

## Особливості модульної будови верстатів з паралельною кінематикою

В статті розглянуто особливості модульної будови верстатів з паралельною кінематикою, основні модулі, запропоновано регламентацію конструктивних параметрів з'єднувальних фланців кінематичних ланок, несучої системи та виконавчого органу верстатів з паралельною кінематикою. **верстат, гексапод, верстат з паралельною кінематикою, модуль, фланець, кінематична ланка**

Модульне виконання конструкцій верстатів з паралельною кінематикою (ВПК) є найбільш прогресивним. Таке виконання дозволяє створювати ВПК за найбільш короткий час при мінімальній їх вартості. Це, в першу чергу, визначається малою кількістю складових частин (модулів), які формують різноманітні конструкції. До них слід віднести:

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

Якщо сформувати цю елементну базу, то можна швидко скласти верстати з комплекту визначених модулів згідно їх цільового призначення. Для цього потрібно мати регламентацію їх конструктивних параметрів. 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 і т. ін. по переважним геометричним рядам R5, R10, R20, R40. При цьому першість повинна надаватись рядам з більш великою градацією. Таким чином, модульну будову конструкцій ВПК також доцільно виконувати на основі відзначеного стандарту. Для цього потрібно визначити основні параметри кожного модуля і їх градацію. Так, рухомі ланки (рис. 1) оцінюються наступними розмірами:

- $l_{\text{шн}}$ ,  $l_{\text{шр}}$  – довжина нерухомої та рухомої частин кінематичної ланки;
- $d_{\text{шн}}$ ,  $d_{\text{шр}}$  – діаметр нерухомої та рухомої частини кінематичної ланки;
- $l_{\text{о}}$ ,  $l_{\text{ор}}$ ,  $l_{\text{он}}$  – загальна довжина опори та її рухомої і нерухомої частин;
- $l_{\text{п}}$ ,  $d_{\text{п}}$  – довжина та діаметр основних частин приводу;
- $L_{\text{ш.max}}$ ,  $L_{\text{ш.min}}$  – максимальна та мінімальна довжина кінематичної ланки;
- $L_{\text{шр}}$  – величина руху кінематичної ланки.

Наведена схема є спрощеним представленням кінематичної ланки, на якій показано її принципове виконання з позначенням розмірів.

За основу вибору параметрів кінематичних ланок слід приймати величину їх переміщення ( $L_{\text{шр}}$ ), що зв'язано з технічним призначенням ВПК, та діаметр рухомої частини ( $d_{\text{шр}}$ ) як складову, що визначає особливості конструктивного виконання кінематичних ланок. Їх градацію доцільно приймати за рядами R5 (основний) та R10 (додатковий) (табл. 1).

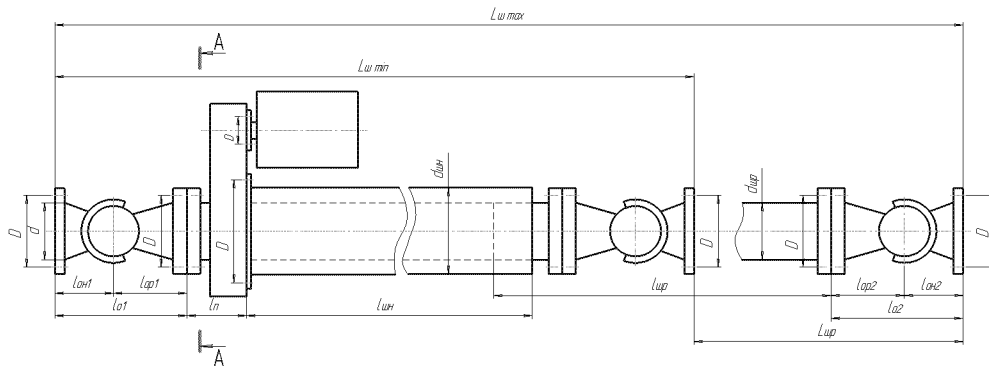


Рисунок 1 – Конструктивна схема та основні розміри кінематичної ланки

Наведену градацію можна продовжувати як в меншу, так і, особливо, в більшу сторону. Згідно прийнятих параметрів ( $L_{шп}$ ,  $d_{шп}$ ) та з урахуванням особливостей конструктивного виконання кінематичних ланок та приводу вибираються розміри їх нерухомої частини ( $l_{шп}$ ,  $d_{шп}$ ). Так як вони більш обмежені особливостями конструктивного виконання, то для можливого зменшення розмірів нерухомої частини кінематичних ланок ( $l_{шп}$ ,  $d_{шп}$ ), їх градацію доцільно вибирати за рядами:

- R10 (основний ряд із знаменником 1,25);
- R20 (додатковий ряд із знаменником 1,12);

Таблиця 1 – Градація основних параметрів кінематичних ланок

Діаметр рухомої частини кінематичної ланки ( $d_{шп}$ )	R5	10		16		25		40		63		100	
	R10	10	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
Величина переміщення кінематичної ланки ( $L_{шп}$ )	R5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	R10	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
	R5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	R10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	R5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	R10	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	R5	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	R10	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	R5	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
	R10	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	R5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	R10	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Параметри опорних шарнірів ( $l_o$ ,  $l_{оп}$ ,  $l_{он}$ ) визначаються їх конструкцією, а тому з метою зменшення загальних лінійних розмірів кінематичних ланок доцільно їх вибирати з більш дрібною градацією (за рядами R10 та R20).

Загальний мінімальний розмір штанг ( $L_{ш.мин}$ ) повинен узгоджуватись відповідно з прийнятими рядами R10 та R20, а максимальний розмір

$$L_{ш.макс} = l_{o1} + l_n + l_{шн} + l_{o2} + L_{шр} = L_{ш.мин} + L_{шр}$$

також повинен прийматись відповідно з рядами R10 (основний) і R20 (додатковий).

Важливою умовою модульного виконання конструкцій ВПК є забезпечення стикування (з'єднання) їх складових частин між собою. Це можливо при наявності з'єднувальних фланців, які дозволяють вирішувати поставлену задачу. При неможливості прямого стикування елементів ВПК необхідно передбачити наступні основні способи [1]:

а) використання перехідних (проміжних) фланців, які дозволяють з'єднувати модулі з постійними їх фланцями різних розмірів;

б) використання фланців, які мають регламентований набір отворів (пазів), що дозволяє приєднання до них інших фланців.

Вирішення питання з'єднання елементів конструкцій кінематичних ланок та інших модулів ВПК повинно забезпечувати: надійне їх з'єднання між собою; потрібне взаємне розташування та необхідну точність положень; простоту конструкції; зручність з'єднання та ін.

Виконання з'єднань модулів вимагає наявності відповідності між конструктивними параметрами стикуючих елементів. В цьому плані найбільш важливим є співвідношення координат приєднувальних отворів та їх розмірів, а також забезпечення умов з'єднання елементів конструкції стандартними болтами, гвинтами та гайками.

Найбільш прийнятним виконанням з'єднувальних фланців є використання круглої форми (виконання 1), де координати приєднувальних отворів задаються діаметром ( $D_3$ ) та кутом ( $\alpha$ ). Приклад одного з фланців по перерізу А-А наведено на рис. 2. Це виконання розділяється на два інші:

- виконання 1.1 – приєднувальні отвори  $d_0$  без різі;
- виконання 1.2 – приєднувальні отвори з різзю  $M$ .

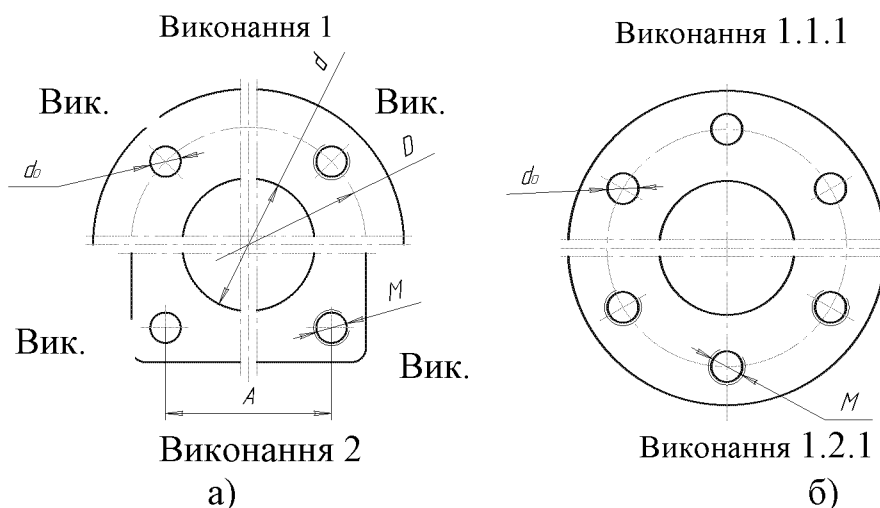


Рисунок 2 – Загальне позначення виконання з'єднувальних фланців

Другим варіантом виконання фланців може бути прямокутна форма (виконання 2). При такій формі фланців координатні розміри приєднувальних отворів встановлюються лінійними міжцентровими розмірами –  $A$ . Такий варіант фланців можна подібно до вищенаведеного також розділити на два варіанти:

- виконання 2.1 – приєднувальні отвори  $d_0$  без різі;

– виконання 2.2 – приєднувальні отвори з різьбою  $M$ .

Так як в кінематичній ланці має місце ряд стикування її елементів, а також з'єднання фланців опор з нерухомою та рухомою плитами ВПК, то в ряді випадків доцільним можуть бути і інші її виконання (рис. 3), які відрізняються як формою фланців так і кількістю з'єднувальних отворів. Так, можлива трикутна форма (рис. 3, а) фланця (вик. 3) з трьома отворами, відповідно без різі (вик. 3.1) та з різьєю (вик. 3.2).

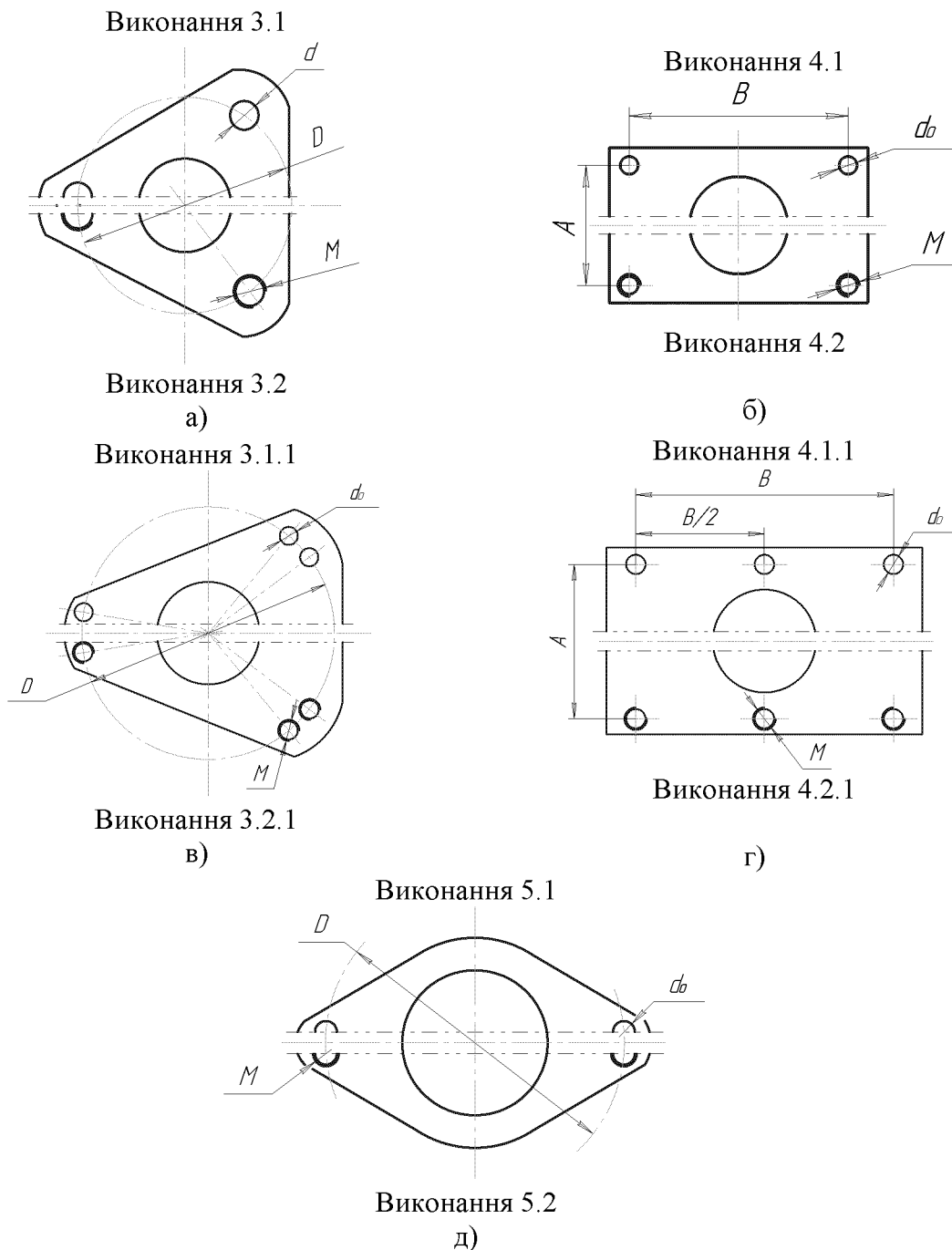


Рисунок 3 – Схеми з'єднувальних фланців

Іншим варіантом може бути прямокутна форма (рис. 3, б) фланця з подібними виконаннями: 4.1 та 4.2. Як уже відзначалось іншим різновидом виконання фланців є кількість з'єднувальних отворів. При збільшенні кількості з'єднувальних отворів у виконанні 1 з 4-х (рис. 2, а) до 6-ти (рис. 2, б) в позначенні такого фланцю додається цифра «1» (виконання 1.1.1 або 1.2.1). Подібно можуть бути представлені інші

виконання фланців. Так, для виконання 3 при попарному збільшенні отворів (рис. 3, в) їх виконання відповідно будуть: 3.1.1 та 3.2.1.

Для прямокутних фланців з 6-ма отворами (рис. 3, з) виконання будуть: 4.1.1 та 4.2.1. Для наведених та подібно і інших виконань фланців (рис. 3, д), визначені мінімально можливі їх розміри. Вихідною умовою є значення базового діаметра стикуючого елемента  $d$ , яке в залежності від конструкції елемента ( $d_{\text{шн}}$ ,  $d_{\text{шр}}$  і ін.) повинно бути узгоджено з рядами R10 та R20. За цих умов створено рекомендовану градацію з'єднувальних елементів ВПК, які наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Градація з'єднувальних фланців модулів ВПК

d, мм		D, мм	A, мм	d <sub>o</sub> , мм	M
R10	R20				
10		18	12	3,1	M3
	11,2	20	14	3,1	M3
12,5		22	14	4,2	M4
	14	25	16	4,2	M4
16		25	18	4,2	M4
	18	28	20	4,2	M4
20		32	25	5,2	M5
	22,4	36	25	5,2	M5
25		40	28	6,3	M6
	28	42	30	6,3	M6
31,5		45	32	6,3	M6
	35,5	45	36	6,3	M6
40		56	40	8,4	M8
	45	60	42	8,4	M8
50		65	45	8,4	M8
	63	80	56	10,4	M10
80		90	63	10,4	M10
	90	100	71	10,4	M10
100		112	80	10,4	M10

Наступною важливою умовою формування модульних конструкцій ВПК є реалізація стикування кінематичної ланки з нерухомою та рухомою платформами. Вирішення цього питання доцільно також здійснювати приєднанням одного із вищенаведених варіантів фланців опор кінематичних ланок до відповідних елементів верстата (несучої системи або ВО), тому регламентація їх виконання визначається кількістю, виконанням та розташуванням приєднувальних опор кінематичних ланок. Ці умови формують доцільні варіанти конструкцій основних елементів для модульного виконання ВПК.

Найбільш типові виконання платформ несучої системи та ВО наведені на рис. 4. Так, виконання 1 відповідає структурі верстата-гексапода 6×6 і регламентується діаметром приєднувальних фланців штанг  $D_{\text{п}}$ , кутом положення опор  $\alpha$ , діаметром розміщення отворів приєднувальних фланців  $D$  та розмірів приєднувальних отворів  $d_0$  чи  $M$ .

Виконання 1.1

Виконання 3.1

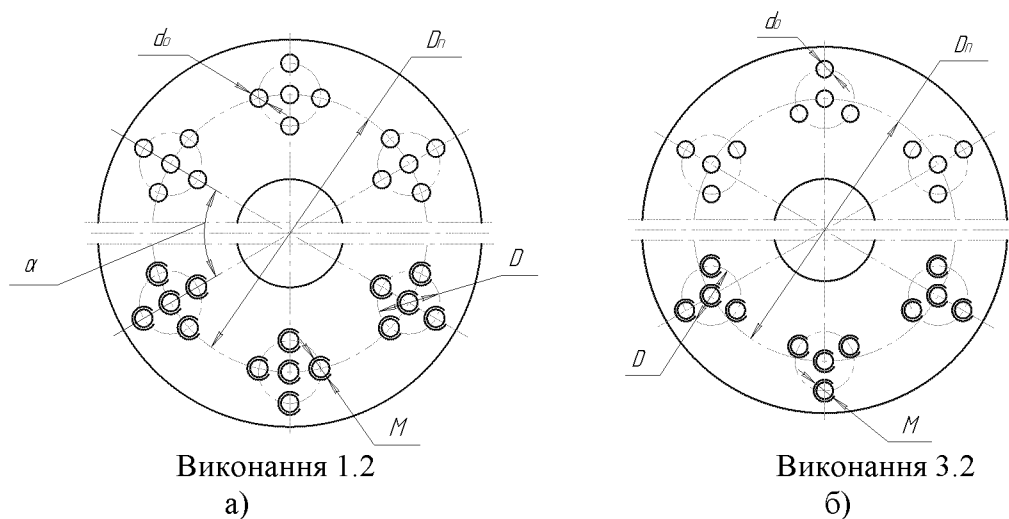


Рисунок 4 – Регламентация виконання платформ несучої системи та ВО

Якщо будуть використовуватись інші варіанти з'єднувального фланцю, наприклад виконання 3.1 чи 3.2, то платформа матиме вигляд рис. 4, б). Аналогічно можуть бути представлені інші варіанти в залежності від використовуваних фланців в кінематичних ланках. Наведені розміри  $D$ ,  $d_0$ ,  $M$  на платформах повинні співпадати з такими ж розмірами приєднувальних фланців. Додатково повинен регламентуватись розмір приєднання центру фланців  $D_n$  який також доцільно обирати із рядів: R5 – основні; R10 – додаткові.

В цілому наведена регламентация розмірів елементної бази ВПК створює вихідну основу для організації модульного їх виконання, що дозволяє більш ефективно виконувати розробку такого обладнання та впровадження у виробництво.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / Павленко І.І. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / Аверьянов О.И. – М.: Машиностроение, 1987.
3. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / [Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А.]. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

*И. Павленко, И. Валявский*

### **Особенности модульного строения станков с параллельной кинематикой**

В статье рассмотрены особенности модульного строения станков с параллельной кинематикой, предложено регламентацию конструктивных параметров соединительных фланцев кинематических звеньев, несущей системы и исполнительного органа станков с параллельной кинематикой.

*I. Pavlenko, I. Valyavsky*

### **Features of a modular structure of machine tools with parallel kinematics**

In article features of a modular structure of machine tools with parallel kinematics are considered, it is offered a regulation of design data of the kinematic links connecting flanges, bearing system and an executive office of machine tools with parallel kinematics.

Одержано 30.11.09