

УДК 621.9.06

**І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою при обробці деталей під кутом**

В статті проаналізовано робочий простір верстатів з паралельною кінематикою при обробці під кутом за умови ведення обробки з різних боків деталі. Графічно було визначено, як впливає кут нахилу виконавчого органу на форму слідуєчих функціональних зон, а саме: технологічну; резервну технологічну; інструменту; установчих рухів; конструктивну, обслуговування, недосяжну, нереалізовану.  
**верстат, гексапод, МПК, ВПК, верстат з паралельною кінематикою**

**И.И. Павленко, Д.В. Вахниченко**

*Кировоградский национальный технический университет*

**Анализ рабочего пространства станка с параллельной кинематикой при обработке деталей под углом**

В статье проанализировано рабочее пространство станков с параллельной кинематикой при обработке под углом, при условии с разных сторон детали. Графически было определено, как влияет кут наклона исполнительного органа на форму следуюших функциональных зон, а именно: технологическую; резервную технологическую; инструмента; установки; конструктивную; обслуживания; недосягаемую; нериализованую.

**станок, гексапод, МПК, СПК, станок с параллельной кинематикой**

В сучасному машинобудівному виробництві до виготовлюваних деталей та виробів висуваються вимоги по досягненню високої точності та надійності продукції при мінімально-можливих економічних витратах. При цьому має місце ускладнення геометричних форм деталей, підвищуються вимоги до якості оброблюємих поверхонь в умовах високих експлуатаційних швидкостей та динамічних навантажень. Технологічне обладнання на основі механізмів з паралельною кінематикою (МПК) використовується для таких умов виробництва реалізуючи технологічні рухи під різними кутами. МПК відрізняється тим, що до виконавчого органу (рухомої платформи) кінематичними парами приєднані декілька рухомих ланок.

Найбільше розповсюдження отримав механізм з паралельною кінематикою – гексапод, який часто називають платформою Стюарта. Механізм утворений шістьма однаковими кінематичними ланками, що поєднують рухому та нерухому платформи. Зміна відстані між шарнірами даних платформ дозволяє формувати складні просторові переміщення рухомої платформи.

При проектуванні механізмів з паралельною кінематикою важливо визначити умову ефективного функціонування верстата, тобто здійснення ним необхідних рухів, які реалізуються відповідним переміщенням та орієнтацією виконавчого органу [1,2,3].

Пропонується оцінювати функціонування ВПК, виходячи з умов реалізації рухів під кутом, що наприклад необхідно для обробки отворів під кутом, де рухома платформа здійснює відповідний рух подачі.

Для ефективного виконання заданих операцій необхідно мати обґрунтоване визначення конструктивних параметрів ВПК. Таке функціонування верстата можливе при наявності геометрично вільного простору, який являє собою робочий простір

(простір функціонування) ВПК, обмеженого основою, верхньою нерухомою плитою та боковими стінками (рис.1). На рис.1.а зображено зони функціонування ВПК, у верхньому положенні рухомої платформи. З рухом інструменту вниз конструктивна зона та зона інструменту також зміщується вниз, зменшуючи зону установчих рухів. На рис.1.б та рис.1.в показано зони функціонування ВПК в положенні рухомої платформи на початку та кінці обробки периферійних отворів відповідно. Важливою складовою зон функціонування ВПК є повна зона обслуговування механізму з паралельною кінематикою, яка представлена на рис.1.г. Обґрунтоване визначення величини робочого простору, відповідно до технологічного призначення верстату, дозволяє встановити габаритні його розміри, доцільні розміри використовуваного МПК та ефективні умови роботи верстата. Величина робочого простору, залежно від здійснюваних рухів може оцінюватись різними параметрами. Так при реалізації ВПК лінійних рухів оцінка робочого простору може здійснюватись лінійними розмірами: висотою -  $H_{ВПК}$ , діаметром -  $D_{ВПК}$  та ін. При виконанні рухів в площині ця оцінка повинна здійснюватись величиною площі робочого простору ВПК в потрібних напрямках рухів -  $S_{ВПК}$ . Відповідним чином повинна виконуватись оцінка в об'ємному просторі  $V_{ВПК}$  [2].

Після визначення робочого простору ВПК, у відповідності до умов обробки деталі та можливого функціонування МПК враховуються особливості руху кінематичних ланок ВПК, а відповідно і виконавчого органу, який за рахунок поступальних переміщень ланок може здійснювати лінійні та обертові рухи виконавчого органу (рис.2.а). В цьому робочому просторі ВПК можна виділити п'ять основних зон. Першочергово розглянемо зону переміщень вершини інструменту, яка приймає безпосередню участь в процесі обробки і охоплює слідуючі зони функціонування ВПК: технологічну, резервну технологічну і установчих рухів (рис.3). Остання при деяких умовах, може складати зону обробки. Комплекс цих зон слід вважати як загальну зону обслуговування ВПК. Наступна зона, це зона яку займає ріжучий інструмент.

Зона переміщення рухомої платформи з приводом шпиндельного вузла та кінематичними ланками складає конструктивну зону, що є третьою складовою робочого простору ВПК. Як четверту зону можна розглядати зону нереалізуємих рухів, так як вона знаходиться нижче основи ВПК. Під основу ВПК може бути встановлена додаткова станина, яка піднімає верстат на необхідну висоту (на схемах не показано), що забезпечує зручні умови для обслуговування верстата та контролю за його роботою. П'ята зона – це недосяжна зона в робочому просторі ВПК.

Розглядаючи обробку під кутом, бачимо що така обробка може вестись з однієї сторони деталі (рис.1.а) або з іншої (рис.2.а). Аналізуючи робочий простір обробки під кутом доцільно поєднати в єдиний робочий простір обробки під кутом з різних боків (рис.2.б).

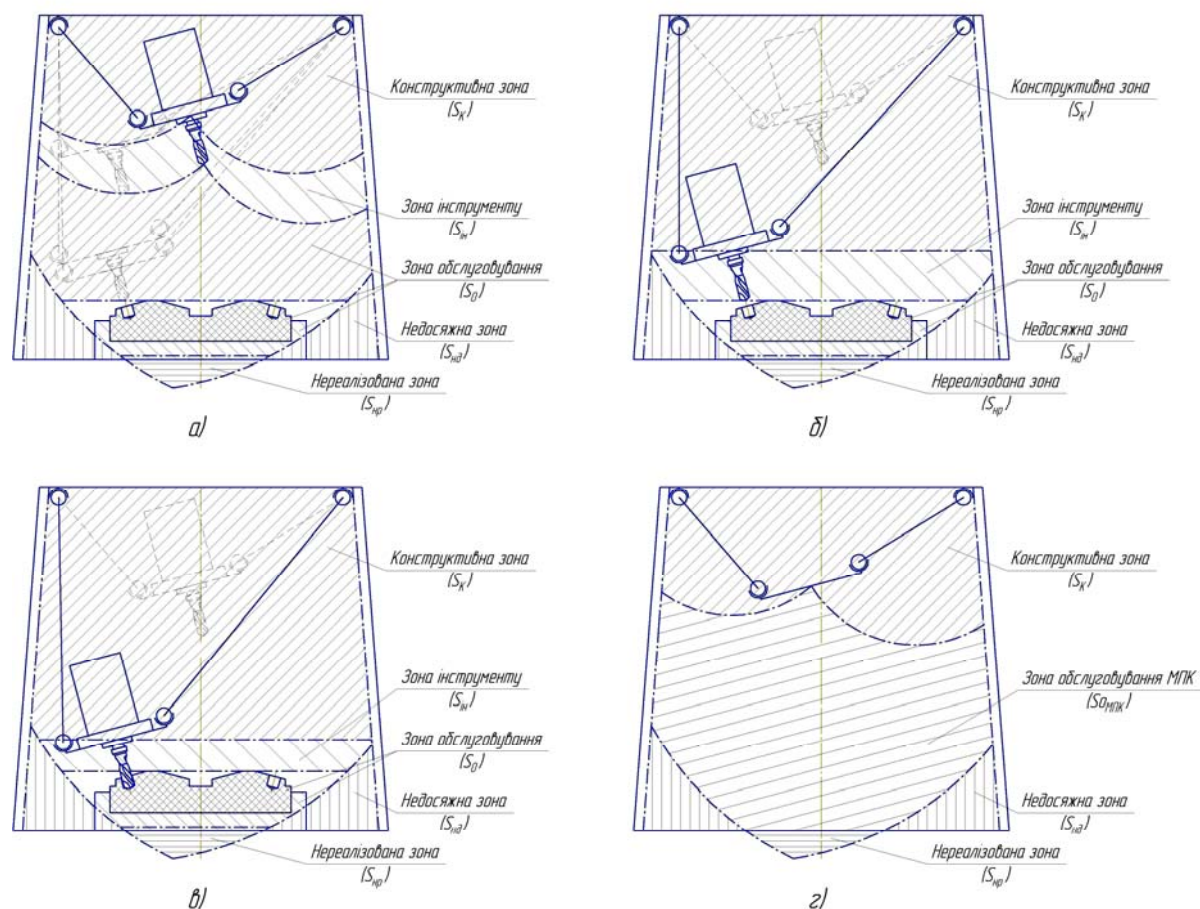


Рисунок 1 – Формування зон робочого простору при обробці під кутом

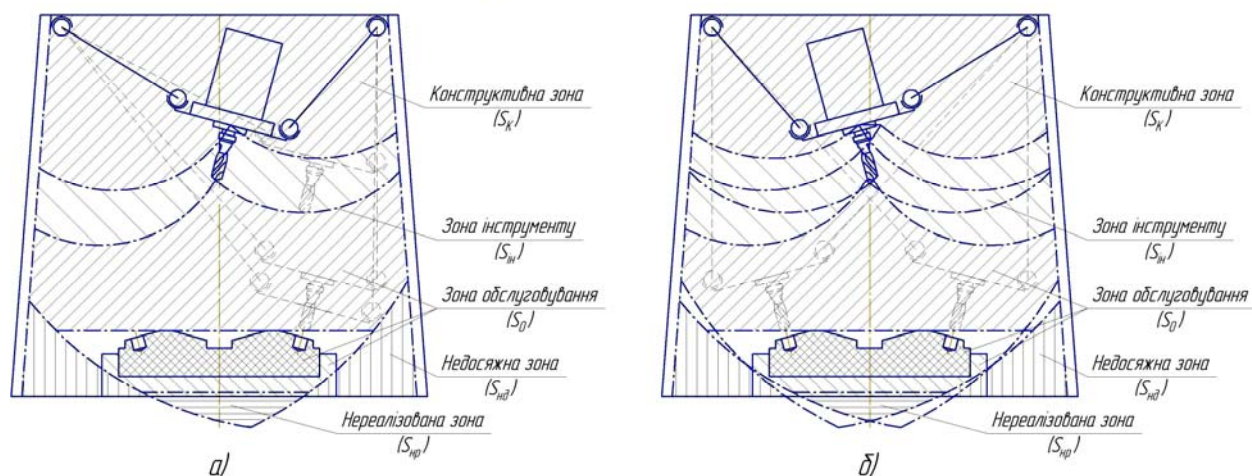


Рисунок 2 – Робочий простір ВПК при обробці під кутом

Виходячи з умови функціонування верстата при свердлінні вказаних отворів переходимо до визначення його конструктивних параметрів. Для цього використовуємо наведену розрахункову схему рис.3 з узагальненим позначенням зон та параметрів ВПК. На даній схемі представлено позначення:  $a, b$  - відповідно розмір (діаметр) нерухомої та рухомої платформ;  $L$  - довжина штанги в проміжному

положенні знаходиться в межах  $l_{\min} \leq L \leq L_{\max}$ ;  $h_{\min}$  - мінімальне положення рухомої платформи по вісі симетрії гексапода,  $H_{\max}$  - максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні;  $H_{\partial}$  - висота деталі;  $D_{\partial}$  - загальний розмір (діаметр) оброблюємої деталі;  $l_o$  - глибина оброблюваного отвору;  $H_Y$  - величина від вершини інструмента у вихідному положенні до початку обробки;  $T$  - зміщення оброблюємих отворів по відношенню до осі симетрії верстату (в межах  $0 \leq T \leq \max$ ),  $\varphi$  - кут нахилу отвору;  $H_{in.}$  - висота інструменту  $H_{in.}$ ;  $H_{TP.}$ ,  $H_{Y\max.}$ ,  $H_{к.з.}$  - висота відповідно резервної технологічної зони, максимальних установчих рухів та конструктивна.

Для забезпечення доцільних умов обробки приймаємо умову, що в крайньому із відхилених положень штанг, вона займає вертикальне положення. Забезпечення даної вимоги можливо при умові  $a = 2T + b \cdot \cos \varphi + 2(H_{in.} + H_Y) \cdot \sin \varphi$ .

Відстань між опорами рухомої платформи  $b$  та мінімальну довжину кінематичної ланки  $l_{\min}$  приймаємо з попередніх досліджень. [4]

З вище запропонованої методики поділу робочого простору верстату з паралельною кінематикою на зони та дослідження розмірів представлених зон пропонується проаналізувати положення рухомої платформи при обробці під кутом. В представленій розрахунковій схемі (рис.3) розглянуто варіант обробки до осі з однієї сторони деталі. Обробка отвору з іншої сторони деталі визначається подібним чином.

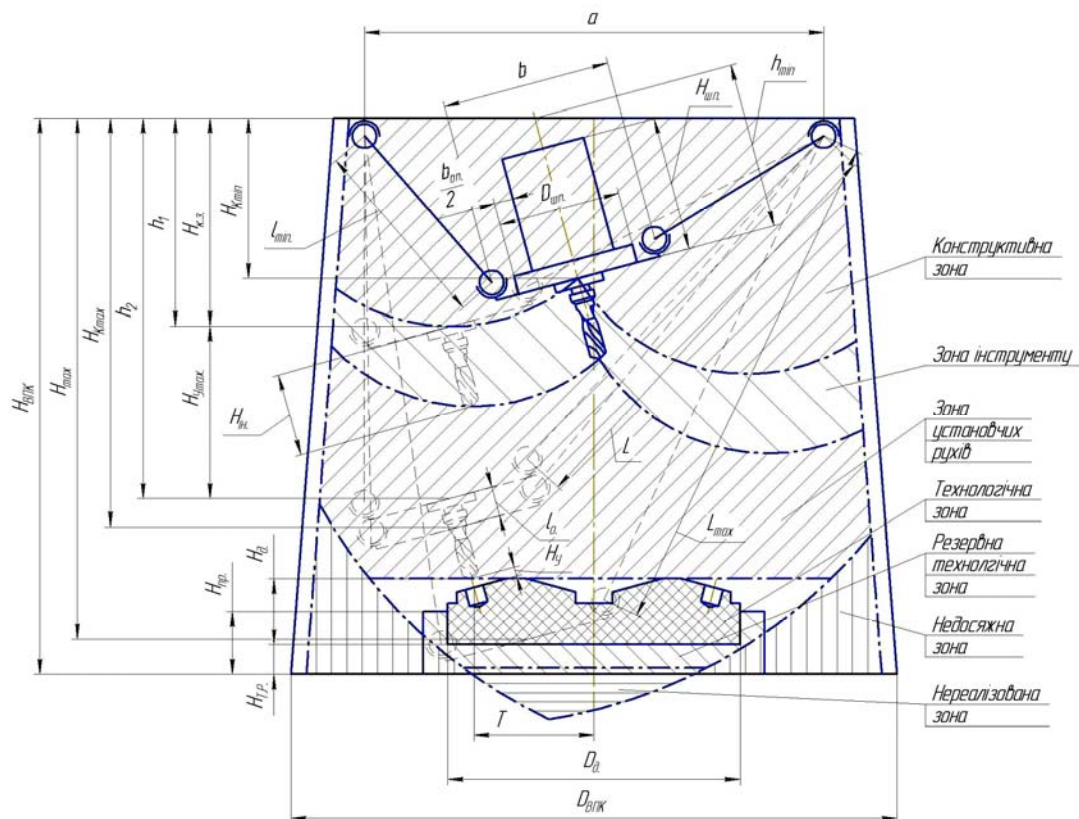


Рисунок 3 – Розрахункова схема гексапода для свердління під кутом з позначенням зон та параметрів ВПК

Визначаємо основні положення рухомої платформи:

- мінімальне положення рухомої платформи при відхиленні на кут  $\varphi$

$$H_{K \min} = h_{\min} \cdot \cos \varphi = \sqrt{l_{\min}^2 - \left( \frac{a - b \cdot \cos \varphi - 2(H_{in.} + H_{y.}) \cdot \sin \varphi - 2T}{2} \right)^2} - \frac{b}{2} \cdot \sin \varphi;$$

- положення рухомої платформи при зміщенні її для обробки периферійних отворів  $h_1 = l_{\min} - \frac{b}{2} \sin \varphi$ ;

- положення на початку обробки периферійних отворів  $h_2 = l_{\min} - \frac{b}{2} \sin \varphi + H_{y \max}$ ;

- положення в кінці обробки периферійних отворів  $H_{K \max} = (h_{\min} + l_o + H_{y.}) \cdot \cos \varphi = H_{K \min} + (l_o + H_{y.}) \cdot \cos \varphi$ ;

де довжина штанги в кінці обробки периферійних отворів:

$$L = \sqrt{\left( H_{K \max} - \frac{b}{2} \cdot \sin \varphi \right)^2 + \left( \frac{a - b \cdot \cos \varphi + 2(H_{in.} + H_{y.}) \cdot \sin \varphi + 2T}{2} - (l_o + H_{y.}) \cdot \sin \varphi \right)^2}.$$

Максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні  $H_{\max}$ , досягається при максимальній довжині однієї або обох штанг  $L_{\max}$ .

За даних умов руху виконавчого органу під кутом також важливо виконувати більш загальну оцінку якості механізмів з паралельною кінематикою, що є відношенням реальної (обслуговуваної) величини переміщення до теоретично можливої [2]. Якщо взяти за приклад переміщення в площині, то це відношення буде:

$$K_{n.n.} = \frac{S_{P_{mnk}}}{S_{T_{mnk}}} = \frac{S_o}{S_T},$$

де  $S_{P_{mnk}} = S_o$  - величина реального переміщення (площа), яка дорівнює величині площі зони обслуговування;

$S_T$  - величина (площа) теоретично можливого переміщення, яка дорівнює (рис.1.г):

$$S_T = S_K + S_o + S_{нд} + S_{нр},$$

де  $S_K, S_o, S_{нд}, S_{нр}$  - відповідно величина конструктивної, обслуговуючої, недосяжної та нереалізованої зон.

Подібним чином можлива оцінка співвідношення окремих зон як між собою так і по відношенню до загальної робочої зони (простору) ВПК. Кінцеве визначення конструктивних параметрів повинно враховувати ряд інших вимог до його функціонування.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. В роботі проаналізовано робочий простір верстатів з паралельною кінематикою при обробці під кутом за умови ведення обробки з різних боків деталі.

2. Графічно було визначено, як впливає кут нахилу виконавчого органу на форму слідуючих функціональних зон, а саме: технологічну; резервну технологічну; інструменту; установчих рухів; конструктивну, обслуговування, недосяжну, нереалізовану.

3. Аналіз положень рухомої платформи дозволить в майбутньому оцінити розміри всіх складових зон та визначити обґрунтовані конструктивні параметри ВПК.

4. Дослідження приведені в даній роботі показують, що при нахилі платформи на заданий кут при обробці під кутом зона обслуговування МПК відхиляється від осі

симетрії ВПК в сторону протилежну нахилу інструменту.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування./ Павленко І.І. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420с.
2. Павленко І.І., Валявський І.А. Рухові характеристики верстатів з паралельною кінематикою / І.І. Павленко, І.А. Валявський / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – Вип.21 - С.128-134.
3. Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. Аналіз впливу конструктивних параметрів МПК на рух платформи під кутом. / Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2011. – Вип.24. ч.1. - С.279-283.
4. 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.

**I.Pavlenko, D. Vakhnichenko**

*Kirovograd State Union University*

**Analysis workspace tools with parallel kinematics in the processing of parts at an angle**

When designing mechanisms with parallel kinematics is important to determine the condition of the effective functioning of the machine, ie, the exercise of the necessary movements that are performed within the movement and orientation of the executive body. It is proposed to assess the functioning of machines by mechanisms with parallel kinematics (MPK), based on the conditions of movements at an angle such that the need for treatment holes at an angle where the mobile platform provides an appropriate traffic flow.

For the effective implementation of the set operations must be informed determine design parameters machines by MPK. This machine operation is possible in the presence of geometric space, which is a working space (function space) machines by MPK limited basis, fixed top plate and side walls.

This paper analyzes the workspace tools with parallel kinematics in the processing angle for conditions of handling parts from different angles. Graphically, it was determined the effect of the angle of the executive body of the form by following functional areas, namely technology, backup technology, tools, founding movements, structural, maintenance, unattainable, unrealized. The study presented in this paper show that the tilting platform to set the angle at the point of processing the service area of the MPK deviates from the axis of symmetry of the machines by MPK in the direction opposite to tilt the tool.

**machine, hexapod, MPK, PKM, machine with parallel kinematics**

Одержано 11.04.13