

## 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

В статті досліджується зони робочого простору верстатів з паралельною кінематикою при виконанні типових технологічних рухів.

**верстат, гексапод, МПК, ВПК, верстат з паралельною кінематикою**

Верстати з паралельною кінематикою (ВПК) мають перспективу використання при обробці деталей складної форми, де необхідні рухи інструменту в різних напрямках, під різними кутами. Механізми з паралельною кінематикою (МПК) є основою виконання таких верстатів. 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]. Найбільш поширеним конструктивним виконанням ВПК є верстати-гексаподи.

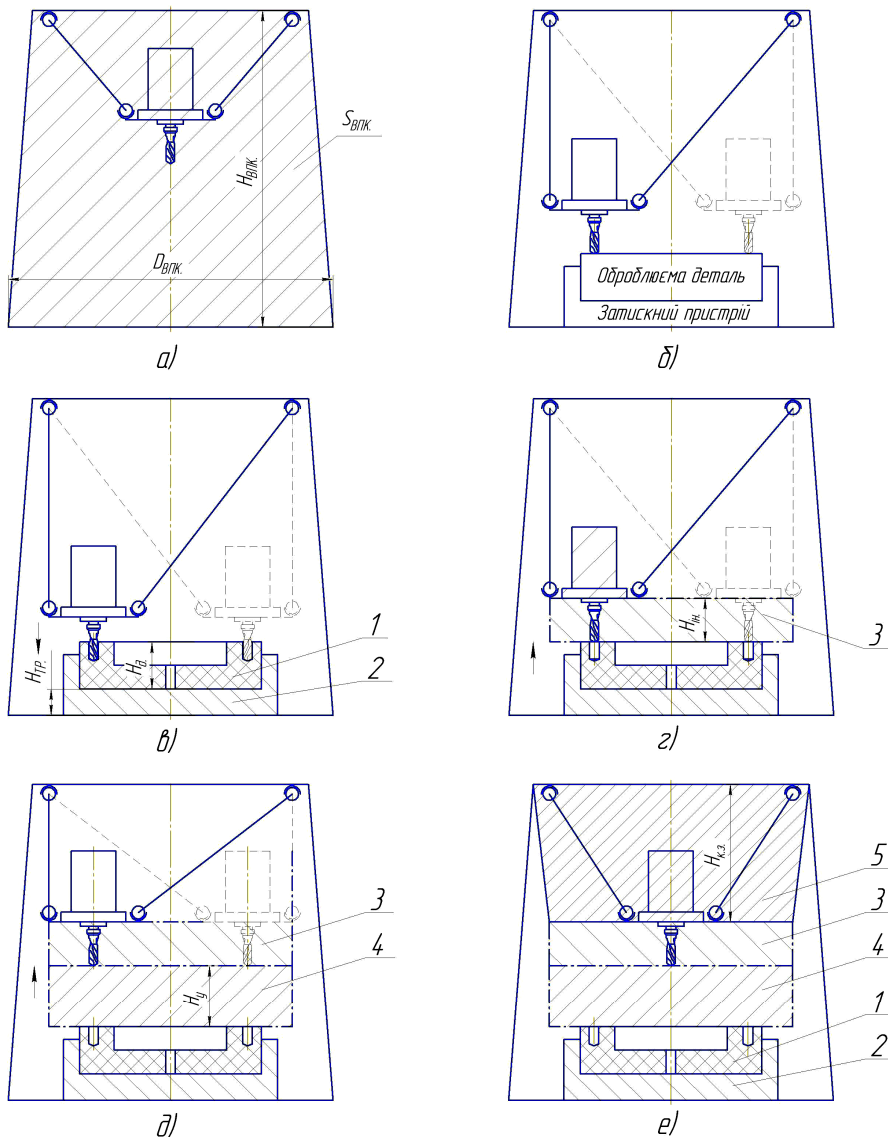
Для ефективного виконання заданих операцій необхідно мати обґрунтоване визначення конструктивних параметрів ВПК. Таке функціонування верстата можливе при наявності геометрично вільного простору, який являє собою робочий простір (простір функціонування) ВПК, обмеженого основою, верхньою нерухомою плитою та боковими стінками (рис.1а). Обґрунтоване визначення величини цього 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].

Початком формування робочого простору ВПК є визначення необхідних рухів різального та іншого інструменту для здійснення яких, у відповідності до умов обробки деталі, необхідна наявність простору, який можна назвати технологічним простором (зоною). В подальшому на рис.1 поетапно показано процес формування зон, а відповідно загального робочого простору ВПК. Так, на рис.1б. показано вихідне положення різального інструменту перед початком обробки. За цим положенням відбувається обробка одного (рис.1в.), а потім подібно і інших отворів. Для здійснення цього процесу ріжуча частина інструменту послідовно переміщується в оброблюваній деталі ( $H_{\partial}$ ), що і складає висоту технологічної зони – поз.1. Як резервну технологічну зону ( $H_{тр.}$ ) слід розглядати простір, який займає технологічний пристрій для встановлення в нього оброблюваної деталі. При цьому враховується, що такий пристрій

може мати різні розміри або взагалі може бути відсутній. На рис.1.в – ця зона позначена поз.2. Фізична реалізація вказаних технологічних рухів можлива при наявності додаткового робочого простору (зони), який займається ріжучим інструментом та пристроєм його кріплення  $H_{ін.}$ , рис.1г. - поз.3.

Для здійснення рухів по переміщенню інструменту у вихідні позиції обробки різних отворів ( $H_{у.}$ ) повинна бути зона установчих рухів – рис1д., поз.4. Вище верхньої границі позиції 3, в режимі установчих рухів, знаходиться конструктивна зона 5 (рис.1.е), яка необхідна для здійснення функціональних рухів штанг (кінематичних ланок). Величина цієї зони  $H_{к.з.}$  залежить від особливостей конструктивного виконання МПК, його параметрів та необхідних рухів виконавчого органу, а також розмірів привода шпиндельного вузла. При чому, на різних етапах роботи ВПК зони можуть змінювати своє положення та розміри. Таким чином, загальна висота ВПК буде:

$$H_{ВПК} = H_{о.} + H_{ТР.} + H_{ін.} + H_{у.} + H_{к.з.}$$



- 1 – Технологічна зона; 2 – Резервна технологічна зона; 3 – Зона інструменту; 4 – Зона установчих рухів;  
5 – Конструктивна зона.

Рисунок 1 – Схема формування робочого (функціонального) простору ВПК

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. Все це дозволяє внести уточнення у формування робочого простору (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 слідуєчі зони функціонування ВПК: технологічну, резервну технологічну і установчих рухів. 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 основою 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. На рис.2.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.2.б та рис.2.в показано зони функціонування ВПК в положенні рухомої платформи на початку та кінці обробки периферійних отворів відповідно. Важливою складовою зон функціонування ВПК є зона функціонування самого механізму з паралельною кінематикою, яка представлена на рис.2.г.

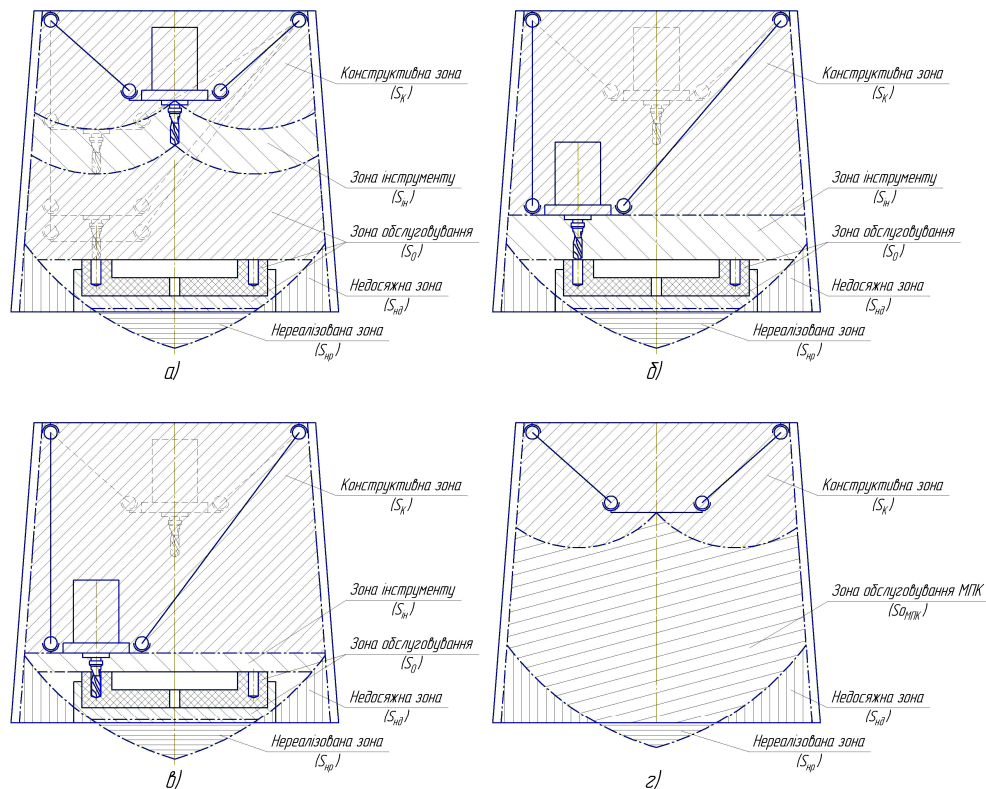


Рисунок 2 – Зони робочого простору

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:

$a, b$  - відповідно розмір (діаметр) нерухомої та рухомої платформ;

$L$  - довжина штанги в проміжному положенні;

$L_{\max}$  - максимальна довжина штанги;

$l_{\min}$  - мінімальна довжина штанги;

$l_{обр.}$  - глибина оброблюваного отвору;

$h_{\min}$  - мінімальне положення рухомої платформи по вісі симетрії гексапода;

$h_1$  - положення рухомої платформи при її зміщенні для обробки периферійних

отворів;

$h_2$  - положення на початку обробки периферійних отворів;

$H$  - максимальне положення рухомої платформи гексапода при обробці заданих отворів;

$H_{\max}$  - максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні;

$H_{ин.}$  - висота інструменту;

$H_{\partial.}$  - висота деталі;

$H_{ТР.}$  - висота резервної технологічної зони;

$H_{у\max.}$  - максимальна зона установчих рухів (для даного прикладу);

$H_{к.з.}$  - висота конструктивної зони;

$H_{ВПК.}$  - загальна висота верстата;

$D_{обр.}$  - розміщення оброблюємих отворів по відношенню до осі симетрії верстату;

$D_{\partial.}$  - загальний розмір (діаметр) оброблюємої деталі;

$D_{ВПК.}$  - загальна ширина (діаметр) верстата.

Для силового варіанту обробки приймаємо умову, що в крайньому із відхилених положень штанг, вона займає вертикальне положення. Забезпечення даної вимоги можливо при умові  $a = D_{обр.} + b$ .

Відстань між опорами рухомої платформи:

$$b = D_{ин.} + b_{он},$$

де  $D_{ин.}$  - діаметр (габарит) шпindelного вузла;

$b_{он}$  - розміри опорних вузлів.

Мінімальна довжина штанги  $l_{\min}$  визначається параметрами конструкції штанги, конструкції опори, силовими особливостями експлуатації механізму, висотою шпindelного вузла  $H_{ин.}$  (при наявності обмежень з боку верхньої частини нерухомої платформи ВПК) та ін.

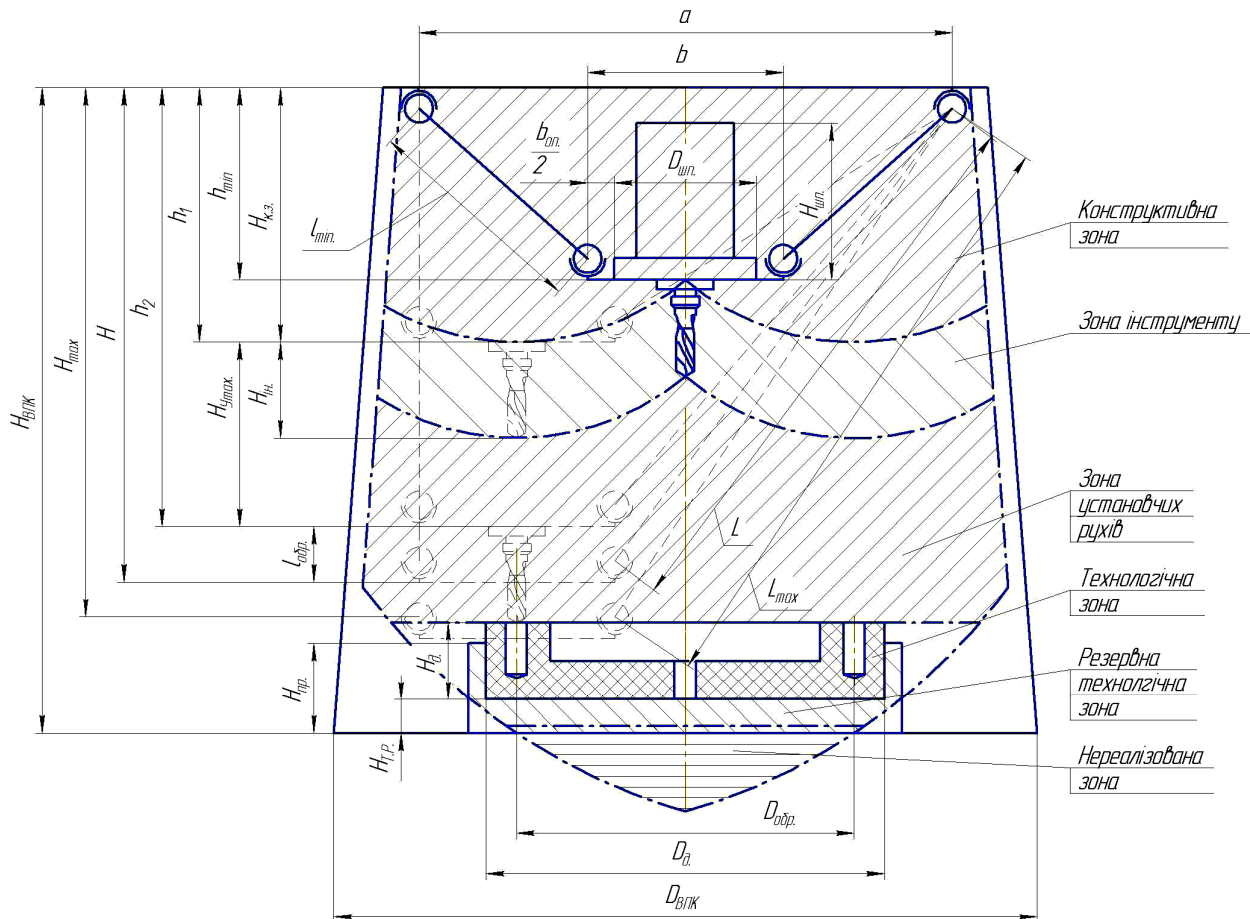


Рисунок 3 – Розрахункова схема гексапода для свердління з позначенням зон та параметрів ВПК

Визначаємо основні положення рухомої платформи:

- мінімальне положення рухомої платформи по вісі симетрії ВПК

$$h_{\min} = \sqrt{l_{\min}^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2};$$

- положення рухомої платформи при зміщенні її для обробки периферійних

отворів  $h_1 = l_{\min}$ ;

- положення на початку обробки периферійних отворів  $h_2 = l_{\min} + H_{\text{от max}}$ .

- положення в кінці обробки периферійних отворів

$$H = h_2 + l_{\text{обр}} = \sqrt{L^2 - (a-b)^2},$$

де довжина штанги в кінці обробки периферійних отворів:

$$L = \sqrt{\left(h_1 + H_{\text{у max}} + l_{\text{обр}}\right)^2 + (a-b)^2};$$

- максимально можливе положення рухомої платформи в резервній

технологічній зоні  $H_{\text{max}} = \sqrt{L_{\text{max}}^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2},$

де максимальна довжина штанги:  $L_{\text{max}} = \sqrt{\left(H_{\text{ВПК}} - H_{\text{ін}}\right)^2 + (a-b)^2}.$

Важливим підсумковим, показником якості механізму з паралельною кінематикою (рис.2.г) є відношення 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.2.г):

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

де  $S_k, S_o, S_{нд}, S_{нр}$  - відповідна величина конструктивної, обслуговувальної, недосяжної та нереалізованої зон.

Подібно можна визначити якість верстата з паралельною кінематикою (рис.2.а):

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

де  $S_o$  - обслуговувана зона визначається:

$$S_o = S_{mex.} + S_{TP} + S_Y,$$

де  $S_{mex.}, S_{TP}, S_Y$  - відповідно технологічна, технологічно резервна зони та зона установчих рухів.

$S_T$  - теоретично можлива зона визначається:

$$S_T = S_k + S_{ін} + S_Y + S_{mex.} + S_{TP} + S_{нд} + S_{нр}.$$

В цю складову окремо включається зона інструменту  $S_{ін}$ .

Особливо важливим є показник відношення величини технологічної зони по відношенню до загальної теоретично можливої. В наведеному прикладі при руху в площині це співвідношення буде:

$$K_{n.n.} = \frac{S_{mex.}}{S_T}.$$

Подібним чином можлива оцінка співвідношення окремих зон як між собою так і по відношенню до загальної робочої зони (простору) ВПК.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. В роботі запропоновано методику визначення робочого простору верстатів з паралельною кінематикою.
2. В робочому просторі ВПК можна виділити наступні функціональні зони: технологічну; резервну технологічну; інструменту; установчих рухів; конструктивну, обслуговування, недосяжну, нереалізовану.
3. На кожну функціональну зону мають вплив свої параметри. Так на технологічну зону і зону інструменту впливають лише технологічні складові, на зону

установчих рухів, резервну технологічну зону впливають конструктивні та технологічні складові; на конструктивну зону лише конструктивні складові.

4. Аналіз всіх складових зон дозволить обґрунтовано визначити конструктивні параметри ВПК, що підвищить ефективність його функціонування.

## 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., Валявський І.А. Дослідження впливу конструктивних параметрів механізму паралельної структури на функціональні можливості верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І.І., Валявський І.А. / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин – Кіровоград: КНТУ, 2008.- вип. 38 ч.1. -С.284-287.
4. 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.

*И.Павленко, Д.Вахниченко*

**Анализ рабочего пространства станков с параллельной кинематикой.**

В статье исследуются рабочие пространство станков с параллельной кинематикой при выполнении типовых технологических операций.

*I.Pavlenko, D. Vakhnichenko*

**Definition of design data MPK at performance of typical technological movements.**

In article design data of machine with parallel kinematics are defined at performance of typical technological movements of the mechanism tool with parallel kinematics.

Одержано 17.04.12