

## УДК 621.9.06

**І.А. Валявський, канд. техн. наук, Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,*  
*ivanvia@yandex.ru*

# Дослідження впливу компоувальної схеми та діапазону зміни довжини кінематичних ланок на просторові рухові характеристики гексаподів

В статті розглянуто вплив конструктивних параметрів (компоувальної схеми та діапазону зміни довжини кінематичних ланок) на розміри та об'єм робочого простору верстата-гексапода.  
**верстат, гексапод, проектування, рухові характеристики, робочий простір**

**И.А. Валявский, канд. техн. наук, Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*  
**Исследование влияния компоновочной схемы и диапазона изменения длины кинематических звеньев на пространственные двигательные возможности гексаподов**

В статье рассмотрено влияние конструктивных параметров (компоновочной схемы и диапазона изменения длины кинематических звеньев) на размеры и объем рабочего пространства станка-гексапода.  
**станок, гексапод, проектирование, двигательные характеристики, рабочее пространство**

**Постановка проблеми.** Використання механізмів паралельної структури та створення на їх основі верстатів з паралельною кінематиєю (ВПК) є одним з напрямків вирішення задачі розширення функціональних можливостей металорізальних верстатів. Подібні верстати мають високу продуктивність та дозволяють вести обробку деталей складної конфігурації.

Одним з найбільш розповсюджених варіантів є використання механізму паралельної структури типу гексапод, побудованого на основі кінематичного з'єднання шести кінематичних ланок змінної довжини, який в сукупності з виконавчим органом забезпечує створення верстата-гексапода [1]. Проектування подібних верстатів є досить складною задачею внаслідок їх специфічних властивостей. Тому визначення найбільш раціональних конструктивних параметрів основних елементів ВПК є актуальною проблемою верстатобудування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати попередніх теоретичних досліджень показують, що на геометричні характеристики робочого простору (РП) (форму, параметри, розташування та об'єм) (рис. 1) впливають наступні чинники:

- компоувальна схема верстата;
- довжини кінематичних ланок та їх рухи;
- співвідношення розмірів виконавчого органу (ВО) і несучої системи.

Основні параметри РП, які необхідно дослідити – це його форма, висота  $h_{рп}$ , діаметр  $d_{рп}$  описаного навколо РП кола та об'єм  $v$  (рис. 1, б).

При дослідженні використовувались математичні залежності, отримані при вирішенні зворотної задачі кінематики багатокоординатних просторових механізмів [2]. Дослідження проводились шляхом моделювання РП верстата-гексапода [3] при зміні заданих конструктивних параметрів та визначення геометричних характеристик РП (висота, діаметр, об'єм).

**Постановка завдання.** Дослідити вплив на параметри РП верстата-гексапода наступних чинників:

- компоувальної схеми;
- діапазону зміни довжини кінематичних ланок.

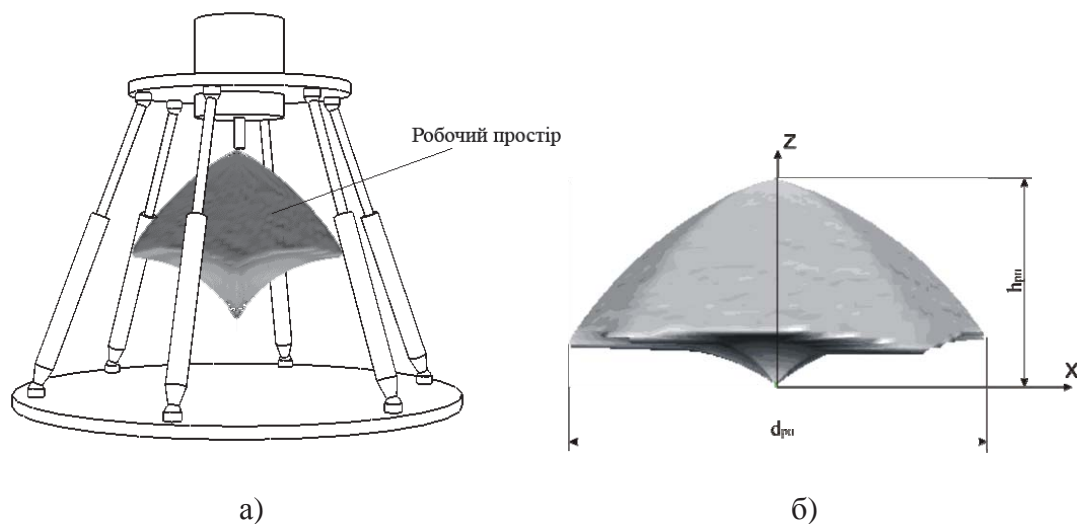


Рисунок 1 – Робочий простір верстата-гексапода: а) розташування; б) параметри

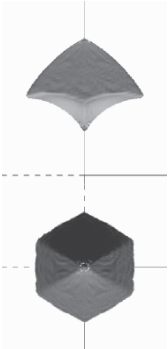
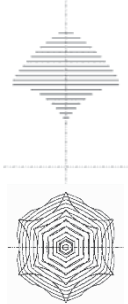
Джерело: розроблено автором

#### Виклад основного матеріалу.

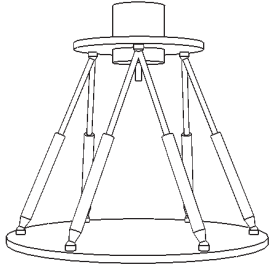
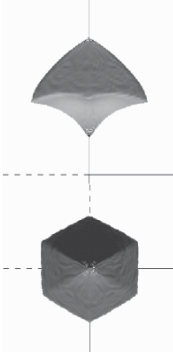
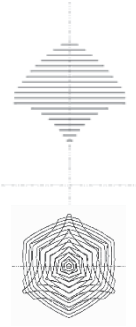
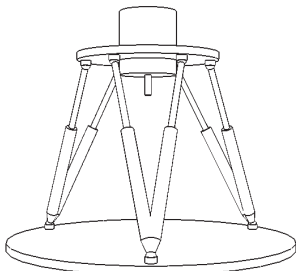
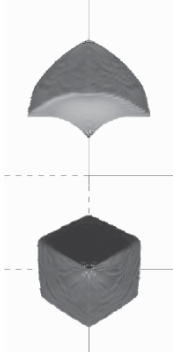
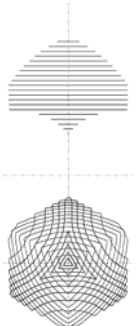
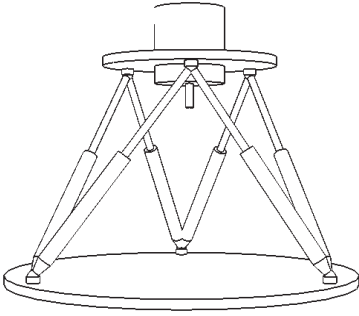
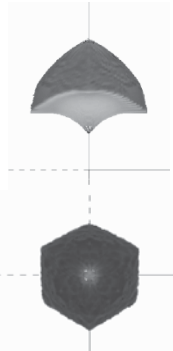
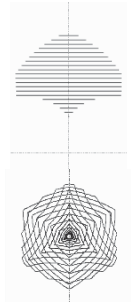
Компоувальна схема верстата характеризується кількістю груп опорних шарнірів кінематичних ланок, які змонтовані на несучій системі та ВО, що визначається структурою компоувки  $N \times S$ .

Узагальнені компоувальні схеми відомих верстатів-гексаподів відрізняються взаємним розташуванням кінематичних ланок у конструкції ВПК та відповідною різноманітністю форми робочого простору (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність форми РП від компоувальної схеми верстата

Компоувальна схема та її структура	Робочий простір	
	об'ємна форма	у вигляді ліній рівня
1	2	3
 $N \times S = 6 \times 6$		

Продовження таблиці 1

1	2	3
 <p data-bbox="339 577 467 611"><math>N \times S = 6 \times 3</math></p>		
 <p data-bbox="339 976 467 1010"><math>N \times S = 3 \times 6</math></p>		
 <p data-bbox="339 1406 467 1440"><math>N \times S = 3 \times 3</math></p>		

*Джерело: розроблено автором*

При дослідженнях верстатів-гексаподів з різними компоувальними схемами, їх РП визначалися як об'ємна форма та у вигляді ліній рівня (поперечних перерізів) з метою коректного порівняння досліджуваних параметрів. Наведені форми РП показують, що зміна його розмірів та конфігурації відбувається по-різному, залежно від компоувальної схеми верстата.

Кожна компоувальна схема верстата-гексапода утворює відповідну форму РП з різними параметрами, що характеризується коефіцієнтом рухових можливостей в об'ємі ( $v/V$ ) [4], який визначається відношенням реального об'єму РП до теоретично можливого.

Найбільший об'єм РП мають верстати, виконані за структурою  $N \times S = 6 \times 6$ , а найменший – верстат за структурою  $N \times S = 3 \times 3$  (рис. 2). Але верстат-гексапод, виконаний за компоувальною схемою структури  $N \times S = 3 \times 3$ , має найбільшу висоту РП при найменшій величині діаметра, а верстат структури  $N \times S = 6 \times 6$  має найменшу висоту та досить значну величину діаметра РП. Таким чином, зменшення кількості груп

опорних шарнірів на несучій системі та ВО зменшує об'єм РП:  $N \times S = 3 \times 6$  – в 1,11 рази,  $N \times S = 6 \times 3$  – в 1,20 рази,  $N \times S = 3 \times 3$  – в 1,42 рази порівняно зі структурою  $N \times S = 6 \times 6$ .

Отже, для обробки деталей у вигляді високого циліндра ( $H > D$ ) доцільно застосовувати компоувальну схему верстата структури  $N \times S = 3 \times 3$ , а для обробки деталей типу дисків ( $H < D$ ) – верстат-гексаподи зі структурою  $N \times S = 6 \times 6$ . Верстат-гексаподи, створені за іншими запропонованими компоувальними схемами ( $N \times S = 3 \times 6$  та  $N \times S = 6 \times 3$ ) мають значення параметрів та об'єму РП у діапазоні між розглянутими вище компоувальними схемами верстатів.

Поточне положення ВО під час обробки різноманітних поверхонь деталей забезпечується відповідною зміною довжини кожної кінематичної ланки залежно від геометричної форми та просторового положення оброблюваних поверхонь, що визначає реалізацію необхідних траєкторій формоутворюючих рухів інструмента. При виконанні математичного моделювання та експериментальних досліджень довжина кінематичних ланок змінювалася від  $l = 500$  мм до  $L = 800$  мм. Враховуючи забезпечення необхідної жорсткості кінематичних ланок та мінімальних пружних деформацій стрижневої просторової конструкції МПС як основного компонента верстата-гексапода, слід зауважити, що співвідношення  $l/L$  не повинне перевищувати значення 0,5 при використанні кінематичних ланок телескопічного виконання при довжині прямої втулки, яка не менша  $0,2l$ .

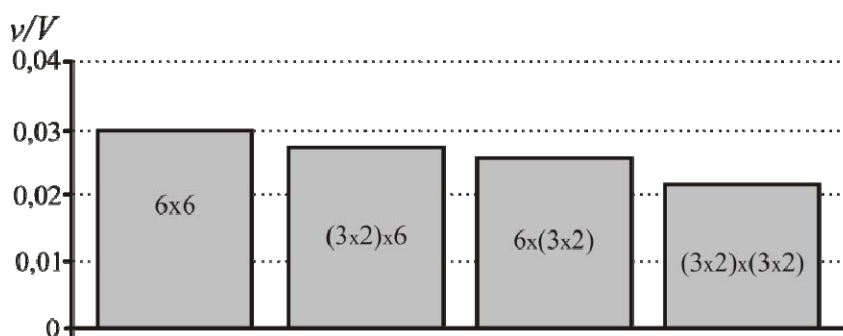


Рисунок 2 – Залежність рухових можливостей гексаподів в об'ємі від компоувальної схеми  
Джерело: розроблено автором

Збільшення величини переміщення кінематичних ланок обумовлює зміну форми та параметрів РП (рис. 3) та збільшення його об'єму (рис. 4, а).

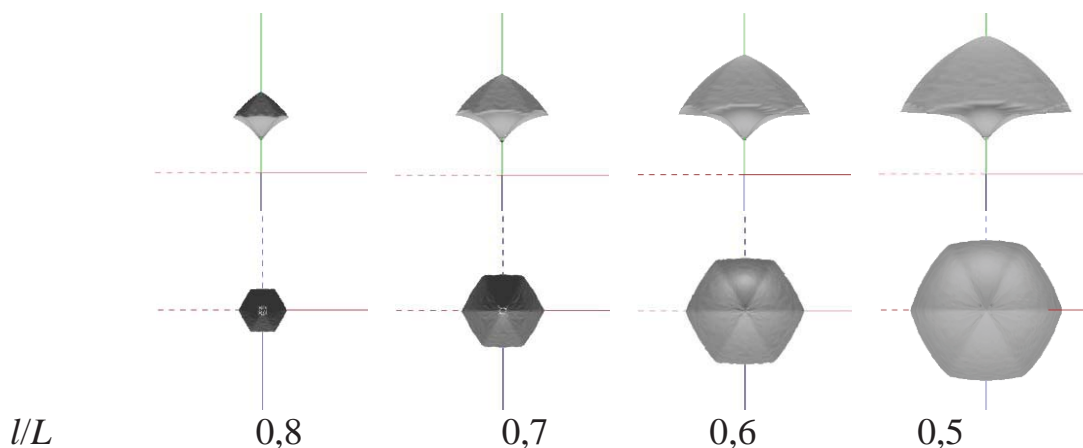
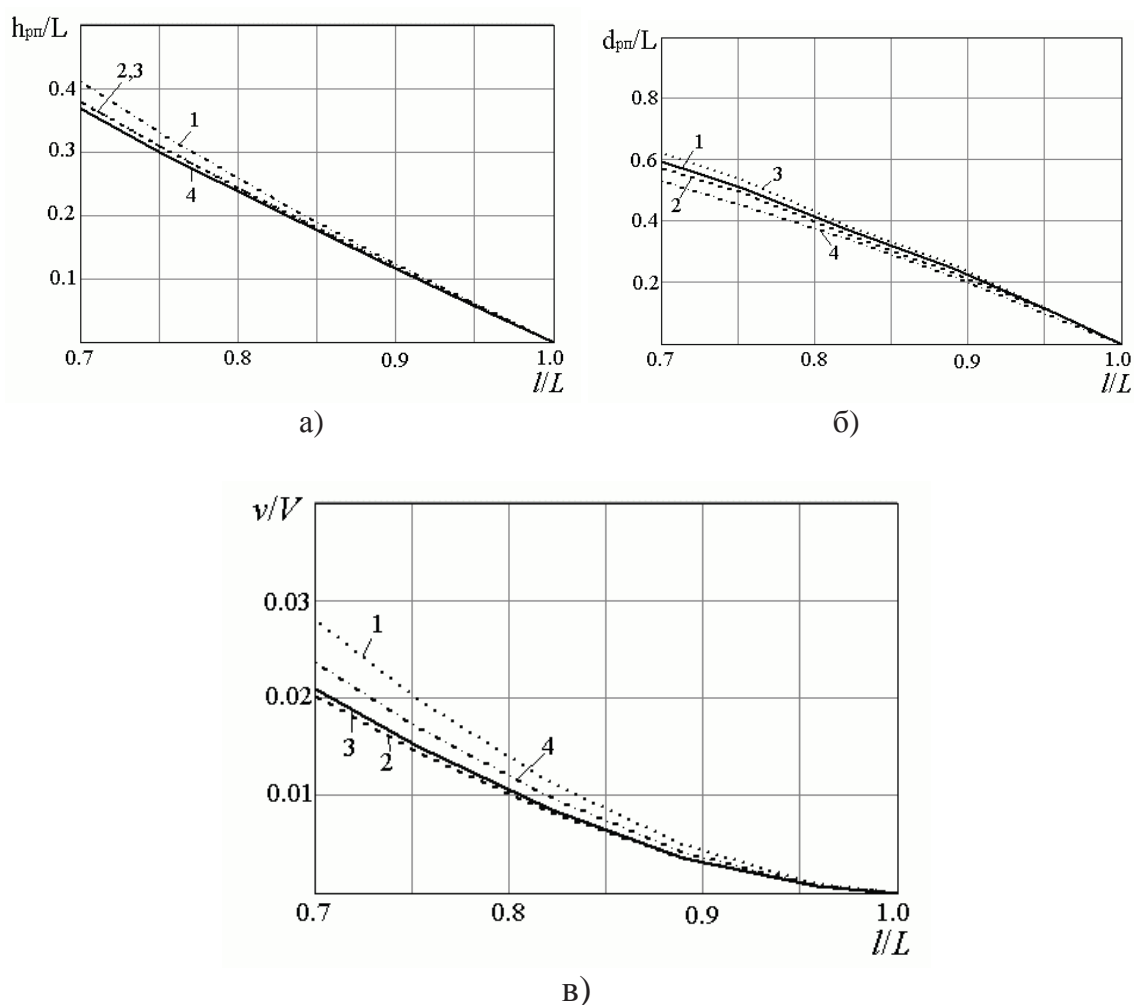


Рисунок 3 – Залежність форми і розмірів РП від діапазону зміни довжини кінематичних ланок ( $l/L$ )  
Джерело: розроблено автором

Збільшення об'єму РП при збільшенні діапазону зміни довжини кінематичних ланок відбувається за рахунок збільшення його діаметра ( $d_{рп}$ ) та висоти ( $h_{рп}$ ) (рис. 4, б, в). При збільшенні діапазону зміни довжини кінематичних ланок від 0,7 до 1,0 співвідношення діаметра РП та максимальної довжини кінематичної ланки ( $d_{рп}/L$ ) зменшується майже у 0,6 раза для всіх компоновок, а співвідношення висоти РП до максимальної довжини кінематичної ланки ( $h_{рп}/L$ ) – майже у 0,4 раза. Поряд з цим інтенсивно зменшується коефіцієнт рухових можливостей в об'ємі ( $v/V$ ) – від 0,03 раза (для гексапода структури  $N \times S = 6 \times 6$ ) до 0,02 (для гексаподів структур  $N \times S = (3 \times 2) \times 6$  та  $N \times S = 6 \times (3 \times 2)$ ) (рис. 4, в).

При збільшенні діапазону зміни довжини кінематичних ланок від 0,7 до 1,0 співвідношення діаметра РП та максимальної довжини кінематичної ланки ( $d_{рп}/L$ ) зменшується майже у 0,6 раза для всіх компоновок, а співвідношення висоти РП до максимальної довжини кінематичної ланки ( $h_{рп}/L$ ) – майже у 0,4 раза. Поряд з цим інтенсивно зменшується коефіцієнт рухових можливостей в об'ємі ( $v/V$ ) – від 0,03 раза (для гексапода структури  $N \times S = 6 \times 6$ ) до 0,02 (для гексаподів структур  $N \times S = (3 \times 2) \times 6$  та  $N \times S = 6 \times (3 \times 2)$ ) (рис. 4, в).



1 –  $N \times S = 6 \times 6$ ; 2 –  $N \times S = 6 \times 3$ ; 3 –  $N \times S = 3 \times 6$ ; 4 –  $N \times S = 3 \times 3$

Рисунок 4 – Залежність параметрів робочого простору від діапазону зміни довжин кінематичних ланок ( $l/L$ ): а) зміна висоти РП; б) зміна діаметра РП; в) зміна об'єму РП  
Джерело: розроблено автором

**Висновки.** Установлені залежності між параметрами основних конструктивних елементів верстатів-гексаподів та формою, розмірами й об'ємом РП, дозволяють визначити найбільш раціональні варіанти виконання верстатів-гексаподів залежно від їх функціонального призначення.

## Список літератури

1. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: [навч. посібн.] [Текст] / В.А. Крижанівський, Ю.М. Кузнецов, І.А. Валявський, Р.А. Склярів. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
2. Валявський І.А. Математичне моделювання положення вихідного органу  $l$ -координатного механізму [Текст] / І.А. Валявський, В.А. Крижанівський // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Збірник наук. праць. – Кіровоград: КДТУ. – 2003. – Вип. 12. – С. 223-229
3. Валявський І.А. Графічне моделювання робочого простору верстата-гексапода [Текст] / І.А. Валявський, В.А. Крижанівський // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Збірник наук. праць – Кіровоград: КДТУ. – 2003. – Вип. 13. – С.
4. Павленко І.І. Рухові характеристики верстатів з паралельною кінематикою [Текст] / І.І. Павленко, І.А. Валявський // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Збірник наук. праць – Кіровоград: КНТУ. – 2008. – Вип. 21. – С. 128-134.

**Ivan Valyavsky, PhD tech. sci., Yuriy Kuleshkov, Prof., DSc.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine*

### **Research of design parameters for possibilities of parallel kinematics machine-tools**

Use parallel kinematics machine tools is one of problems solving expanding functional capabilities of machine tools. Hexapod is one of that machine tools. Determining the most efficient design parameters of the hexapod main elements is an urgent problem.

The results of previous theoretical research determined that the design of hexapod and length of struts and their movements influence the geometric characteristics hexapod workspace. Modeling workspace for different layouts of hexapod and obtained graphic dependences between workspace parameters and lengths of kinematic links.

The article considers the influence of the design parameters (lyout of the machine and changing the length of the range of struts) on the shape, size and volume of the working space of the hexapod machine-tool and determine the most efficient execution heksapodiv options depending on their functionality.

**machine-tool, hexapod, engineering, movable possibilities, workspace**

Одержано 03.11.15

## УДК 631.352.2

**М.В. Бабій, здобувач, П.В. Попович, проф., д-р техн. наук, А.Й. Матвіїшин, доц., канд. техн. наук, А.В. Бабій, доц., канд. техн. наук**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, ababiy@ukr.net*

## Дослідження ресурсу роботи спинки ножа сегментно-пальцевого різального апарату

В роботі проведено розрахунок ресурсу роботи спинки ножа косарки сегментно-пальцевої, встановлено його відповідність до нормативу. За результатами аналізу роботи приводного механізму запропоновано додатковий пристрій для зменшення негативного впливу інерційних знакозмінних сил на різальний апарат косарки та елементи його приводу. Отриманий ефект значно підвищує ресурс роботи спинки ножа.

**привод, різальний апарат, концентратор, циклічна втома, ресурс роботи**

© М.В. Бабій, П.В.Попович, А.Й. Матвіїшин, А.В. Бабій, 2015