина робочого простору, в якій можна виділити зону обслуговування [1,2]. Розміри останньої залежать від технологічного призначення верстата та обраних розмірів механізму паралельної структури.

Оскільки до переваг даного обладнання можна віднести виконання операцій під кутом, особливо свердління, то доцільно розглядати робочий простір, утворений нахиленим на кут виконавчим органом (ВО) з інструментом. Обробка складних деталей може виконуватися не лише за умови нахилу інструмента в один бік, а і за умови підходу інструменту до деталі з різних боків. В даних дослідженнях пропонується аналітичне визначення величини зони обслуговування в площині виконуваної свердлильної операції під час обробки нахилених отворів з різних боків деталі.

Під час обробки отвору з одного боку зона обслуговування буде нахилена в бік, протилежний нахилу інструмента (рис.1,а). Для отвору, розташованого з іншого боку, зона обслуговування буде симетрична до даної відносно вісі симетрії МПС. Узагальнена схема за умови обробки отвору з різних сторін деталі представлена на рис.1,б. Аналіз зони обслуговування в площині дасть можливість більш повно проаналізувати вплив конструктивних параметрів МПС на його рухові характеристики.

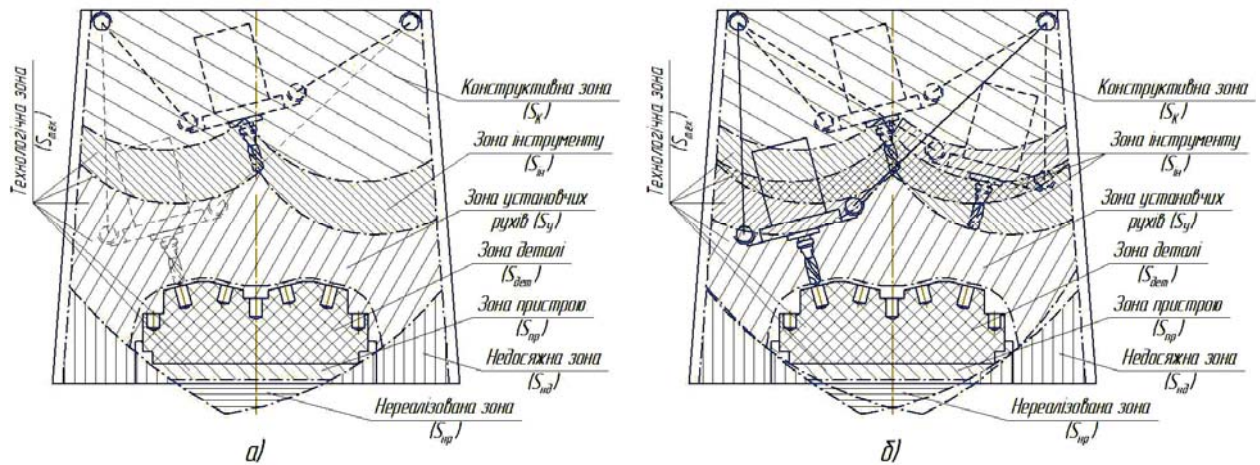


Рисунок 1 – Робочий простір верстата з МПС при обробці під кутом

Утворену зону можна умовно поділити на 2 рівні частини по вісі симетрії верстата з МПС. Зона обслуговування обмежується рухом штанг змінної довжини та каркасом самого верстата (рис.2). Оскільки зазначена зона обслуговування має симетричну форму, тому для спрощення розрахунків детальний поділ площі на частини виконаємо для однієї із сторін. Загальну частину площі розбиваємо на чотири складові частини, які відповідно позначені $S_1 \dots S_4$, для кожної із них складаємо рівняння площі.

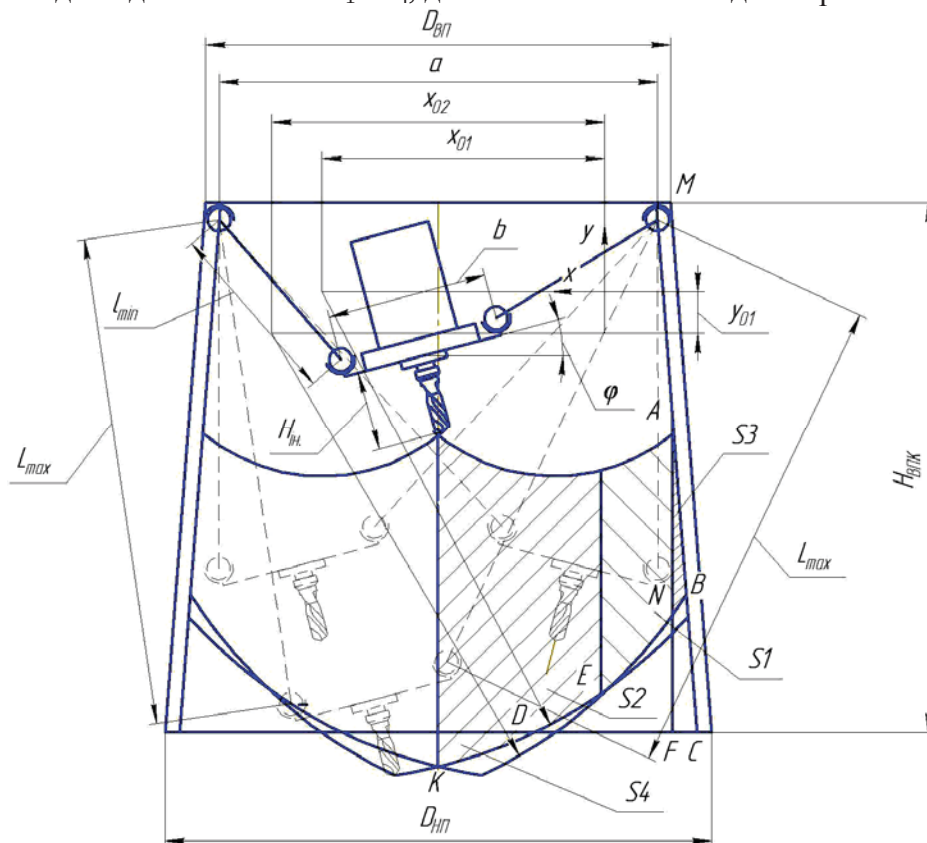


Рисунок 2 – Форма зони обслуговування при обробці під кутом

На схемі (рис.2) основні конструктивні параметри мають позначення: a , b – відстань між опорами нерухомої та рухомої платформ відповідно; H_{in} – довжина інструмента; L_{max} – максимальна довжина штанги; L_{min} – мінімальна довжина штанги.

Початок системи координат знаходиться в центрі однієї з кривих, а центри кривих знаходяться в т. $O_1(x_{01}, y_{01})$ та $O_2(x_{02}, y_{02})$. При переносі обмежень руху кінематичних ланок з центра шарніра до вершини інструмента, їх координати $x_{01} = a - b \cdot \cos \varphi$; $y_{01} = -b \cdot \sin \varphi$; $x_{02} = a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \cdot \sin \varphi$; $y_{02} = 0$.

Для визначення площі першої складової системи нам необхідно визначити межі, а саме точку E (рис.2). Дана точка знаходиться на перетині двох кіл, її можна визначити із системи рівнянь даних кіл, які утворені траєкторією перетину максимально видовжених штанг при нахилі інструменту з різних боків до вісі симетрії МПС.

Тоді система рівнянь матиме вигляд:

$$\begin{cases} (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2 + (y - (-b \cdot \sin \varphi))^2 = L^2 \\ (x - (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \cdot \sin \varphi))^2 + y^2 = L^2 \end{cases} \quad (1)$$

Розв'яжемо дану систему рівнянь:

$$\begin{cases} x^2 - 2x \cdot (a - b \cdot \cos \varphi) + (a - b \cdot \cos \varphi)^2 + y^2 - 2y \cdot (-b \cdot \sin \varphi) + (-b \cdot \sin \varphi)^2 = L^2 \\ x^2 - 2x \cdot (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi) + (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi)^2 + y^2 = L^2 \end{cases} \quad (2)$$

Розв'язок матиме вигляд:

$$y = \frac{(a - b \cdot \cos \varphi)^2 - (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi)^2 + (-b \cdot \sin \varphi)^2}{2(-b \cdot \sin \varphi)} + \frac{x[H_{in}]}{-b} \quad (3)$$

Для спрощення розрахунку введемо змінні:

$$C_1 = \frac{(a - b \cdot \cos \varphi)^2 - (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi)^2 + (-b \cdot \sin \varphi)^2}{2(-b \cdot \sin \varphi)}; \quad C_2 = \frac{[H_{in}]}{-b} \quad (4)$$

Тоді рівняння матиме вигляд:

$$y = C_1 + C_2 \cdot x.$$

Підставляємо це рівняння в формулу і зводимо її до квадратного рівняння:

$$(x - (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi))^2 + (C_1 + C_2 \cdot x)^2 = L^2 \quad (5)$$

Розв'язок для визначення координати точки E матиме вигляд:

$$x_E = \frac{-(-2(a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi) + 2C_1 \cdot C_2)}{2 \cdot (1 + C_2^2)} - \frac{\sqrt{(-2(a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi) + 2C_1 \cdot C_2)^2 - 4 \cdot (1 + C_2^2) \cdot (C_1^2 + (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi)^2 - L^2)}}{2 \cdot (1 + C_2^2)} \quad (6)$$

Друга межа буде обмежена каркасом верстата з МПС і матиме координату точки $A(x_a; y_a)$. Точка A лежить на перетині прямої MC і кола. Рівняння прямої MC має вигляд:

$$y - y_m = k(x - x_m)$$

Координати точки $M(x_m; y_m)$ визначаємо з розрахункової схеми:

$$x_m = \frac{-[D_{BII} - (a - b \cdot \cos \varphi + 2H_{in} \sin \varphi)]}{2}, \quad (7)$$

$$y_m = y_0 - H_{in} \cdot \cos \varphi + \frac{b}{2} \sin \varphi. \quad (8)$$

Для знаходження координати точки A перетину прямої MC та кола складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} (x - (2H_{in} \sin \varphi))^2 + (y - y_0)^2 = R_2^2 \\ y = k(x - x_m) + y_m \end{cases} \quad (9)$$

Визначаємо коефіцієнт k , що визначає кут нахилу прямої і дорівнює куту нахилу стінки каркаса:

$$k = \operatorname{tg}\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{CL}{ML}\right) + \frac{\pi}{2}\right) = \operatorname{tg}\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{D_{\text{НП}} - D_{\text{ВП}}}{2 \cdot H_{\text{ВПК}}}\right) + \frac{\pi}{2}\right). \quad (10)$$

Рівняння матиме вигляд:

$$y = k(x - x_m) + y_m = kx - kx_m + y_m. \quad (11)$$

Підставляємо друге рівняння системи у перше і розв'язуємо його:

$$(x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2 + (kx + (-kx_m + y_m - (-b \sin \varphi)))^2 = L^2. \quad (12)$$

З даного рівняння нам підходить лише один розв'язок:

$$x_a = \frac{-(-2(2H_{\text{ин}} \sin \varphi) + 2k(-kx_m + y_m - (-b \sin \varphi)))}{2 \cdot (1 + k^2)} - \frac{\sqrt{(-2(2H_{\text{ин}} \sin \varphi) + 2k(-kx_m + y_m - (-b \sin \varphi)))^2 - 4 \cdot (1 + k^2) \cdot ((2H_{\text{ин}} \sin \varphi)^2 + (-kx_m + y_m - (-b \sin \varphi))^2 - L^2)}}{2 \cdot (1 + k^2)} \quad (13)$$

Записуємо рівняння кіл для визначення площі і виводимо з них y :

$$(x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2 + y^2 = L^2 \quad y = \sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2} \quad (14)$$

$$(x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2 + (y - (-b \sin \varphi))^2 = l_{\text{мин}}^2 \quad y = \sqrt{l_{\text{мин}}^2 - (x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2} + (-b \sin \varphi) \quad (15)$$

Визначаємо площу S_1 з урахуванням обмежень площі координатами x точок A і E :

$$S_1 = \int_{x_a}^{x_E} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2} - \sqrt{l_{\text{мин}}^2 - (x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2} + b \sin \varphi \right) dx \quad (16)$$

Для визначення площі S_2 необхідно визначити обмеження, тобто координати точки K , яка знаходиться на вісі симетрії верстата з МПС. Друге обмеження це координати точки E , яка була визначена раніше.

Координата точки K визначається з розрахункової схеми $K(x_k; y_k)$:

$$x_K = \frac{(a - b \cdot \cos \varphi + H_{\text{ин}} \sin \varphi)}{2}. \quad (17)$$

Записуємо рівняння кіл для визначення площі S_2 і виводимо з них y :

$$(x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2 + y^2 = L^2 \quad y = \sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2}, \quad (18)$$

$$(x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2 + y^2 = l_{\text{мин}}^2 \quad y = \sqrt{l_{\text{мин}}^2 - (x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2}. \quad (19)$$

Визначаємо площу S_2 з урахуванням обмежень площі координатами x точок K і E :

$$S_2 = \int_{x_E}^{x_K} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - \sqrt{l_{\text{мин}}^2 - (x - (2H_{\text{ин}} \sin \varphi))^2} \right) dx. \quad (20)$$

Знаходимо площу S_3 з необхідними обмеженнями, тобто координати точки B та координати точки N . Координата точки N по вісі x відповідає координаті точки A .

Точка B лежить на перетині прямої MC і кола. Рівняння прямої MC :

$$y - y_m = k(x - x_m).$$

Для знаходження координати точки B перетину прямої та кола складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi))^2 + y^2 = L^2 \\ y = k(x - x_m) + y_m \end{cases} \quad (21)$$

Вводимо додаткове позначення: $b_2 = -kx_m + y_m$, тоді підставляємо друге рівняння системи у перше і розв'язуємо його:

$$(x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi))^2 + (kx + (-kx_m + y_m))^2 = L^2. \quad (22)$$

Розв'язок:

$$x_b = \frac{-(-2(a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi) + 2k(-kx_m + y_m)) \pm \sqrt{(-2(a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi) + 2k(-kx_m + y_m))^2 - 4 \cdot (1 + k^2) \cdot ((a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi)^2 + (-kx_m + y_m)^2 - L^2)}}{2 \cdot (1 + k^2)}. \quad (23)$$

Далі записуємо рівняння кола і кривої для визначення площі S_3 і виводимо з них y :

З рівняння $(x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi))^2 + y^2 = L^2$ визначаємо y :

$$y = \sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi))^2} \quad (24)$$

Рівняння кривої: $y = kx + (-kx_m + y_m)$

Визначаємо площу S_3 з урахуванням обмежень площі координатами x точок B і N :

$$S_3 = \int_{x_b}^{x_a} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{in} \sin \varphi))^2} - kx - (-kx_m + y_m) \right) dx. \quad (25)$$

Для визначення площі S_4 необхідно визначити обмеження, тобто координати точки K , яка знаходиться на вісі симетрії МПС. Друге обмеження це координати точки D . Координата точки K було визначено вище $K(x_k; y_k)$.

Визначаємо координати точки D :

$$y_d = H_{BPK} - b \sin \varphi - \left(H_{in} \cos \varphi - \frac{b \sin \varphi}{2} \right), \quad (26)$$

$$x_d = -\sqrt{L^2 - \left(\left(H_{BPK} - (-b \sin \varphi) - \left(H_{in} \cos \varphi - \frac{b \sin \varphi}{2} \right) \right) - (b \sin \varphi) \right)^2} + (a - b \cdot \cos \varphi). \quad (27)$$

Далі записуємо рівняння кола і кривої для визначення площі S_3 і виводимо з них y .

З рівняння $(x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2 + (y - (-b \sin \varphi))^2 = L^2$ визначаємо y :

$$y = \sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} + (-b \sin \varphi). \quad (28)$$

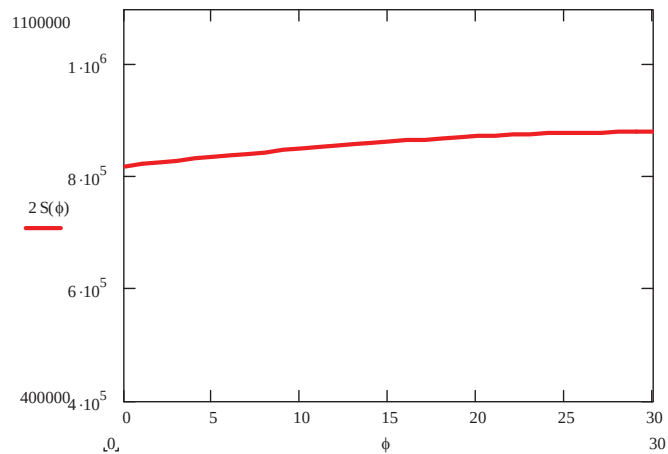
Визначаємо площу даної ділянки:

$$S_4 = \int_{x_d}^{x_k} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} + (-b \sin \varphi) - \left(H_{BPK} - b \sin \varphi - \left(H_{in} \cos \varphi - \frac{b \sin \varphi}{2} \right) \right) \right) dx. \quad (29)$$

Визначаємо загальну площу:

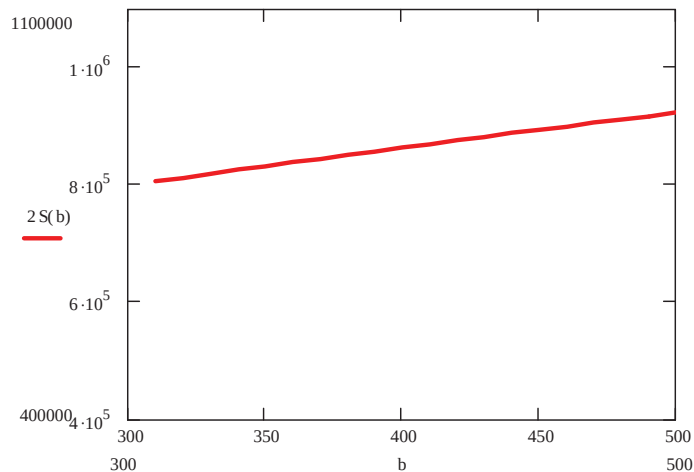
$$\begin{aligned}
 S = 2(S_1 + S_2 + S_3 - S_4) = & 2 \cdot \left(\int_{x_a}^{x_E} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{ih} \sin \varphi))^2} - \sqrt{l_{\min}^2 - (x - 2H_{ih} \sin \varphi)^2} + b \sin \varphi \right) dx + \right. \\
 & + \int_{x_E}^{x_k} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - \sqrt{l_{\min}^2 - (x - 2H_{ih} \sin \varphi)^2} \right) dx + \\
 & + \int_{x_b}^{x_a} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi + H_{ih} \sin \varphi))^2} - k_x + kx_m - y_m \right) dx + \\
 & \left. - \int_{x_d}^{x_k} \left(\sqrt{L^2 - (x - (a - b \cdot \cos \varphi))^2} - H_{BIIK} - H_{ih} \cos \varphi + \frac{b \sin \varphi}{2} \right) dx \right)
 \end{aligned} \quad (30)$$

Проаналізуємо вплив конструктивних і технологічних складових верстата з МПС на площу зони обслуговування. Результати цих досліджень представлені графіками на рис.3 – рис.8.



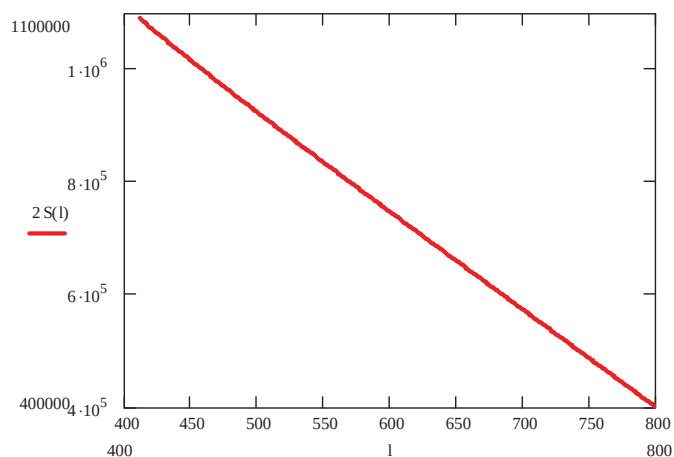
$$b=400; a=1350; l_{\min}=500; L=1350; \varphi=0 \div 30^\circ; H_{ih}=100; H_{BIIK}=1200; D_{BII}=1,1a; D_{HII}=1,3a$$

Рисунок 3 – Графік впливу кута нахилу рухомої платформи на величину зони обслуговування верстата з МПС



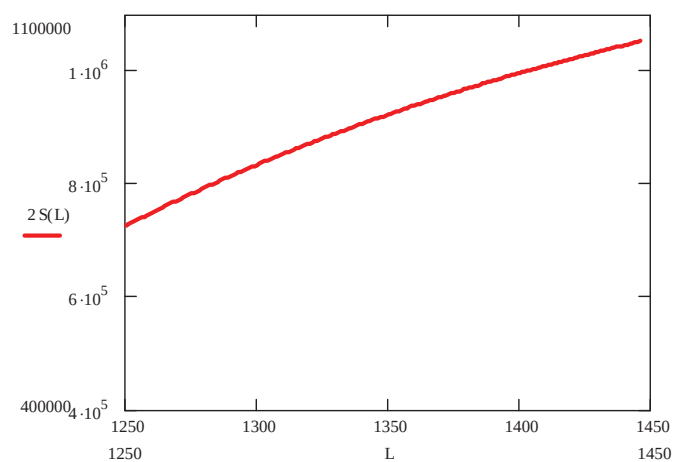
$$b=300 \div 500; a=1350; l_{\min}=500; L=1350; \varphi=15^\circ; H_{ih}=100; H_{BIIK}=1200; D_{BII}=1,1a; D_{HII}=1,3a$$

Рисунок 4 – Графік впливу розміру рухомої платформи на зону обслуговування верстата з МПС



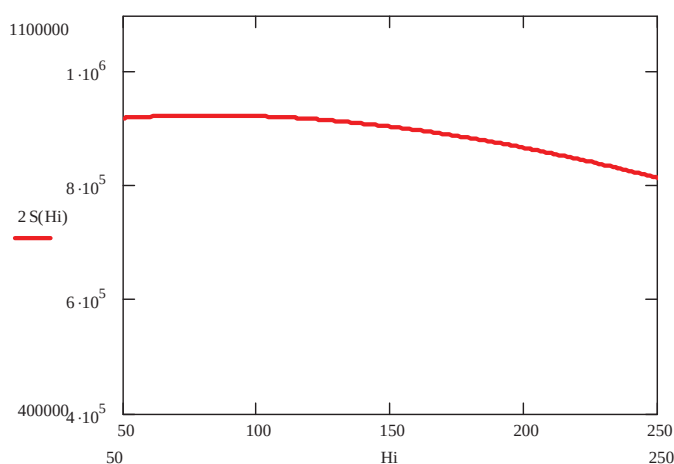
$b=500; a=1350; l_{min}=400 \div 800; L=1350; \varphi=15^\circ; H_{in}=100; H_{BPC}=1200; D_{BP}=1,1a; D_{HP}=1,3a$

Рисунок 5 – Графік впливу мінімального розміру штанги на зону обслуговування верстата з МПС



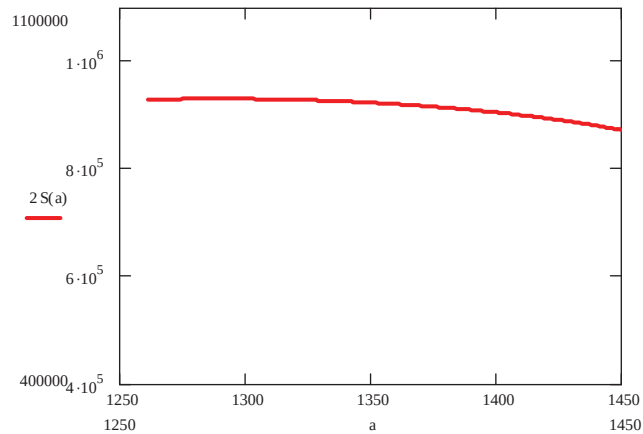
$b=500; a=1350; l_{min}=500; L=1250 \div 1450; \varphi=15^\circ; H_{in}=100; H_{BPC}=1200; D_{BP}=1,1a; D_{HP}=1,3a$

Рисунок 6 – Графік впливу максимального розміру штанги на зону обслуговування верстата з МПС



$b=500; a=1350; l_{min}=500; L=1350; \varphi=15^\circ; H_{in}=50 \div 250; H_{BPC}=1200; D_{BP}=1,1a; D_{HP}=1,3a$

Рисунок 7 – Графік впливу розміру інструменту на зону обслуговування верстата з МПС



$$b=500; a=1250\div 1450; l_{\min}=500; L=1350; \varphi=15^{\circ}; H_{\text{ин}}=100; H_{\text{ВПС}}=1200; D_{\text{ВП}}=1,1a; D_{\text{НП}}=1,3a$$

Рисунок 8 – Графік впливу розміру між шарнірами нерухомої платформи на зону обслуговування верстата з МПС

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

В роботі запропоновано нову методику визначення робочого простору верстатів з паралельною кінематикою в площині аналітичним методом.

При будь-якому куті нахилу рухомої платформи в робочому просторі верстата з МПС можна виділити вісім частин його площі.

На кожен частину простору мають вплив свої конструктивні параметри.

З графіка впливу кута нахилу рухомої платформи на зону обслуговування ВПК, видно що із збільшенням кута нахилу інструмента величина зони обслуговування дещо збільшується. Так при зміні кута φ від 0° до 30° зона обслуговування збільшується на 7,5%.

З графіка впливу розміру рухомої платформи на зону обслуговування ВПК видно – із збільшенням розміру рухомої платформи з 300 до 500 мм величина зони обслуговування збільшується на 15,4%.

З графіка впливу мінімального розміру штанги на зону обслуговування ВПК, видно, що із збільшенням розміру мінімального розміру штанги з 400 до 800мм величина зони обслуговування зменшується на 64,1%.

З графіка впливу максимального розміру штанги на зону обслуговування ВПК, бачимо, що із збільшенням розміру максимального розміру штанги з 1250 до 1450 мм величина зони обслуговування збільшується на 45,6%.

З графіка впливу інструмента на зону обслуговування ВПК бачимо, що із збільшенням розміру інструмента з 50 до 250мм величина зони обслуговування на 11,5% зменшується.

З графіка впливу розміру між опорами нерухомої платформи на зону обслуговування верстата з МПС бачимо, що із збільшенням розміру між опорами нерухомої платформи з 1250 до 1450мм величина зони обслуговування на 6% зменшується.

Отримані залежності можуть враховуватись при виборі конструктивних параметрів верстатів з МПС згідно їх цільового призначення.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування./ І. І. Павленко – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420с.

2. Павленко І. І. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою. / І. І. Павленко, Д. В. Вахніченко / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2012. – Вип.25. ч.1. – С.117-124.
3. Павленко І. І. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою при обробці деталей під кутом. / І. І. Павленко, Д. В. Вахніченко / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2013. – Вип.26. – С.48-53.

Ivan Pavlenko, Dmitriy Vakhnichenko, Sergiy Yakimenko

Kirovograd National Technical University

The service area of the machine with PKM, when performing drilling operations

Operation of the machine is possible with the geometric space that is a working space of the machine with a parallel structure of the mechanism. Reasoned determination of the magnitude of this space allows him to set reasonable sizes depending on the mechanism used with parallel structure.

The article is made a general equation for determining the coverage area of the working space of the machine with the mechanism of parallel structure when performing drilling operations at an angle.

As a result, to analyze the influence of design parameters of the mechanism of parallel structure to the service area.

machine, hexapod, PKM, machine with parallel structure

Одержано 07.11.14

УДК 681.17; 681.5.015

Ю.М. Пархоменко, канд. техн. наук, М.Д. Пархоменко, доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизація контролю концентрації газів та рівня рН в процесі виробництва цукру

Досліджуються шляхи створення автоматизованої системи контролю концентрації газів та рівня рН на ділянках 1-ї та 2-ї сатурації і сульфитації дифузійного соку в процесі виробництва цукру. Визначено тип напівпровідникового газового сенсора та рН - датчика і запропоновано методику розрахунку концентрації газових компонент за результатами вимірювання електропровідності газового сенсора при кроковій зміні температур.

автоматизована система контролю, дефекація, сатурація, сульфитація, дифузійний сік, цукроваріння, тонкоплівковий напівпровідниковий датчик, електропровідність

Ю.М. Пархоменко, канд. техн. наук, М.Д. Пархоменко, доц.

Кіровоградский национальный технический университет

Автоматизация контроля концентрации газов и уровня рН в процессе производства сахара

Исследуются пути создания автоматизированной системы контроля концентрации газов и уровня рН на участках 1-й и 2-й сатурации и сульфитации диффузионного сока в процессе производства сахара. Определен тип полупроводникового газового сенсора и рН - датчика и предложена методика расчета концентрации газовых компонент по результатам измерения электропроводности газового сенсора при шаговом изменении температур.

автоматизированная система контроля, дефекация, сатурация, сульфитация, диффузный сок, сахарование, тонкопленочный полупроводниковый датчик, электропроводность