

УДК 621.9.06

**Д.В. Вахніченко, канд техн. наук, Ю.І. Верхогляд, магістр***Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна**E-mail: dmitriy-kntu@yandex.ru***М.В. Брайко, викл.***Кіровоградський машинобудівний коледж КНТУ, м.Кропивницький, Україна*

## Розмірна та параметрична градація верстата з МПС

В статті виконано дослідження розмірів і параметрів верстатів з механізмом паралельної структури та їх градація. Розглянуто відповідність між технічними характеристиками верстата і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа та умови досягнення узгодженості між цими характеристиками та вимогами, що ставляться до виконання операцій. Наведено модульну будову конструкцій верстата з МПС та запропоновано визначення основних параметрів кожного модуля та їх градацію на основі стандарту. В роботі запропоновано поділ верстатів з механізмами паралельної структури по максимальним координатним рухам, опираючись на переважні ряди чисел, основний та додатковий. Запропоновано градація верстатів за величиною кута обертання ланок в опорах платформ та по максимальному куту, під яким можлива обробка. Також представлено регламентовані параметри для лінійних розмірів, діаметрів рухомої та нерухомої платформ, відстані між їх опорами, розміру виконавчого органа та габаритних розміри несучої системи верстата.

**верстат, гексапод, МПС, верстат з МПС, верстат з механізмом паралельної структури****Д.В. Вахніченко, канд. техн. наук, Ю.І. Верхогляд, магістр***Кіровоградський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна***М.В. Брайко, препод.***Кіровоградський машинобудівний коледж КНТУ, г. Кіровоград, Україна***Размерная и параметрическая градация станка с МПС**

В статье выполнено исследование размеров и параметров станков с механизмом параллельной структуры и их градация. Рассмотрено соответствие между техническими характеристиками станка и величиной необходимых координатных движений исполнительного органа и условия достижения согласованности между этими характеристиками и требованиями, предъявляемыми к выполнению операций. Приведено модульное строение конструкции станка с МПС и предложено определение основных параметров каждого модуля и их градацию на основе стандарта. В работе предложено разделение станков с механизмами параллельной структуры по максимальным координатным движениям, опираясь на преобладающие ряды чисел, основной и дополнительный. Предложено градация станков по величине угла вращения звеньев в опорах платформ и по максимальному углу, под которым возможна обработка. Также представлены регламентированные параметры линейных размеров, диаметров подвижной и неподвижной платформ, расстояния между их опорами, размера исполнительного органа и габаритных размеров несущей системы станка.

**станок, гексапод, МПС, станок с МПС, станок с механизмами параллельной структуры**

**Постановка проблеми.** Розвиток та вдосконалення створених конструкцій верстатів з механізмом паралельної структури (МПС) вимагає обґрунтування вибору їх конструктивних параметрів за їхніми технічними характеристиками.

Основними критеріями до вибору конструктивних параметрів верстата з МПС є конструкторсько-геометричні параметрами номенклатури оброблюваних деталей, методи обробки, схеми формоутворення поверхонь, величина і напрямки координатних рухів виконавчого органа, компоновка і конструктивне виконання основних елементів верстатної системи, більшість із них застосовуються і в робототехніці [1].

Необхідно покласти ці критерії в основу вибору градації верстатів з паралельною кінематикою за конструкторсько-геометричними параметрами оброблюваних деталей і величиною координатних рухів виконавчого органа [2]:

1. Встановити відповідність між технічними характеристиками верстата з МПС і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа.

2. Досягти узгодженості між технічними характеристиками верстата та вимогами, що ставляться до виконання операцій.

3. Забезпечити відповідності між технічними характеристиками верстата та параметрами оброблюваної деталі.

4. Прийнята градація повинна відповідати вимогам «ГОСТ 8032-84 (СТ СЭВ 3961-83) Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел» та інших сталих стандартизованих параметрів.

Слід відмітити, що незалежно від компоувальної схеми та функціональних можливостей усі верстати-гексаподи повинні мати три обов'язкових модулі: головного руху (МГР); кінематичних ланок із двома опорними шарнірами та відповідними механізмами зміни довжини кінематичних ланок; несучої системи (МНС) для монтажу визначених модулів.

Достатній та обов'язковий комплект модулів необхідно доповнити відповідними системами, що забезпечуватимуть сервісні умови функціонування верстатів (системи управління координатними переміщеннями виконавчого органу; системи контролю та діагностики процесу функціонування; системи автоматичної зміни інструмента, а також системи видалення стружки та змащування).

Система координат верстата з МПС є основною, відносно якої визначається положення його компонентів та здійснюється програмування процесу формоутворення поверхонь.

Найбільш прогресивним є модульне виконання конструкцій верстатів з механізмом паралельної структури. Таке виконання дозволяє створювати верстати з МПС за найбільш короткий час при мінімальній їх вартості. Це, в першу чергу, визначається малою кількістю складових частин (модулів), які формують різноманітні конструкції. Основними модулями верстата-гексапода, що підлягають проектуванню є:

- кінематичні ланки (штанги) з приводами (мехатронні вузли);
- опорні вузли;
- платформи (рухомі та нерухомі);
- виконуючий (робочий) вузол;
- несуча система (каркас).

При встановленні градації координатних рухів верстата з МПС, в основному використані перші дві умови, а саме встановити відповідність між технічними характеристиками верстата і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа та досягнення узгодженості між цими характеристиками та вимогами, що ставляться до виконання операцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш доцільно це вирішити на основі використання базового стандарту «ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 514-77). Нормальные линейные размеры». Даний стандарт широко використовується для регламентації основних параметрів різного обладнання, в тому числі і металорізальних верстатів, їх технологічного оснащення тощо. За цим стандартом визначаються розміри довжин, діаметрів, висот тощо по переважним геометричним рядам R5, R10, R20, R40. При цьому першість повинна надаватися рядам з більшою градацією.

Таким чином, модульну будову конструкцій верстата з МПС також доцільно виконувати на основі зазначеного стандарту. Для цього потрібно визначити основні

параметри кожного модуля та їх градацію. Зокрема, рухомі ланки, що оцінюються такими розмірами, було розглянуто в деяких роботах.

У даних роботах розглянуто кінематичні ланки з основними розмірами. Вибрані геометричні параметри кінематичної ланки, враховувати величини їх переміщення, що визначається технологічним призначенням та діаметром рухомих частини та визначає особливості конструктивного виконання кінематичних ланок. Також розглянуто градацію кінематичних ланок різнного виконання [2,3].

**Постановка завдання.** При аналізі максимальної величини координатних рухів верстатів-гексаподів було використано показники координатних переміщень в координатно-вимірювальних машинах (КВМ) фірми АО "ЛАПИК", побудованих на базі МПС типу гексапод. Було розглянуто створений даною фірмою весь модельний ряд: КИМ-500, КИМ-750, КИМ-1000, КИМ-1200, КИМ-1400, КИМ-1200/2100, КИМ-1400/3000, де цифри – максимальне переміщення по осям X та Y відповідно, при умові, що друга цифра більша за першу.

Оскільки верстати-гексаподи використовуються для свердління та фрезерування складних корпусних деталей, тому необхідно включити в порівняння верстати звичайної компоновки даного цільового призначення по ГОСТ 24491-87 (СТ СЭВ 6204-88) «Модули гибкие производственные и станки многоцелевые сверлильно-фрезерно-расточные».

Визначаючи максимальні координати переміщення виконавчого органа, розглянемо існуючі конструкції верстатів гексаподів відомих фірм виробників, які зазвичай представлені стислою характеристикою (рис. 1) [4].



<b>Hexel: Tornado</b>	
Manufacturer:	Hexel Corporation
Application:	5-axis machining
Architecture:	a standard Gough-Stewart platform
Workspace:	400×400×400 mm ±45° about A-axis
Accuracy:	25 μm (positioning) 10 μm (repeatability)
Max. Feed Rate:	300 mm/s
Spindle:	20 kW, up to 18,000 rpm
Electrical:	45 KVA 3 phase 480 V
Net Weight:	8,000 kg
Footprint:	2.4×3.0 m
Height:	3.8 m

Рисунок 1 – Приклад стислої характеристики верстата з МПС, що надана фірмою-виробником

Всі їх можна поділити на умовні групи – в дужках вказані максимальні переміщення по координатам X, Y, Z відповідно (іноді ці показники називають робочим простором):

- великі верстати – Ingersoll: Octahedral: Hexapod VON-1000 (1000x1000x1200);
- середні – Octahedral: Hexapod HON-600(600x600x800), Tekniker: SEYANKA (500x500x500), Okuma: Cosmo Center PM-600 (420x420x400), Krause & Mauser: Quickstep(630x630x500), ITIA-CNR and CE.S.I: CELERIUS (600x600x300), Shenyang Institute of Automation: SIA/CAS (800x500x600);

– невеликі – Hexel Tornado (400x400x400), Toyota Machine Works: HexaM (400x400x350).

Аналіз максимальних координатних рухів показує, що основна їх частина збігається з переважним рядом чисел R20 зі знаменником 1,12 (згідно табл. 1). Розходження між рядом R20 та максимальними координатними рухами існуючих верстатів-гексаподів збігається з наступним рядом переважних чисел R40 зі знаменником 1,06.

Таблиця 1 – Максимальні координатні рухи верстатів

КВМ	Верстати (ГОСТ 24491-87)		Існуючі верстати-гексаподи	ГОСТ 6636-69		
	Основні	Додаткові		R20	R40	Додатковий розмір
	200			200		
				220		
	250			250		
				280		
			300		300	
	320			320		
350			350			350
		360		360		
400	400		400	400		
			420		420	
450		450		450		
500	500		500	500		
550						545
		560		560		
600			600		600	
	630		630	630		
		710		710		
750					750	
800	800		800	800		
900				900		
1000	1000		1000	1000		
				1120		
1200		1220	1200			1220
	1250			1250		
1400				1400		
	1600			1600		
				1800		
	2000			2000		
2100						2120
	2500			2500		
3000					3000	

Та незначна частина максимальних координатних рухів, яка не входить в наведені вище ряди, близька за своїми значеннями або збігається з додатковими розмірами, які вказані в ГОСТ 6636-69.

**Виклад основного матеріалу.** Так, параметрична градація максимальних координатних рухів повинна відповідати геометричній прогресії зі знаменником – 1,12: 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, 3150, 4000.

Цей ряд максимальних координатних рухів слід вважати основним, у відповідності до якого повинні створюватись універсальні, спеціалізовані та модульні верстати з МПС. При проектуванні спеціальних верстатів або у зв'язку із складністю математичного узгодження всіх кінематичних ланок запропонована градація може бути недостатньо дрібною. Тому, для таких та інших умов, доцільно мати додатковий ряд із більш тонкою градацією, яка відповідно до ГОСТ 8032-56 повинна відповідати ряду R40 зі знаменником 1,06: 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550, 3750, 4000.

Наведена градація базується на встановленні відповідності між технічними характеристиками верстата з МПС і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа, а також досягненні узгодженості між технічними характеристиками та вимогами, що ставляться до виконання операцій [5].

Величина переміщення кінематичних ланок залежить від конструкторсько-геометричних параметрів оброблюваних деталей, методів обробки, схем формоутворення поверхонь, величини і напрямків координатних рухів виконавчого органа, компоновки і конструктивного виконання основних елементів верстатної системи. Відсутність обґрунтованої закономірності між взаємним розташуванням виконавчого органа і оброблюваної деталі на різних етапах обробки вказують на те, що величину швидкості переміщення і прискореного руху кінематичних ланок слід вибирати по ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 514-77). На основі даного стандарту значення даних параметрів слід вибирати з основного ряду R5 та додаткового R10:

– основний ряд: 10; 16; 25; 40; 63; 160; 250; 400; 630; 1000...;

– додатковий ряд: 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000...

При встановленні градації за величиною кута обертання ланок в опорах рухомої та нерухомої платформ доцільно використати рекомендації ГОСТ 8908-81(СТ СЭВ 513-77) «Нормальные углы и допуски углов». З цього стандарту, а також з вже існуючих верстатів-гексаподів, величину кута слід обирати за арифметичними рядами:

– основний ряд: 30; 60; 90; 120; 150; 180;

– додатковий ряд: 15; 30; 45; 60; 75; 90; 105; 120; 135; 150; 165; 180...

Перевагу слід віддавати основним рядам. Додаткові ряди необхідно використовувати при проектуванні спеціальних верстатів з МПС.

Подібно розглядається градація верстата з МПС по максимальному куту, під яким можлива обробка (максимальний кут нахилу нерухомої платформи). Оскільки він має не велику максимальну величину (до 30°...45°), то градація повинна бути [3]:

– основний ряд (крок - 10°): 10°; 20°; 30°; 40°;

– додатковий ряд (крок - 5°): 5°; 10°; 15°; 20°; 25°; 30°; 35°; 40°; 45°.

Лінійні розміри: діаметри рухомої та нерухомої платформ; відстані між їх опорами; розмір виконавчого органа та габаритні розміри несучої системи повинні регламентуватись за геометричними рядами:

– основний (знаменник – 1,6): 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400 мм і т.д.;

– 1-й додатковий (знаменник – 1,25): 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 мм і т.д.;

– 2-й додатковий (знаменник – 1,12): 10; 11,2; 12,5; 14; 16; 18; 20; 22,4; 25; 28; 31,5; 36; 40 мм і т.д.

**Висновки.** В роботі запропоновано поділ верстатів з механізмами паралельної структури за максимальними координатними рухами. Так, визначено, що основна їх частина збігається з переважним рядом чисел R20 зі знаменником 1,12. Для даних та інших умов доцільно мати додатковий ряд із більш тонкою градацією, яка відповідно до ГОСТ повинна відповідати ряду R40 зі знаменником 1,06.

Так, в подальших рекомендаціях при виборі тих чи інших параметрів перевагу необхідно віддавати основному або першому додатковому ряду. Виконане обґрунтування основних конструктивних параметрів МПС верстатів може бути покладене в основу відповідного стандарту.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування: навч. пос. [Текст] / І.І. Павленко. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
2. Вахніченко Д.В. Обґрунтування параметрів конструкцій верстатів з МПС для обробки деталей осьовим інструментом [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Вахніченко. – Кіровоград: КНТУ, 2014. –157 с.
3. Валявський І.А. Розширення функціональних можливостей верстатів-гексаподів шляхом визначення їх раціональних параметрів [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / І.А. Валявський. – Кіровоград: КНТУ, 2010.–213 с.
4. Gallery of Existing Parallel Mechanisms [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.parallemic.org/WhosWho/Gallery.html>
5. Павленко І.І. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою [Текст] / Павленко І.І., Вахніченко Д.В. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип.25, ч.1. – С.117-124.

**Dmitriy Vakhnichenko, PhD tech. sci., Yuriy Verkhoglyad, Msc.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**Margarita Brajko, Lect.**

*Kirovograd Engineering college KNTU, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Dimensional and parametric grading machine with MPS**

The paper used to study the size and parameters of machines with the mechanism of parallel structure and grading. We consider the correspondence between the technical characteristics of the machine and the size of the necessary co-ordinate the movements of the executive body and achieving coherence between these characteristics and the requirements of the procedures. Powered by a modular structure of the machine design with the MPS and the suggested definition of the basic parameters of each module and their graduation on the basis of the standard.

The paper suggested the division of machines with parallel structure mechanisms with the maximum coordinate movements. And it is determined that most of them are the same as the next primary R20 numbers with ratio of 1.12. For these and other conditions, it is advisable to have an extra row with finer gradations, which, in accordance with GOST R40 must meet a number with a denominator 1,06. Tak for further recommendations when selecting certain parameters, preference should be given to the main or first additional row. Achieved a justification of key design parameters of MPS machines can be used as the basis of the standard.

As a result, it is proposed grading machines largest units in the rotation angle of platforms and supports the maximum angle at which can be processed. Also presented regulated parameters of the linear sizes, diameters mobile and fixed platforms, the distance between their legs, the size of the executive body and the overall dimensions of the machine carrier system.

**machine, hexapod, PKM, machinetool MPS, machine of parallel structure**

Одержано 07.11.16