

І.А. Валявський, аспір.

Кіровоградський національний технічний університет

**МОДУЛЬНА ПОБУДОВА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ  
З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ***(Представлено д.т.н., проф. Павленком І.І.)*

*В статті розглядається агрегатно-модульний принцип побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою.*

Однією з ведучих тенденцій розвитку технологічного обладнання у світовому верстатобудуванні на сучасному етапі є створення його на основі агрегатно-модульного принципу, що дозволяє проектувати економічне технологічне обладнання, яке найбільш повно відповідає вимогам рішення конкретної технічної задачі без надлишкових функцій; більш повно використовувати раніше виконані розробки при скороченні часу і трудомісткості проектування; збільшити надійність роботи за рахунок використання відпрацьованих конструкцій модулів. Зменшення розмаїтості конструкцій модулів і складових їхніх елементів поліпшує умови експлуатації та ремонтоздатності. Модульне проектування дозволяє створювати нове високопродуктивне обладнання для оптимальної обробки заготовок, а не підводити процес під можливості вже наявного обладнання. Модульний принцип створює реальні передумови для заміни застарілих форм і методів проектування нових конструкцій технологічного обладнання та систем.

Крім того, агрегатно-модульний принцип побудови технологічного обладнання дає можливість впровадження нового підходу до проектування технологічних процесів та, у першу чергу, створення принципово нового технологічного обладнання для реалізації сучасної технології виробництва з більш високим рівнем інтеграції обробки та оптимальним поєднанням і суміщенням методів обробки з різним за фізичною природою технологічним впливом.

На кафедрі "Металорізальні верстати та системи" Кіровоградського національного технічного університету згідно з державною програмою КПКВ 2201040 "Прикладні розробки за напрямками науково-технічної діяльності вищих навчальних закладів" та теми 46Б103 "Розробка високоефективних приводів перемінної структури агрегатно-модульного верстатного обладнання" запропоновано модульний принцип побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою.

Аналіз існуючих механізмів паралельної структури показує, що всі вони, незалежно від методу перетворення рухів виконавчого органу, кінематичної структури, конструктивного виконання основних компонентів та їх компоновки складаються з незначної кількості уніфікованих модулів конкретного функціонального призначення.

У технологічному обладнанні з паралельною кінематикою застосовуються механізми паралельної структури, у яких відповідний рух виконавчого органу реалізується шляхом:

- зміни довжини штанг (рис. 1);
- зміни координат опорних шарнірів (рис. 2);
- примусового обертального руху опорного шарніра (рис. 3);
- зміни кута між елементами V-подібного механізму (рис. 4).

Кожний з наведених механізмів має відповідну кількість конструктивно закінчених та функціонально самостійних компонентів визначеного призначення – модулів.

Механізм із змінною довжиною штанг (рис. 1) складається з трьох уніфікованих модулів:

- МГР – модуль головного руху;
- МЗД – модуль зміни довжини штанг;
- МСБ – модуль нерухомого елемента (стаціонарного блока), який має призначення несучої системи технологічного обладнання.

Ці модулі використовуються у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу біпод, трипод, гексапод, пентапод.

Механізм зі зміною координат опорних шарнірів (рис. 2) складається з наступних модулів:

- МГР – модуль головного руху;
- МПД – модуль постійної довжини штанги;
- МЗК – модуль зміни координат опорних шарнірів;
- МСБ – модуль нерухомого елемента (стаціонарного блока);
- МН – модуль напрямних.

Ці модулі використовуються у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу біглайд, триаглайд, гексаглайд.

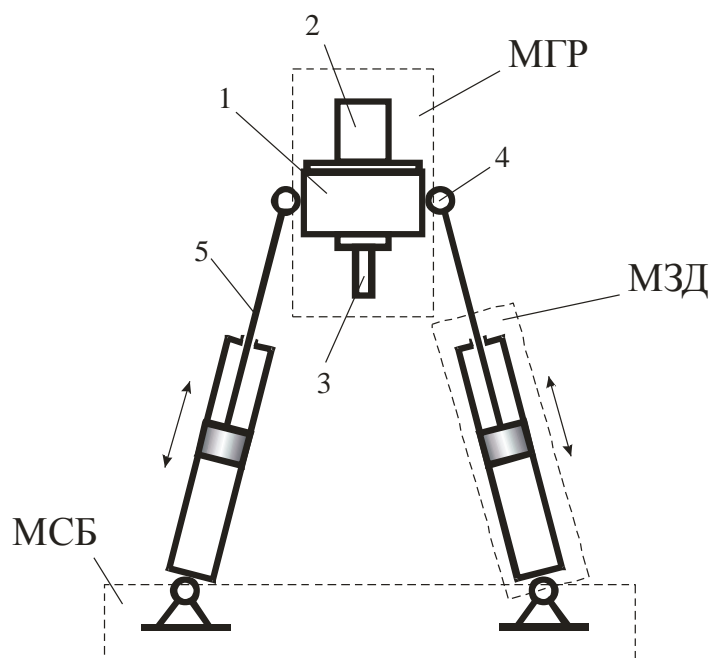


Рис. 1. Механізм із змінною довжиною штанг: 1 – виконавчий орган; 2 – привод головного руху; 3 – інструмент; 4 – шарнір; 5 – кінематична ланка (штанга)

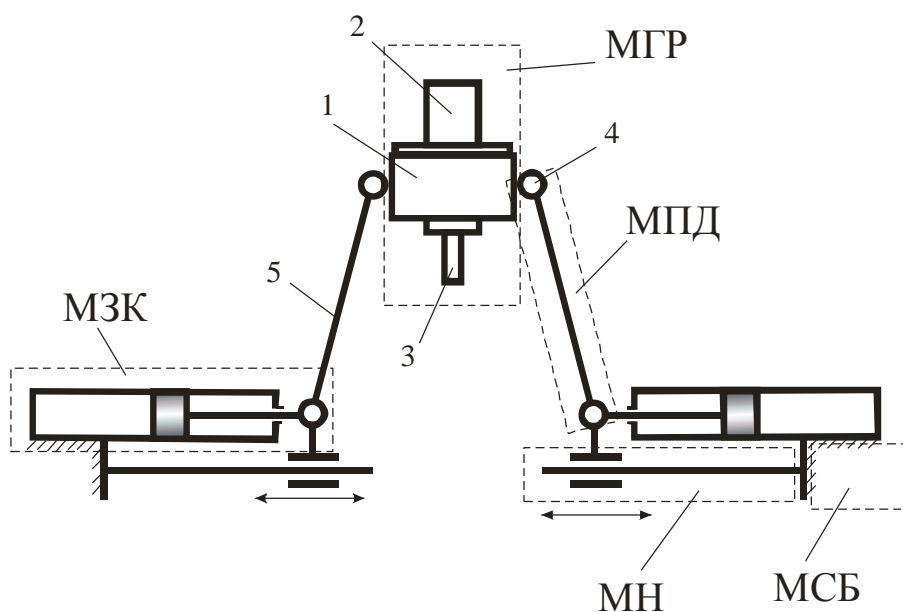


Рис. 2. Механізм із зміною координат опорних шарнірів: 1 – виконавчий орган; 2 – привод головного руху; 3 – інструмент; 4 – шарнір; 5 – кінематична ланка постійної довжини

Механізм з примусовим обертальним рухом опорного шарніра (рис. 3) складається з наступних модулів:

- МГР – модуль привода головного руху;
- МПР – модуль примусового обертального руху опорних шарнірів;
- МПШ – модуль паралелограмних штанг;
- МСБ – модуль стаціонарного блока.

Ці модулі використовуються у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу дельта.

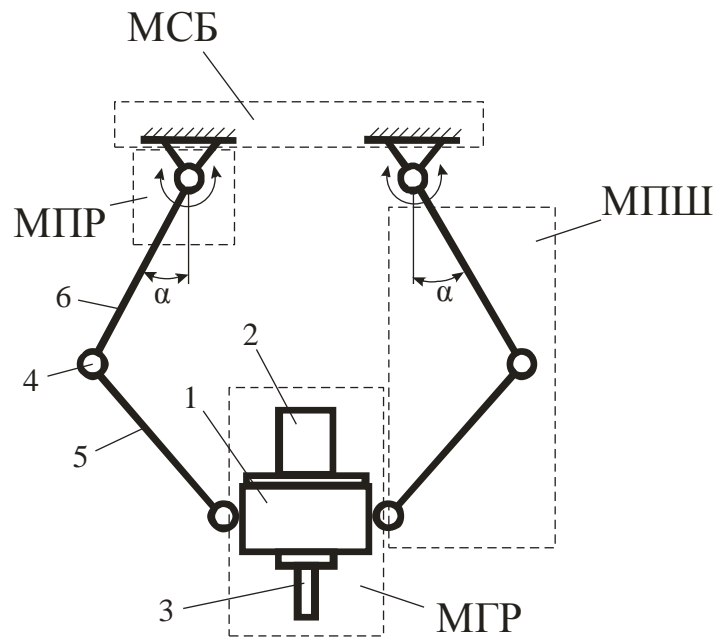


Рис. 3. Механізм з примусовим обертальним рухом опорного шарніра: 1 – виконавчий орган; 2 – привод головного руху; 3 – інструмент; 4 – шарнір; 5, 6 – штанги

Механізм з V-подібним механізмом (рис. 4) складається з модулів:

- МГР – модуль головного руху;
- МВМ – модуль V-подібного механізму;
- МСБ – модуль стаціонарного блока;
- МЗД – модуль зміни довжини штанги.

Ці модулі використовуються у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу ножиці.

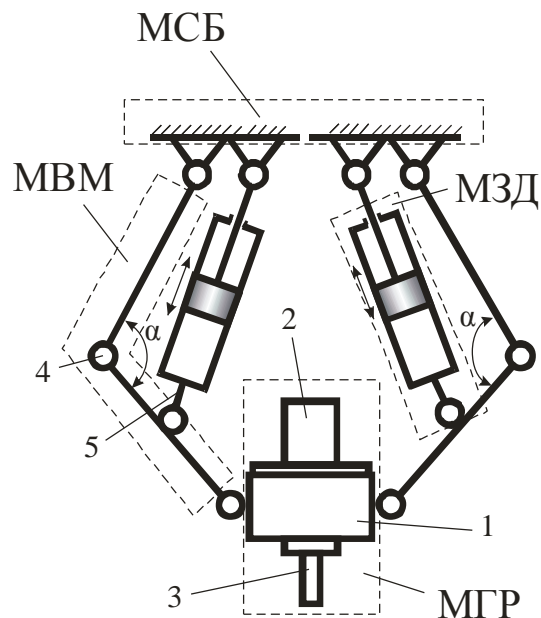


Рис. 4. Механізм з V-подібним механізмом: 1 – виконавчий орган; 2 – привод головного руху; 3 – інструмент; 4 – шарнір; 5 – штанга змінної довжини

Кожний механізм паралельної структури складається з модулів, які відповідають основним вимогам агрегатно-модульного принципу побудови технологічного обладнання:

- закінченість та конструктивна самостійність компонента;
- забезпечення міцності та жорсткості компонента у межах одного типорозміру у відповідності до проектних нормативів;
- забезпечення оптимальної компоновки модулів у різних їх сполученнях та положеннях;

- простий та надійний монтаж та демонтаж модулів;
- уніфікація стиковочних елементів модулів аналогічного призначення.

Аналіз наведених кінематичних схем механізмів паралельної структури дозволяє зробити наступні висновки:

- усі механізми складаються з обмеженої кількості модулів;
- визначені модулі використовуються майже в усіх механізмах паралельної структури.

Побудова механізмів паралельної структури здійснюється шляхом вибору необхідних модулів з наведеного нижче комплексу залежно від їх функціонального призначення та конструктивного виконання:

- модуль головного руху МГР;
- модуль зміни довжини штанг МЗД;
- модуль примусового обертального руху шарнірів МПР;
- модуль зміни координат опорних шарнірів МЗК;
- модуль напрямних МН;
- модуль паралелограмних штанг МПШ;
- модуль штанг постійної довжини МПД;
- модуль V-подібного механізму МВМ;
- модуль нерухомого стаціонарного блока МСБ.

Важливою умовою агрегатно-модульного принципу є побудова конкретних модулів та інших компонентів технологічного обладнання з паралельною кінематикою за функціональним призначенням та за вимогами споживачів залежно від конкретних умов виробництва.

Основним критерієм ефективності проектування модулів є мінімізація їх маси та розмірів з метою зменшення матеріалоемності, характеристик міцності та динаміки.

Конкретні модифікації технологічного обладнання з паралельною кінематикою, які побудовані за агрегатно-модульним принципом, повинні задовольняти наступним вимогам:

- потужність, швидкість та прискорення рухів виконавчого органу, а також точність позиціонування, жорсткість кінематичних ланцюгів, розміри робочого простору повинні відповідати комплексу технологічних задач, які реалізуються на обладнанні;

- кінематична структура та компоновка технологічного обладнання з паралельною кінематикою повинні забезпечити мінімальну кількість маніпуляційних рухів виконавчого органу та необхідну кількість ступенів вільності для реалізації усіх технологічних операцій, які повинні на ньому реалізуватися;

- комплекс технологічних операцій, рівень їх інтеграції та темп виконання, а також енергетичні та фінансові витрати на впровадження нового технологічного обладнання повинні забезпечити техніко-економічну ефективність його експлуатації.

Кожний модуль технологічного обладнання з паралельною кінематикою має конкретне функціональне призначення.

**Модуль головного руху (МГР)** є основним компонентом технологічного обладнання, який забезпечує необхідну швидкість різання відповідного процесу. Модуль складається з привода головного руху (мотор-шпindel з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпindelю) та інструментотримачем. Усі складові елементи модуля змонтовані на рухомому виконавчому органі. Для прецизійного технологічного обладнання типу "дельта" модуль може бути змонтований на нерухомому стаціонарному блоці, а передача руху від двигуна до шпindelю у такому випадку реалізується за допомогою гнучкого вала. Модуль МГР використовується в усіх різновидах технологічного обладнання з паралельною кінематикою.

У склад МГР повинен входити затискний механізм (ЗМ), який має затискний патрон (ЗП), і привод затиску (ПЗ). ЗМ може бути представлений окремим модулем, як і в технологічному обладнанні традиційної компоновки.

Слід відмітити, що модулі зміни довжини штанг (МЗД), координат опорних шарнірів (МЗК), примусового обертального руху опорних шарнірів (МПР) використовуються для реалізації рухів подач, установчих та прискорених рухів виконавчих органів. Вони при аналогічному функціональному призначенні мають різну кінематичну структуру та конструктивне виконання.

**Модуль зміни довжини штанг (МЗД)** застосовується у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу гексапод, біпод, трипод, у яких відповідний рух виконавчого органу реалізується шляхом зміни довжини штанг. Модуль складається з відповідного привода лінійних переміщень (пневно-, гідро- або лінійного електродвигуна) та штанг змінної довжини (наприклад, телескопічних), на кінцях яких змонтовані опорні шарніри.

**Модуль примусового обертального руху опорних шарнірів (МПР)** використовується у технологічному обладнанні типу "дельта" різноманітного конструктивного виконання. Модуль складається з двигуна обертальної дії з безступінчастим регулюванням частоти обертання та шарніра спеціальної конструкції. Зміна кута між двома шарнірно з'єднаними штангами забезпечує задане переміщення виконавчого органу у межах робочого простору. Модуль завжди розташований на нерухомому стаціонарному блоку, тому його маса не впливає на динамічні характеристики технологічного обладнання.

**Модуль зміни координат опорних шарнірів (МЗК)** використовується у технологічному обладнанні типу біглайд, триаглайд, гексаглайд, у якому заданий рух виконавчого органу реалізується шляхом переміщення опорних шарнірів кінематичних ланок вздовж напрямних. Модуль складається з відповідного привода та механізму перетворення рухів або лінійних приводів (пневмо-, гідро- або лінійного електродвигуна) та розташований на нерухомому елементі механізму (стаціонарному блоку).

**Модуль напрямних (МН)** використовується у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу біглайд, триаглайд, гексаглайд. У технологічному обладнанні типу біпод, трипод, гексапод модуль напрямних відсутній.

**Модуль паралелограмних штанг (МПШ)** використовується у технологічному обладнанні типу "дельта" та його модифікаціях. Модуль складається з двох пар кінематичних ланок, з'єднаних попарно-паралельно та побудованих у вигляді паралелограмного механізму.

**Модуль штанг постійної довжини (МПД)** має просту конструкцію і складається зі стрижня, на кінцях якого змонтовані відповідні шарніри (сферичний або універсальний). Використовується у технологічному обладнанні з паралельною кінематикою типу біглайд, триаглайд, гексаглайд.

**Модуль V-подібного механізму (МВМ)** використовується тільки у технологічному обладнанні типу "ножиці" і складається з двох прямокутних пластин, з'єднаних шарнірно, на вільних кінцях яких змонтовані спеціальні шарніри.

**Модуль нерухомого стаціонарного блока (МСБ)** є основним і обов'язковим компонентом кожної модифікації технологічного обладнання з паралельною кінематикою, який виконує функції несучої системи та призначений для монтажу усіх його складових компонентів.

Структурні схеми найпоширеніших типів технологічного обладнання з паралельною кінематикою наведені у табл. 1.

Аналіз структурних схем технологічного обладнання з паралельною кінематикою показує, що воно складається з визначеної кількості відповідних модулів.

Найбільш простим за конструктивним виконанням є технологічне обладнання з паралельною кінематикою типу біпод, а найбільш складним – гексапод.

Вибір конкретної модифікації технологічного обладнання залежить від комплексу технологічних задач, маси та габаритних розмірів деталі, її конструктивної форми, кількості сторін, які обробляються, а також конкретних вимог споживача.

Таблиця 1

Структурні схеми технологічного обладнання з паралельною кінематикою з набором модулів

№	Тип обладнання	Структурна схема
1	2	3
1	Біпод	
2	Трипод	
3	Гексапод	
4	Біглайд	
5	Триглайд	
6	Гексаглайд	

1	2	3
7	Дельта	
8	Ножиці	

Слід відмітити, що достатній та обов'язковий комплект модулів необхідно доповнити відповідними системами, що забезпечують сервісні умови функціонування технологічного обладнання, а саме: системами управління, контролю та діагностики, змащування, видалення стружки, автоматичної зміни інструменту та іншими.

**Висновки:**

1. Технологічне обладнання має просту модульну конструкцію та складається з обмеженої кількості модулів.
2. Модульний принцип дозволяє сформувати будь-яке за функціональним призначенням технологічне обладнання з наперед заданими функціональними та технологічними можливостями шляхом раціонального вибору комплексу складових модулів, що дозволить значно скоротити термін технічної підготовки та оперативно задовольнити вимоги сучасного ринку збуту верстатобудівної продукції.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987.
2. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Кириченко А.М. та ін. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Навч. посібник для ВНЗ. У 3-х част. – Частина I. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання / За ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2003. – 422 с.
3. Бобрик Л.П., Аверьянов О.И. Анализ компоновок станков, построенных по модульному принципу // Станки и инструмент. – 1982. – № 6. – С. 6–8.
4. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ / За ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

ВАЛЯВСЬКИЙ Іван Анатолійович – аспірант Кіровоградського національного технічного університету

Наукові інтереси:

– технологічне обладнання з паралельною кінематикою.

E-mail: [ivanvia@yandex.ru](mailto:ivanvia@yandex.ru)

Подано 9.09.2004

**Валявський І.А.** Модульна побудова технологічного обладнання з паралельною кінематикою

**Валявский И.А.** Модульное построение технологического оборудования с параллельной кинематикой.

**Valyavsky I.A.** Aggregate-module principle of parallel structure machine tools construction.

УДК 621.9.06

**Модульна побудова технологічного обладнання з паралельною кінематикою / І.А. Валявський**

В статті розглядається агрегатно-модульний принцип побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою.

УДК 621.9.06

**Модульное построение технологического оборудования с параллельной кинематикой / И.А. Валявский**

В статье рассматривается агрегатно-модульный принцип построения технологического оборудования с параллельной кинематикой

УДК 621.9.06

**Aggregate-module principle of parallel structure machine tools construction / I.A. Valyavsky**

In the article aggregate-module principle of parallel structure machine tools construction is considered.