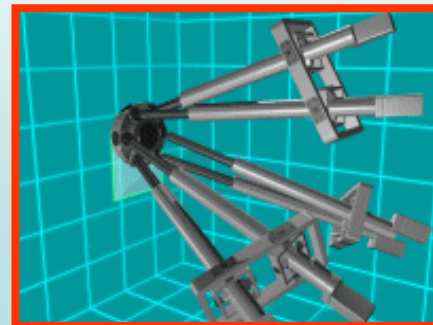
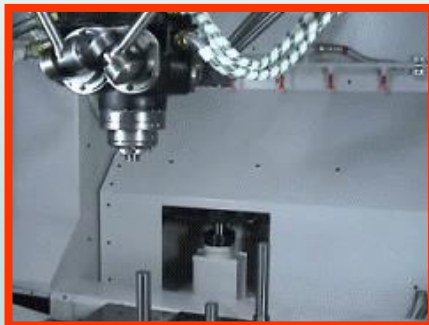
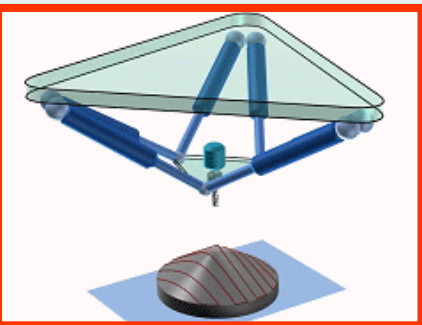


КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТАЛООБРОБНИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА МОДУЛЬНОМУ ПРИНЦИПІ.

**Механізми із змінною структурою або
механізми з паралельною кінематикою.**



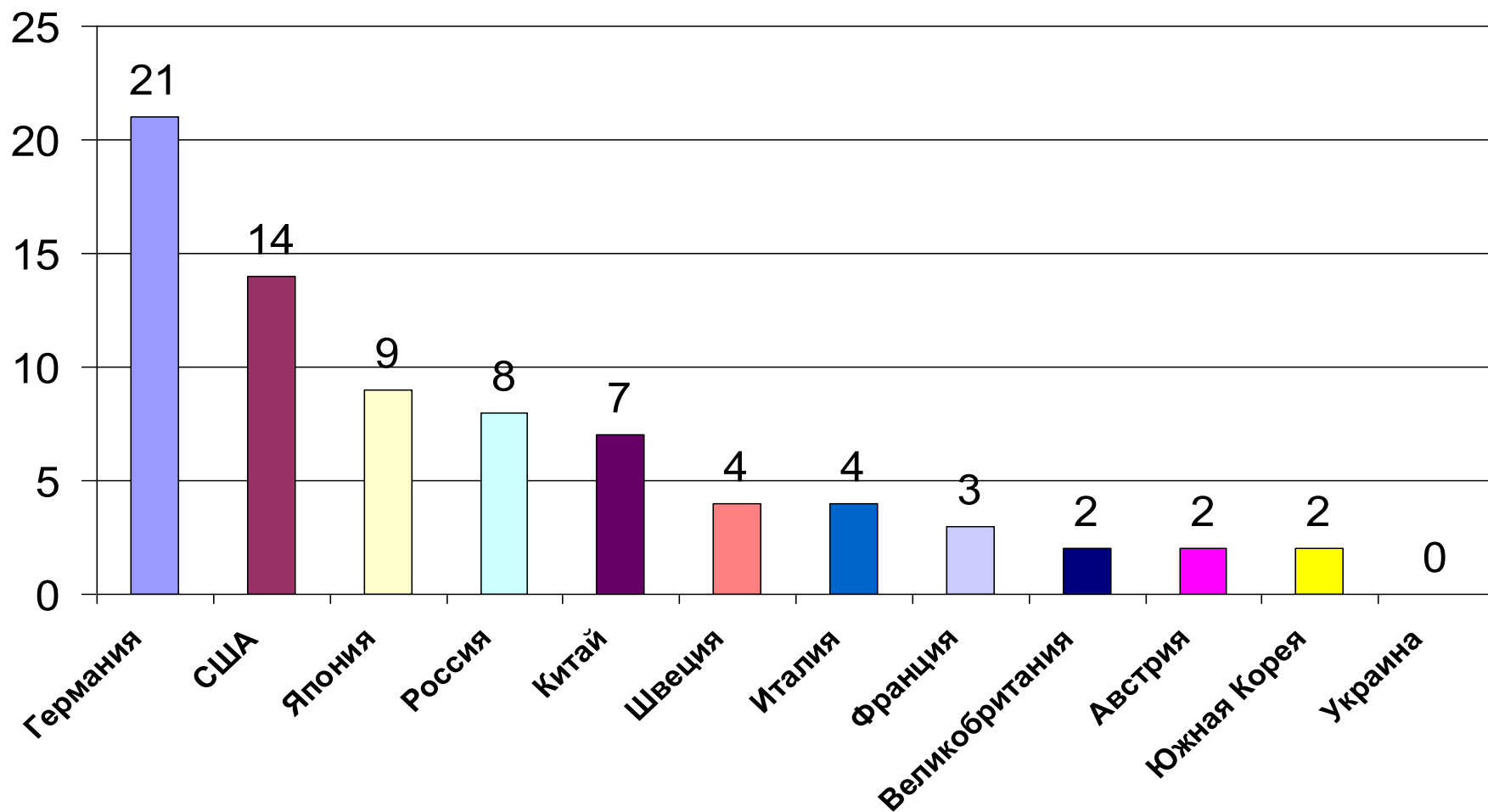
Поява МРВ нового покоління на основі мехатронних систем з механізмами паралельної структури (МПС) та модульної компоновки відповідає світовій тенденції розвитку машинобудування, серцевиною якого є верстатобудування.

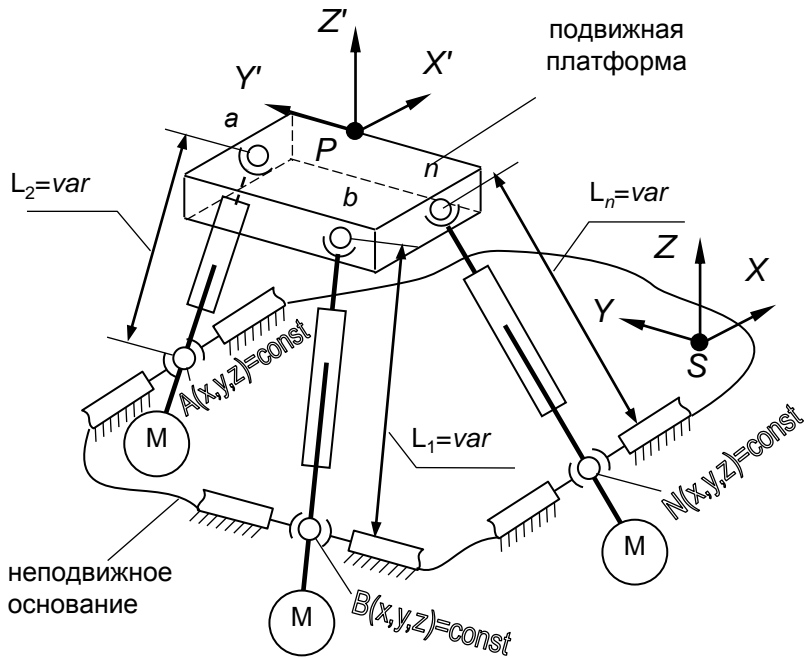
Особливості МПС

- ✓ Будуються на основі просторових стрижневих систем, мають менші маси та мають підвищену жорсткість.
- ✓ Реалізують одночасно (паралельно) передачу енергії від ведучої ланки до веденої дукількома кінематичними ланцюгами та механізмами.
- ✓ Забезпечують потік руху та сил виконавчому органу (ВО) верстата шляхом раціонального розподілу перемещень та навантажень між декількома кінематичними ланцюгами.
- ✓ Утворюють замкнуті кінематичні ланцюги, які створюють замкнутий просторовий контур підвищеної жорсткості.
- ✓ Побудовані на основі бесконсольних конструкцій.

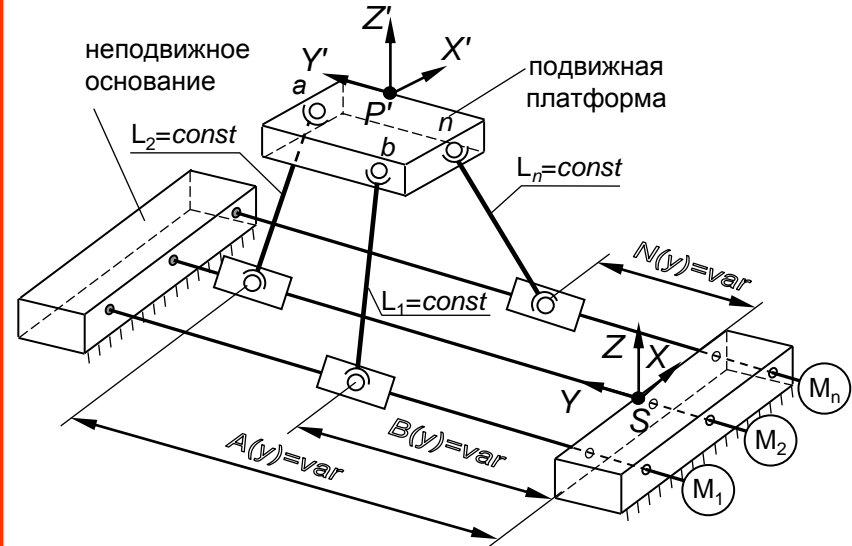
Розподіл моделей МРВ з параллельною кінематикою за країнами-виробниками

(станом на 2010 рік)



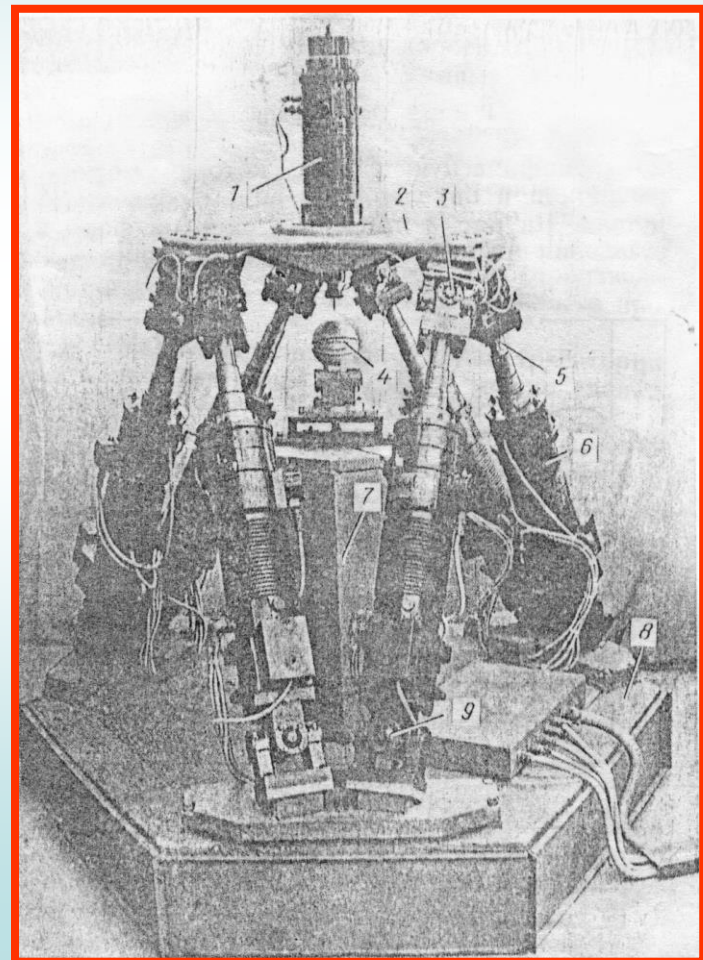


Із штангами керовано-змінної довжини :
біпод, трипод, лінапод, пентапод, гексапод



Із штангами постійної довжини:
біглайд, триглайд, ортоглайд, гексаглайд, “дельта”, “ножиці”

ВЕРСТАТ-ГЕКСАПОД Новосибірського електротехнічного інституту (початок 1980-их років)



1. Шпиндельный вузол.
2. Рухома платформа.
- 3 и 9. Шарніри.
4. Заготовка (деталь).
- 5 и 6. Рухомий та нерухомий елементи штанг змінної довжини (...-под).
7. Тумба робочого столу.
8. Нерухома основа.

Верстат оснащено системою ЧПУ
«УНИКОН 20»

Основні принципи концепції

1. Генетико-морфологічний принцип, що включає:

✓ гінетичнкий підхід щодо опису, еволюції розвитку, синтезу та прогнозування технічних систем;

✓ системно-морфологічний підхід до побудови на основі класифікації та синтезу технічних систем.

2. Використання каркасних та оболонкових конструкцій несучих систем.

3. Агрегатно-модульний принцип компоновок.

4. Використання перспективних інформаційних технологій інтелектуальних комп'ютерних систем.

Генетичні оператори синтезу в компонуваннях МРВ

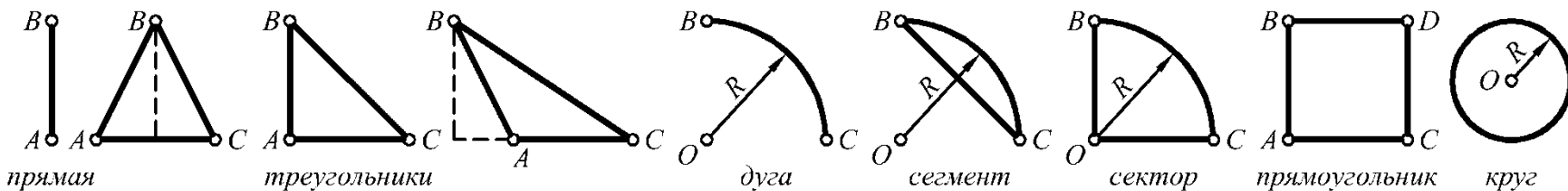
7

- Реплікація** Розмноження вихідної структури із збереженням відповідної сукупності її генетичних ознак (багатопозиційність та багатоінструментальність)
- Схрещування** Створення структур із змішаною генетичною інформацією (гібридизація)
- Інверсія** Розміщення двох елементів структури у зворотньому порядку (дзеркальність та симетричність)
- Кроссінговер** Обмін (взаємне переміщення) окремих дискретних генетичних ділянок, між якими можливий обмін генетичною інформацією (перехрещування)
- Мутація** Зміни в структурі геометричних фігур компоновки, що не враховуються генетичними операторами реплікації, схрещування та кроссінговера (скачкоподібна формозміна)

Геометричні оператори перетворення компонентів МРВ

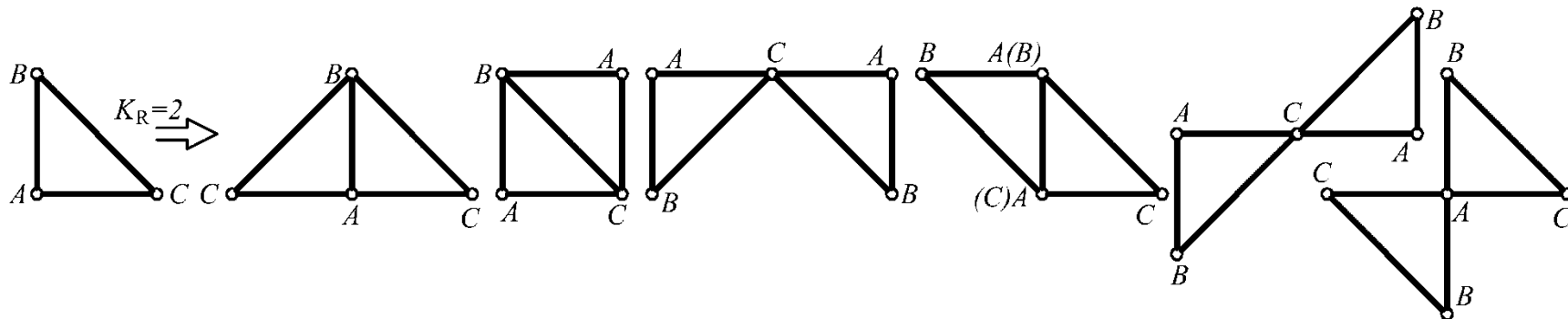
Батьківські “хромосоми”

первинні геометричні фігури в процедурі генетичного синтезу



“Хромосоми”-нащадки

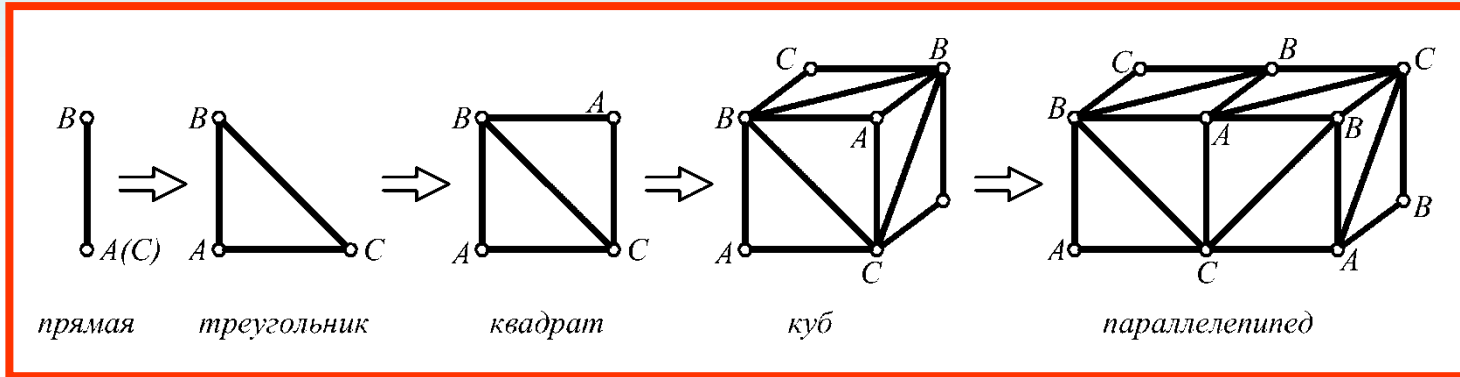
просторові комбінації із двох та більше хромосом ($K_R \geq 2$)



Геометричні оператори перетворення компонентів МРВ

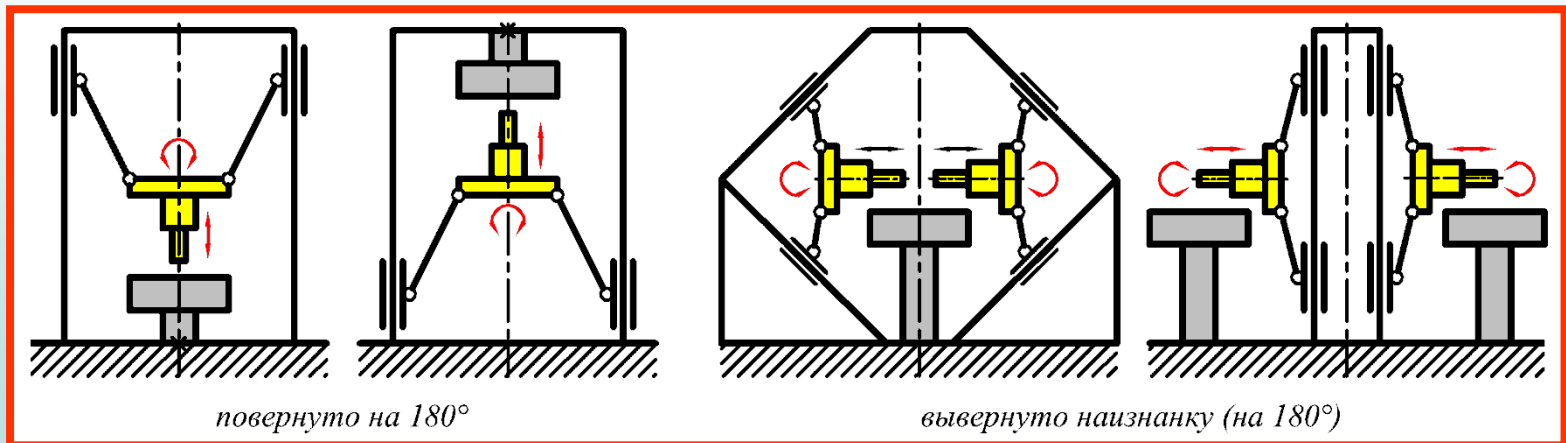
“Хромосоми”-реплікатори

породжують нові форми в
процедурах реплікації

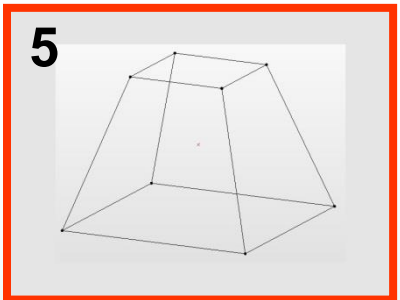
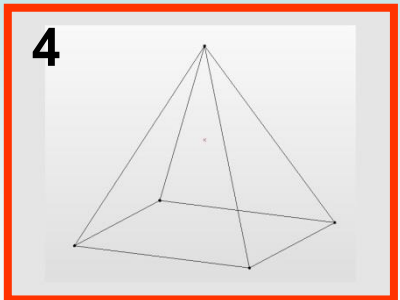
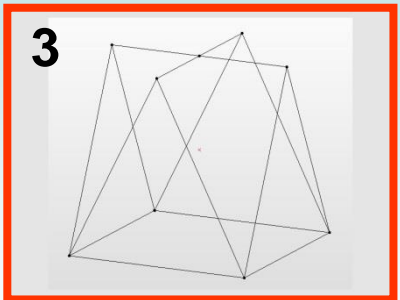
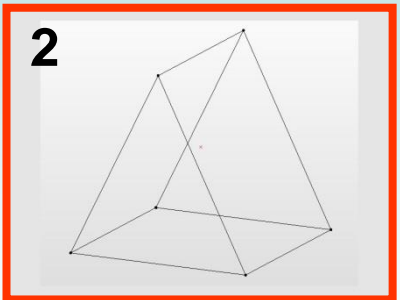
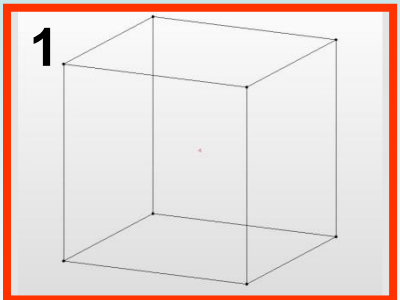


“Хромосомна” інверсія

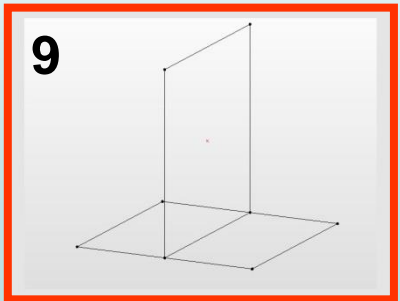
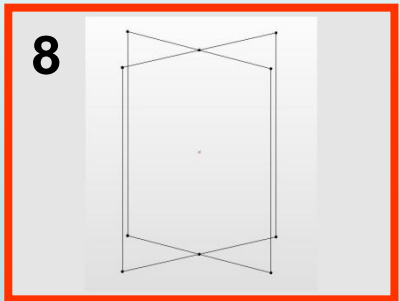
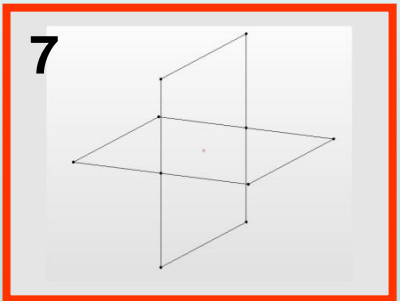
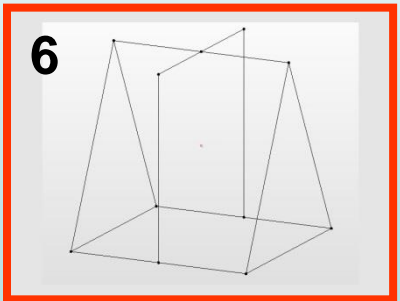
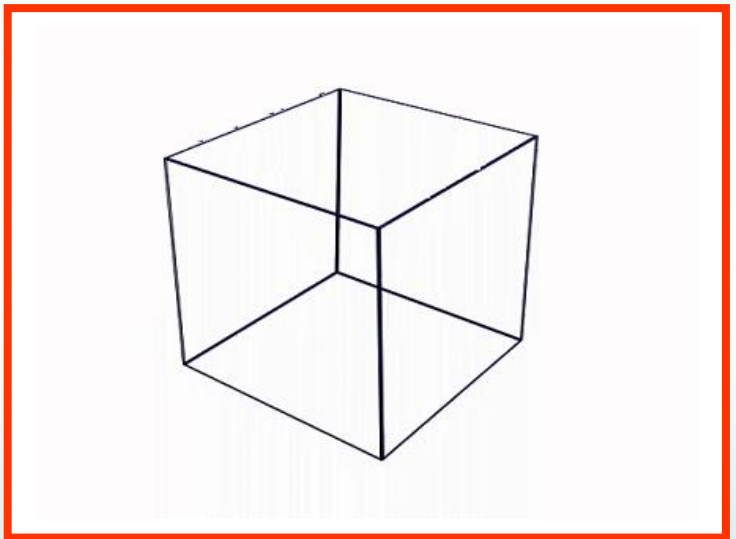
різновид повернутої хромосомної структури
(інструментальних систем на рухомих
платформах)



Фрагмент мутації “хромосом” при пошуку різних каркасних компонувань



**Зміна кількості
вершин, ребер та
граней**



Багаторівневий морфологічний аналіз¹¹

МРВ як складної ТС

Передбачає побудову морфологічних моделей на різних рівнях:

✓ верстати s із механізмів m (система)

$$M_s^m = M_s^{me} \wedge M_s^{mr}$$

✓ механізми m із вузлів u (підсистема I рівня)

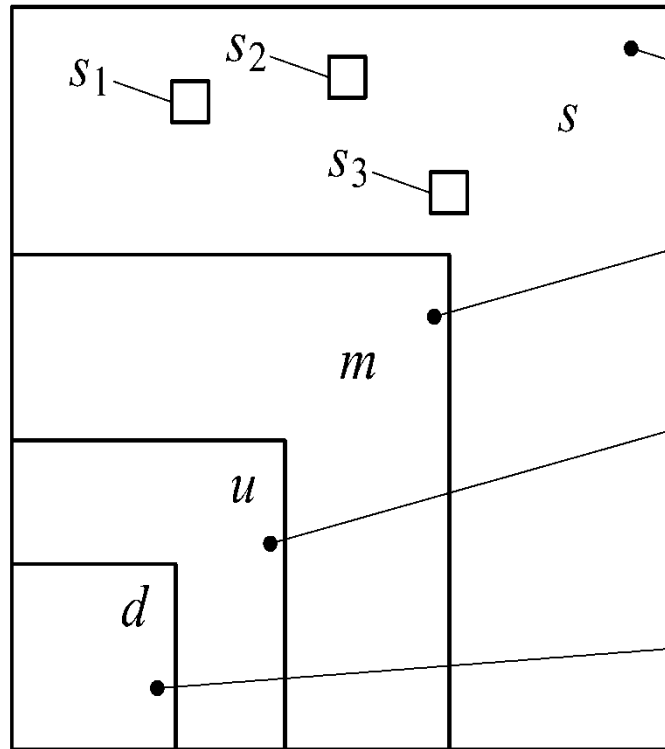
$$M_m^u = M_m^{ue} \wedge M_m^{ur}$$

✓ вузли u із деталей d (підсистема II рівня)

$$M_u^d = M_u^{de} \wedge M_u^{dr}$$

$$\begin{aligned} M_s &= M_s^m \wedge M_m^u \wedge M_u^d = \\ &= \left(M_s^{me} \wedge M_s^{mr} \right) \wedge \left(M_m^{ue} \wedge M_m^{ur} \right) \wedge \left(M_u^{de} \wedge M_u^{dr} \right) \end{aligned}$$

Багаторівневий морфологічний аналіз¹² МРВ як складної ТС



- Область множества станков s при вариации механизмов, узлов и деталей
- Область множества механизмов m одного станка s при вариации узлов и деталей
- Область множества узлов u одного станка s и механизма m при вариации и деталей
- Область множества деталей d для одного станка, механизма, узла при вариации их отдельных поверхностей (частей)

Області множини ТС на різних рівнях

Загальна кількість синтезованих варіантів

✓Верстатів s при варіації механізмів та зв'язків між ними:

$$N_s^m = N_m^e \wedge M_m^r$$

✓механізмів m для одного варіанта верстата при варіації вузлів та зв'язків між ними:

$$N_m^u = N_u^e \wedge M_u^r$$

✓вузлів u для одного варіанта механізму при варіації деталей та зв'язків між ними:

$$N_u^d = N_d^e \wedge M_d^r$$

Загальна кількість синтезованих верстатів при варіації механізмів, вузлів та деталей

$$\begin{aligned} N_s^{mud} &= N_s^m \cdot N_m^{ud} = N_s^m \cdot N_m^u \cdot N_u^d = \\ &= \left(N_m^e \cdot N_m^r \right) \cdot \left(N_u^e \cdot N_u^r \right) \cdot \left(N_d^e \cdot N_d^r \right) \end{aligned}$$

Морфологічні матриці компоувальних¹⁴ схем технологічного обладнання з МПС

Звернута $M_{спк} = M_з \wedge M_{шб} \wedge M_{шт} \wedge M_{бл} \wedge M_u$

Розвернута повна

$$M_{спк} = \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \end{array} & \begin{array}{c|c} \begin{array}{cccc} 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ 2.4 & 3.4 & & 5.4 \\ 2.5 & 3.5 & & 5.5 \end{array} & \wedge \end{array} \end{array} \begin{array}{c|c} \begin{array}{cccc} 6.1 & 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ 6.2 & 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ 6.3 & 7.3 & 8.3 & 9.3 \\ 6.4 & 7.4 & 8.4 & 9.4 \\ 6.5 & 7.5 & 8.5 & \\ 6.6 & 7.6 & 8.6 & \\ 6.7 & 7.7 & 8.7 & \\ 6.8 & & 8.8 & \\ & & 8.9 & \\ & & 8.10 & \\ & & 8.11 & \end{array} & \wedge \end{array} \begin{array}{c|c} \begin{array}{cc} 10.1 & 11.1 \\ 10.2 & 11.2 \\ 10.3 & 11.3 \\ 10.4 & 11.4 \\ 10.5 & 11.5 \\ 10.6 & 11.6 \\ 10.7 & 11.7 \\ & 11.8 \\ & 11.9 \end{array} & \wedge \end{array} \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \\ 12.4 \\ 12.5 \\ 12.6 \\ 12.7 \\ 12.8 \\ 12.9 \\ 12.10 \end{array} \end{array}$$

$$N = 4 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 4 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 10 = 332640000$$

Морфологічні матриці компоувальних¹⁵ схем МРВ з МПС

**Розвернута усічена для тіл обертання
(альтернативи 1.1, 12.1)**

$$M'_{снк} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ 2.4 & 3.4 & & 5.4 \\ 2.5 & 3.5 & & \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{cccc} 6.1 & 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ & 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ & 7.3 & 8.3 & 9.3 \\ & & 7.4 & \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{cc} 10.1 & 11.1 \\ 10.2 & 11.2 \\ 10.3 & 11.3 \\ 10.5 & \\ 10.6 & \\ 10.7 & \end{array} \right| \end{array}$$

$$N' = 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 3 = 226800$$

Морфологічні матриці компоувальних схем МРВ з МПС

Развернутая усеченная для корпусных, плоских и сложнопрофильных деталей

$$M''_{снк} = \begin{vmatrix} 2.2 & 3.2 & 4.1 & 5.2 \\ 2.3 & 3.4 & 4.2 & 5.3 \\ 2.5 & & 4.3 & \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 6.1 & 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ 6.2 & 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ 6.3 & 7.3 & 8.3 & 9.3 \\ 6.4 & 7.4 & 8.4 & \\ 6.5 & & 8.5 & \\ 6.6 & & 8.6 & \\ & & 8.7 & \\ & & 8.8 & \\ & & 8.9 & \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 10.1 & 11.1 \\ 10.2 & 11.2 \\ 10.3 & 11.3 \\ 10.4 & 11.4 \\ 10.5 & 11.5 \\ 10.7 & 11.6 \\ 10.8 & \end{vmatrix}$$

$$N'' = 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 6 = 979776$$

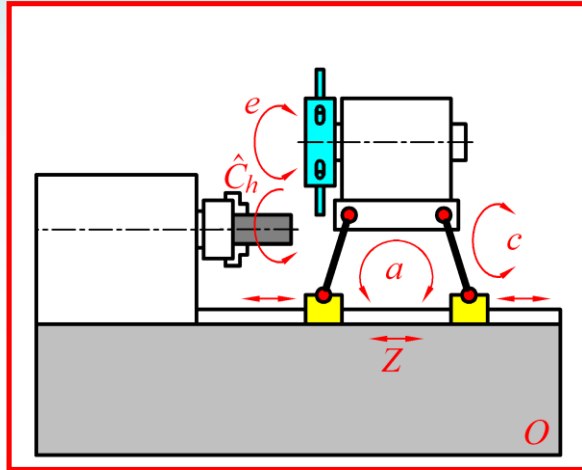
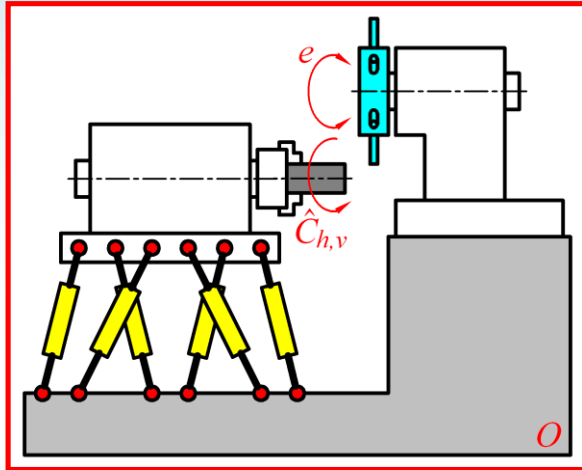
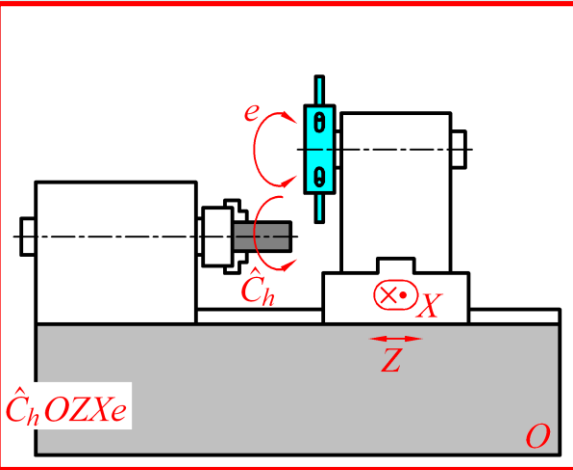
Порівняння трьох концепцій компонентувань МРВ токарної групи

Компоновки

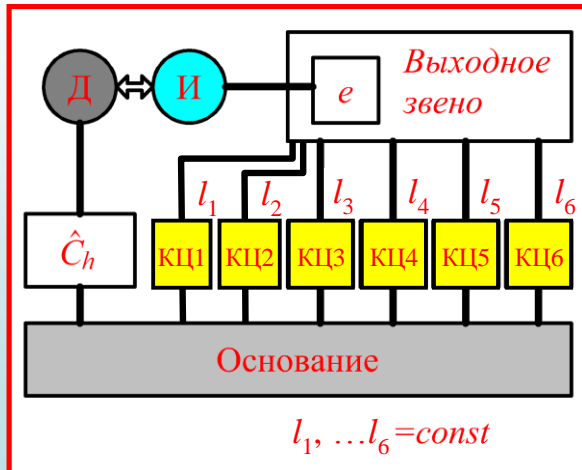
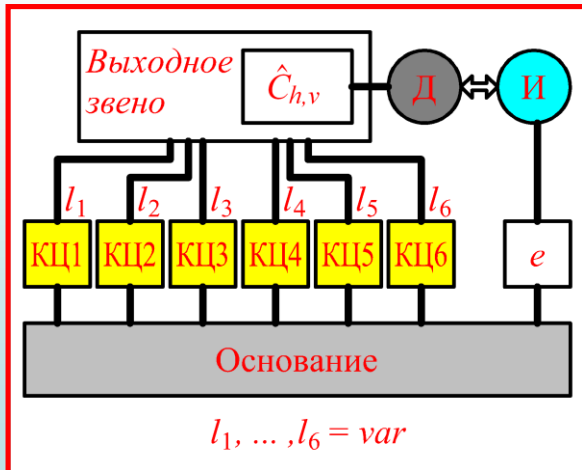
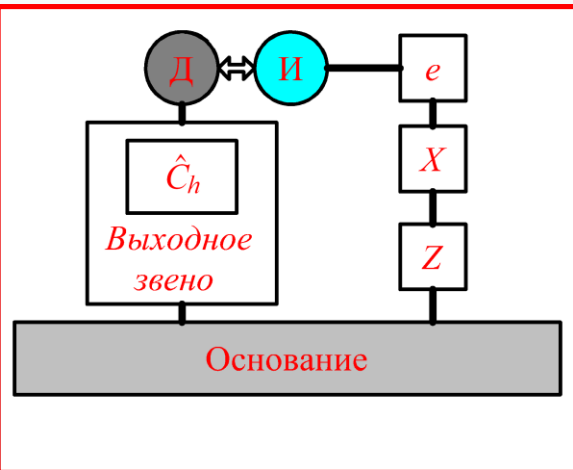
1 - Традиционная

2 - СПК-гексапод модели V100 фирмы MICROMAT (Германия)

3 - Гибридная (НТУУ "КПИ", Украина) (2.1-3.1-4.1-5.2)^(6.1-7.1-8.1-9.1)^(10.7-11.1)



Структурные схемы



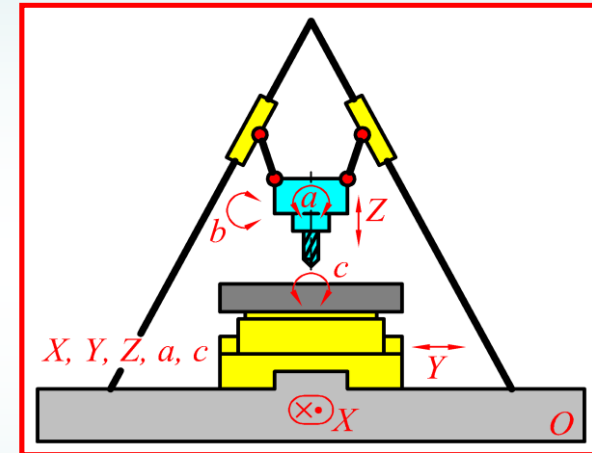
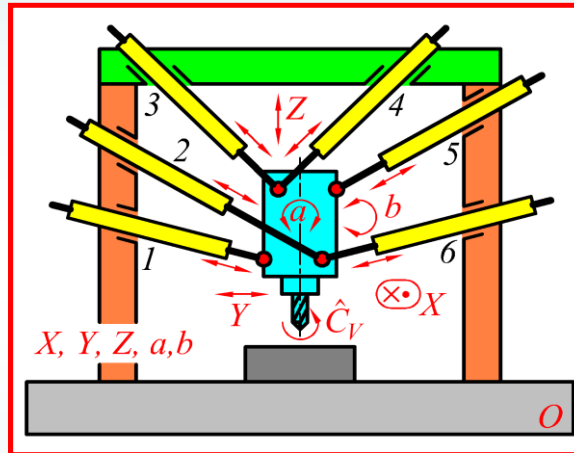
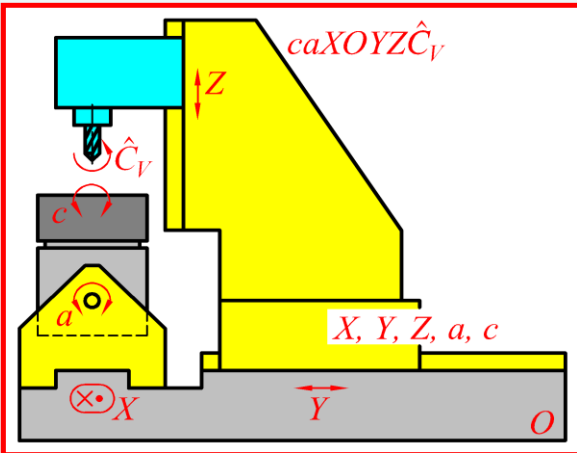
Порівняння трьох концепцій компонувань МРВ сверлильно-фрезерної групи

Компоновки

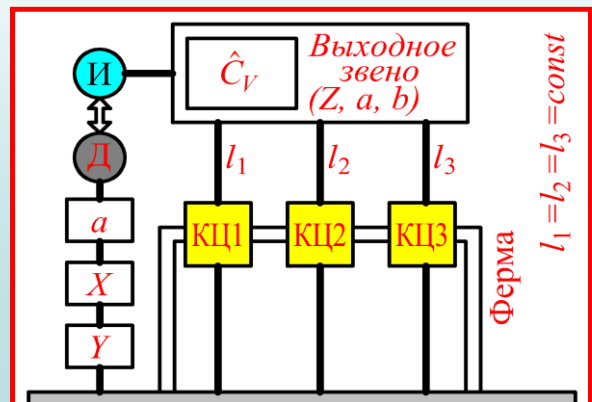
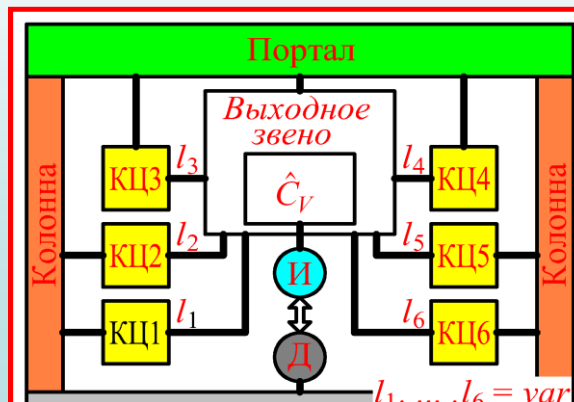
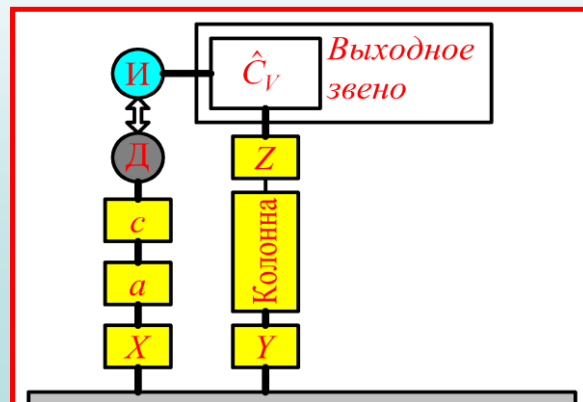
1 - Традиционная

2 - СПК-гексапод модели 6X фирмы MICROMAT (Германия)

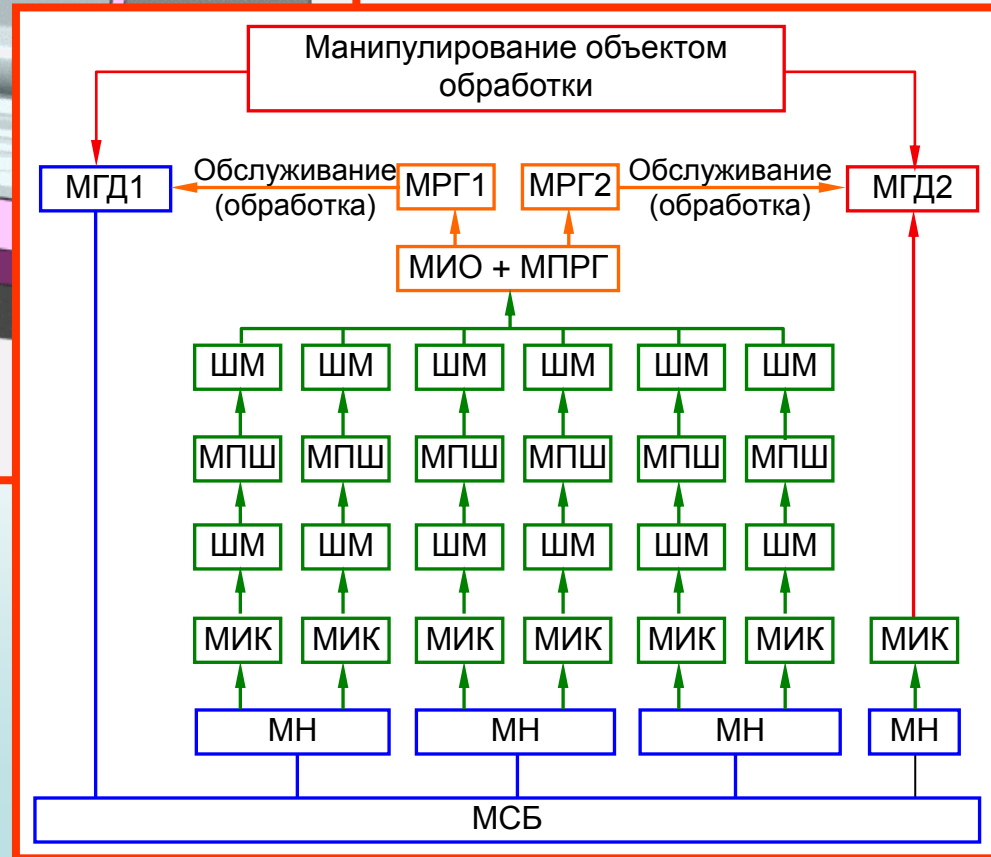
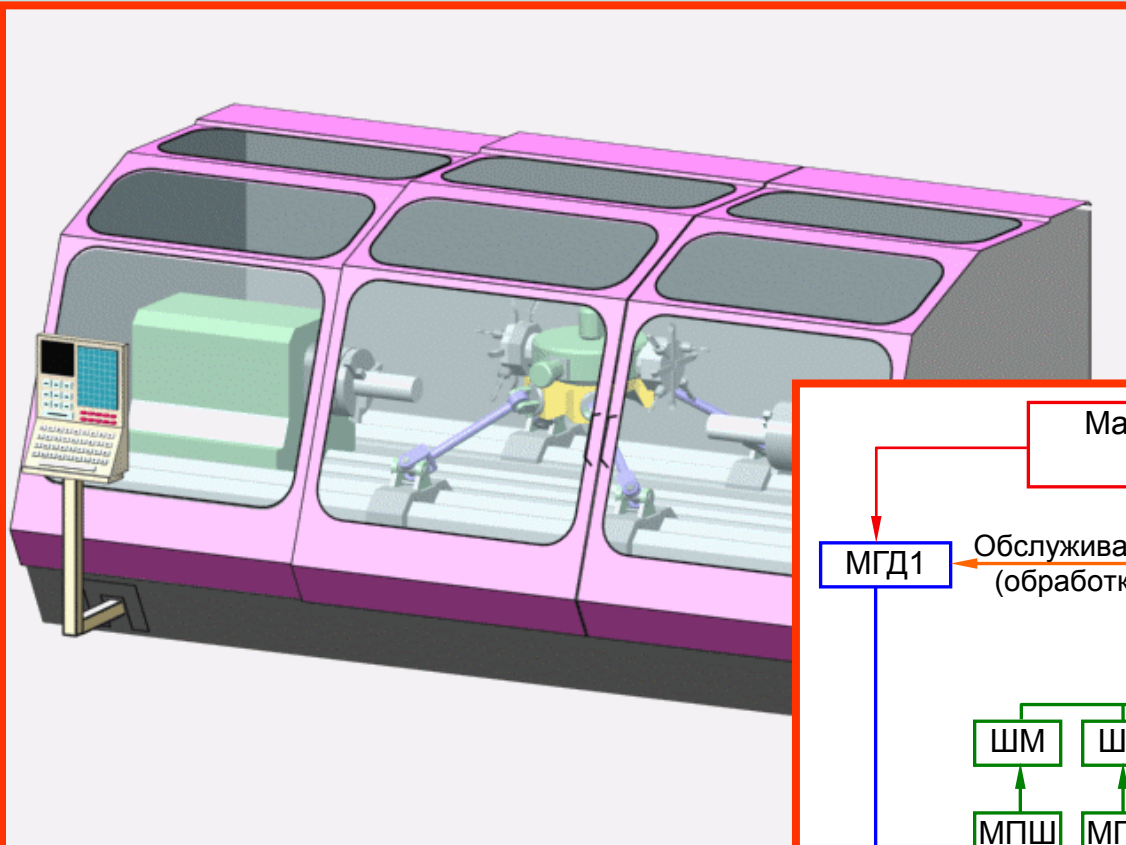
3 - Гибридная (НТУУ "КПИ", Украина) (2.2-3.2-4.1-5.2)^(6.1-7.1-8.8-9.1)^(10.5-11.6)

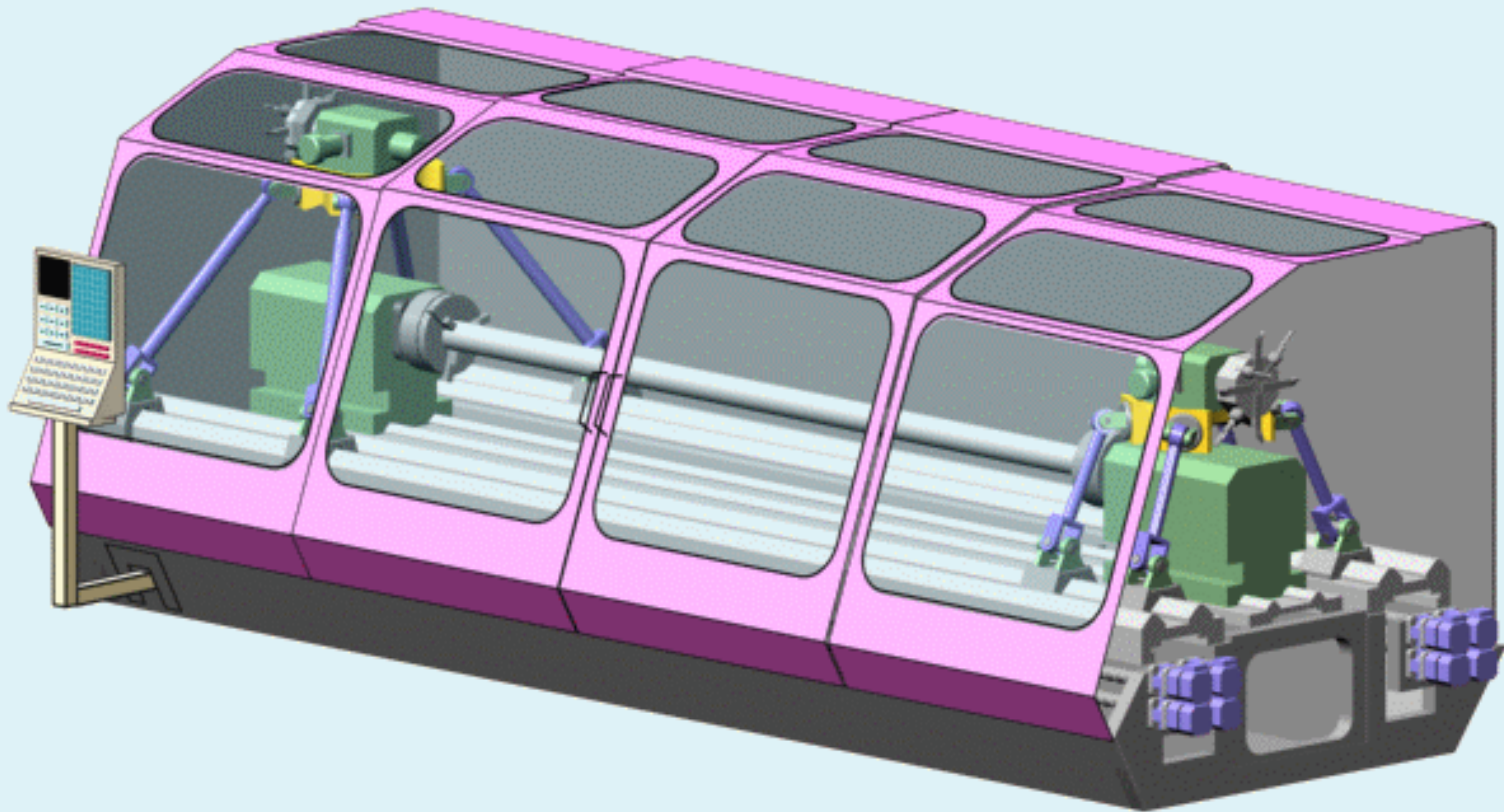


Структурные схемы



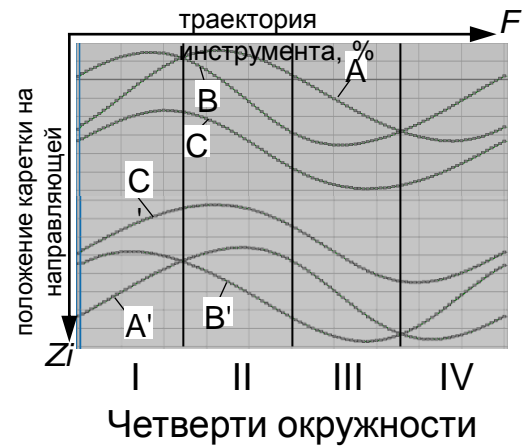
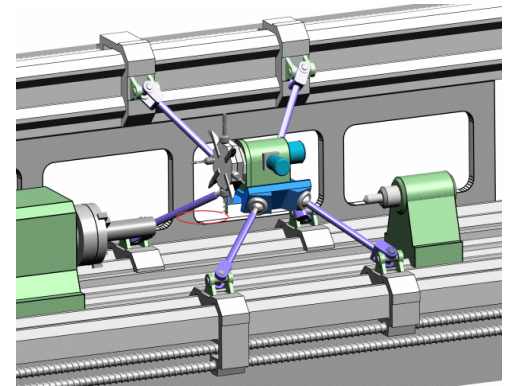
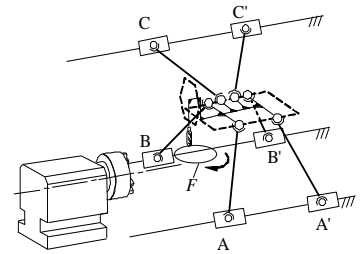
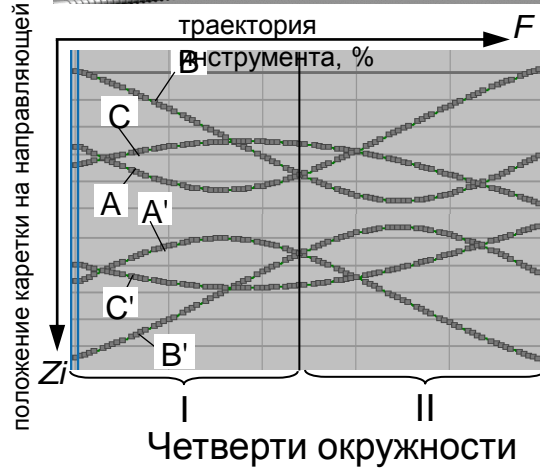
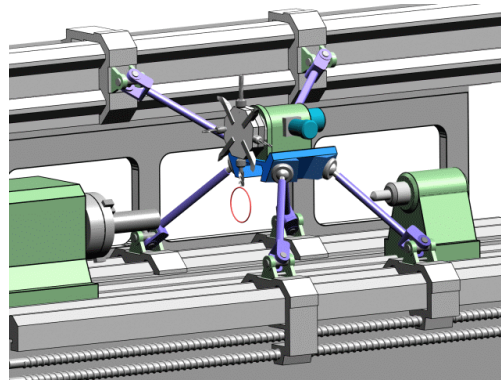
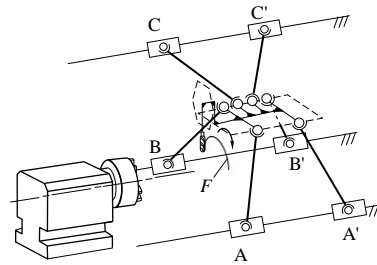
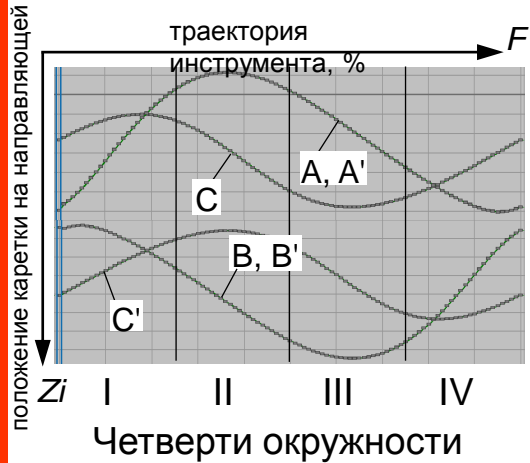
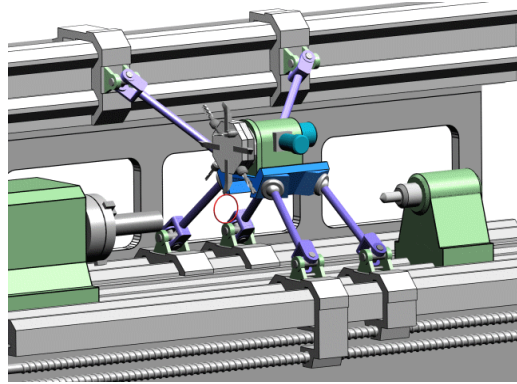
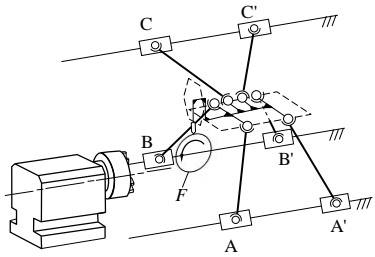
Токарна група МРВ



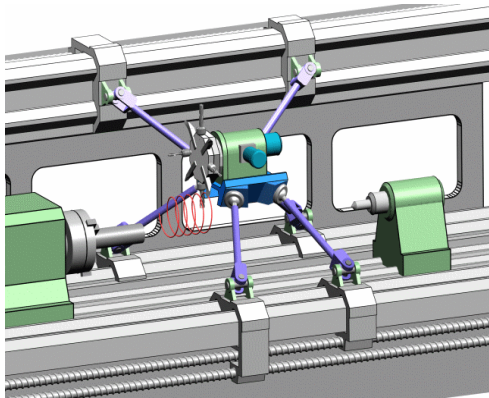
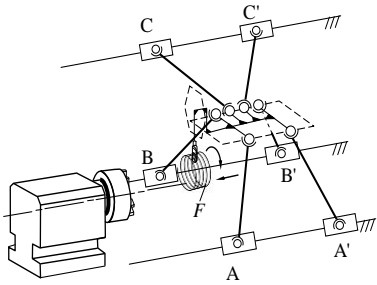


Патент України № 31226

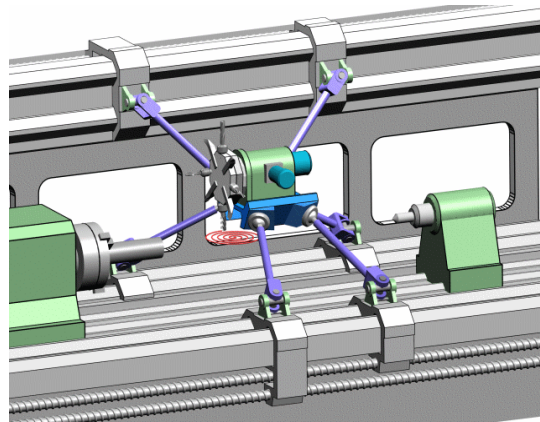
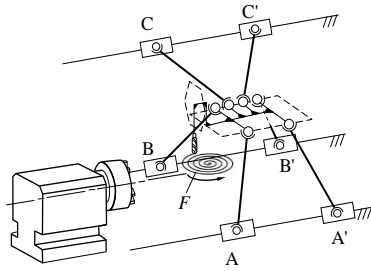
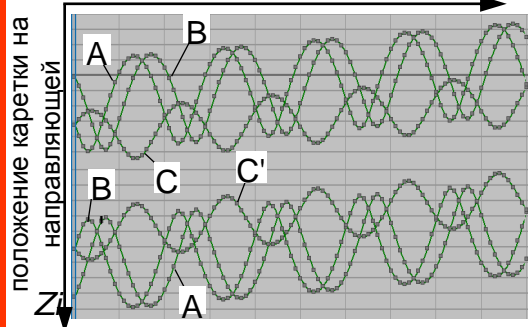
Обработка по дузі кола (кругова інтерполяція) ²³



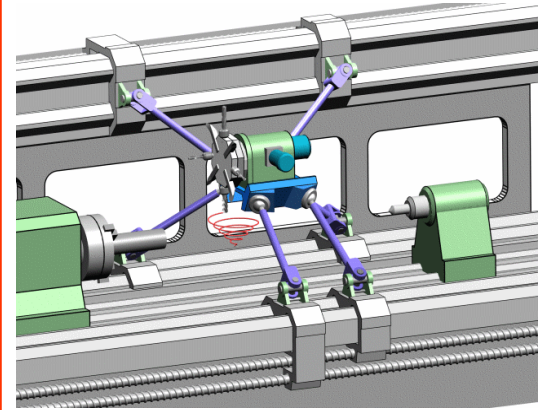
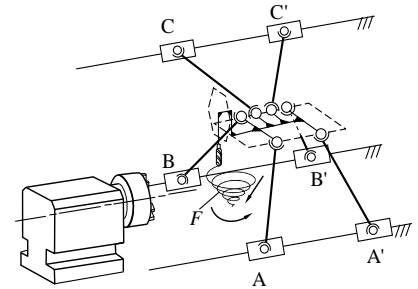
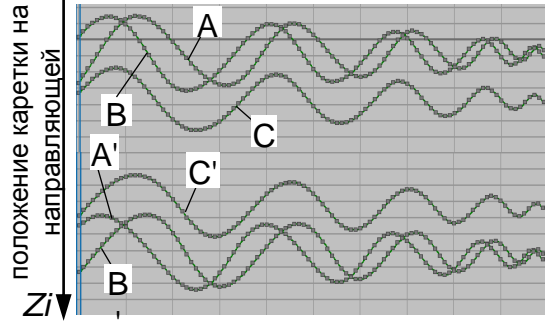
Траєкторії врізання по гвинтовій лінії



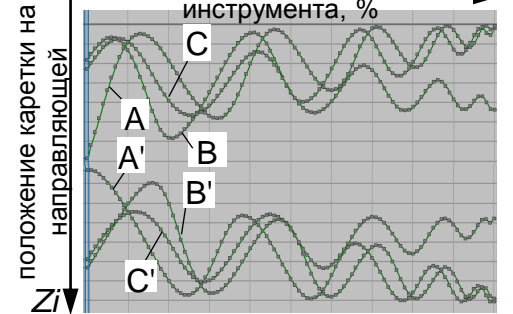
траєкторія інструмента, % F



траєкторія інструмента, % F

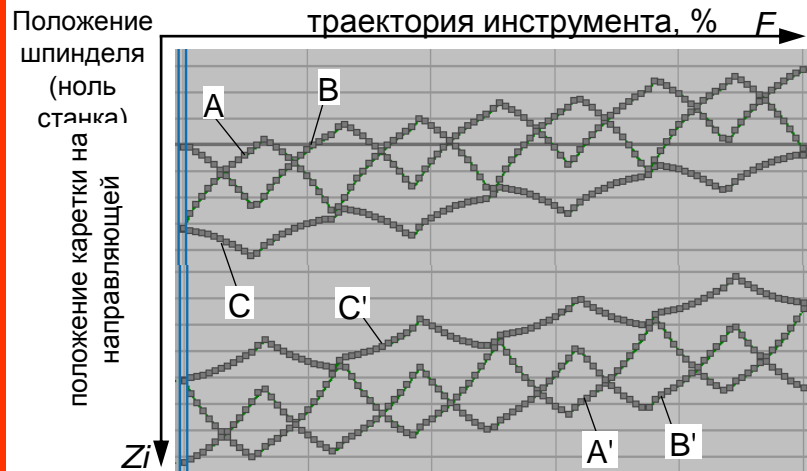
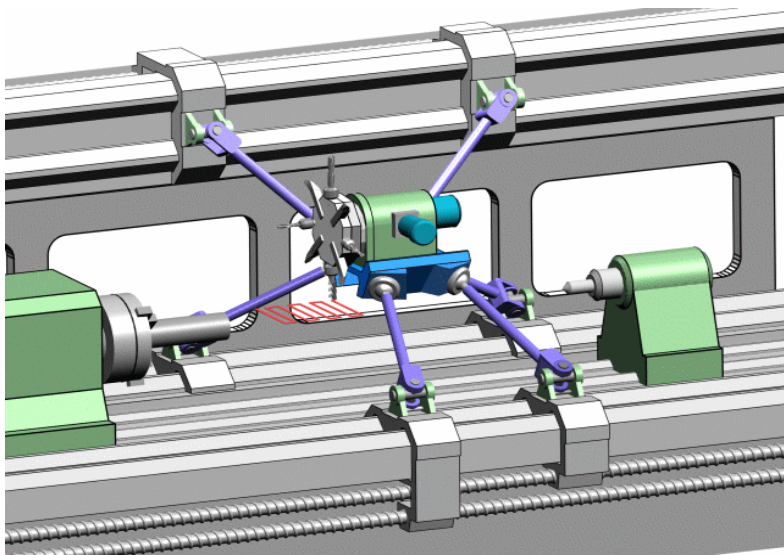


траєкторія інструмента, % F

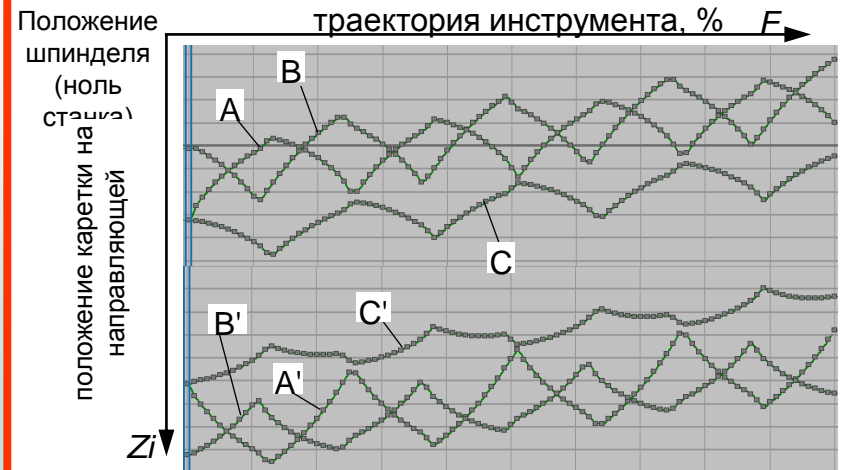
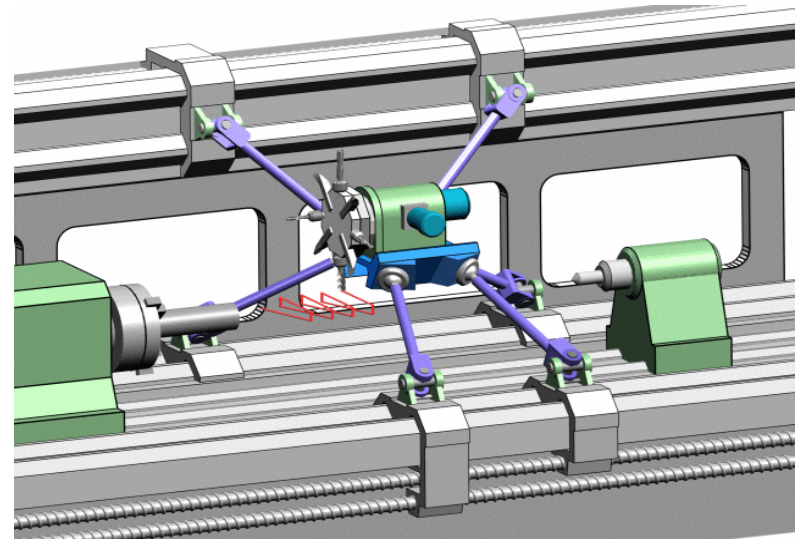


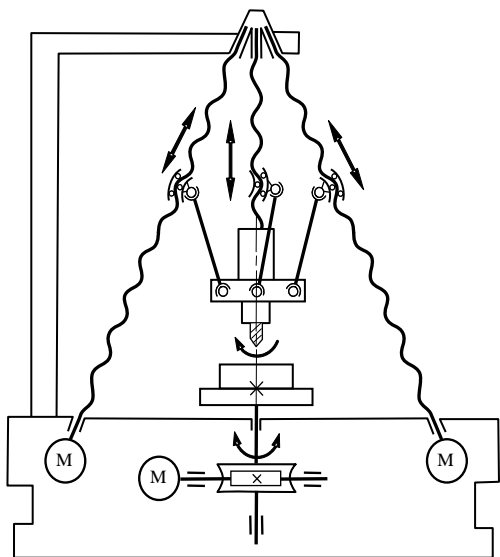
Типові схеми фрезерування площин

«Зигзаг»

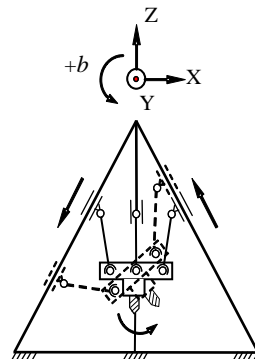
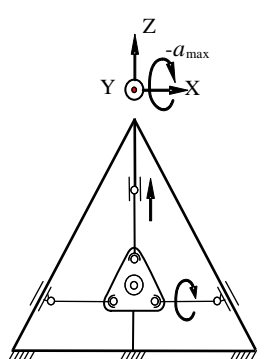
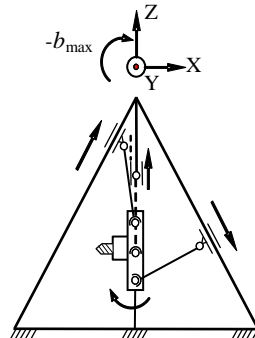
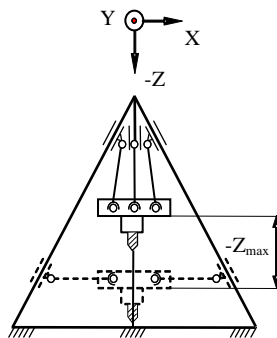
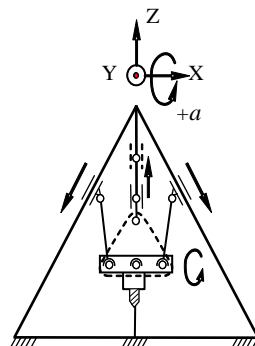
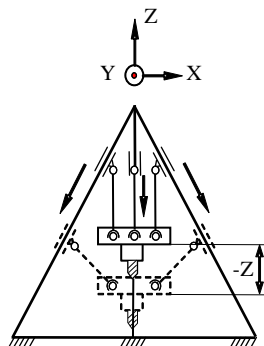


«Петля»



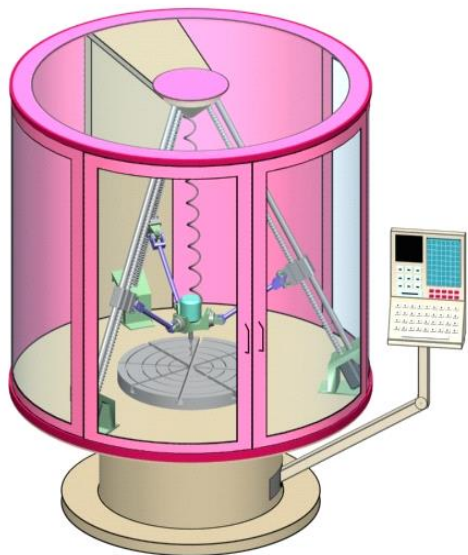


а)



б)

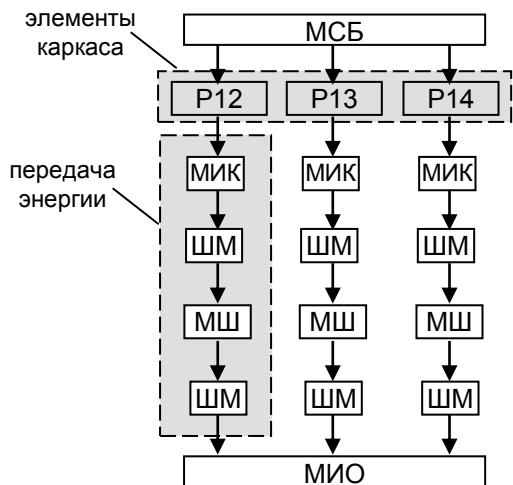
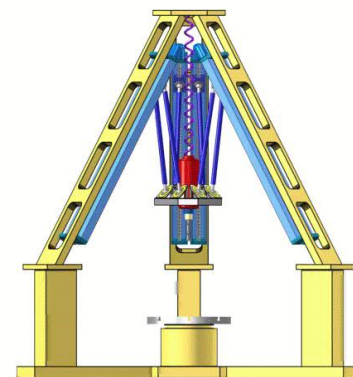
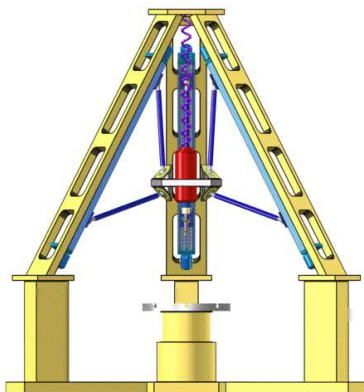
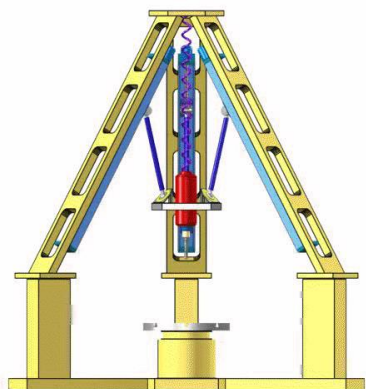
в)



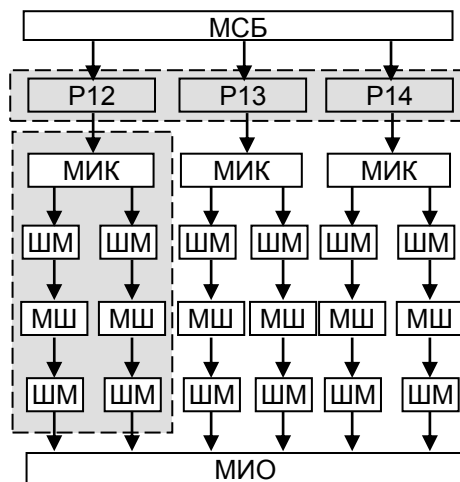
Патент України
№ 86533
(пірамідальне
компонування)

Свердлильно-фрезерна група МРВ

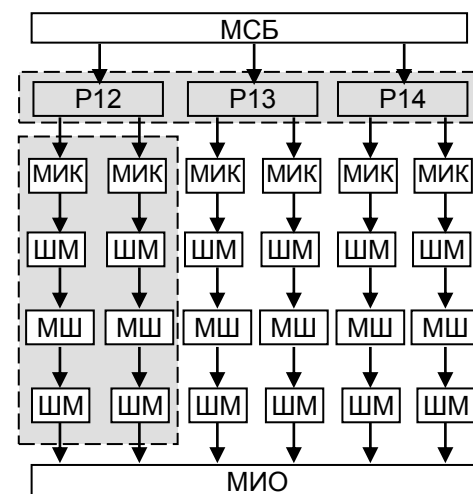
Патент України № 86533



W=3



W=6



W=6

Свердлильно-фрезерна група МРВ

28

Патент України № 86533 (діючий макет)



Керована координата $\pm Z$



Керована координата $\pm A$



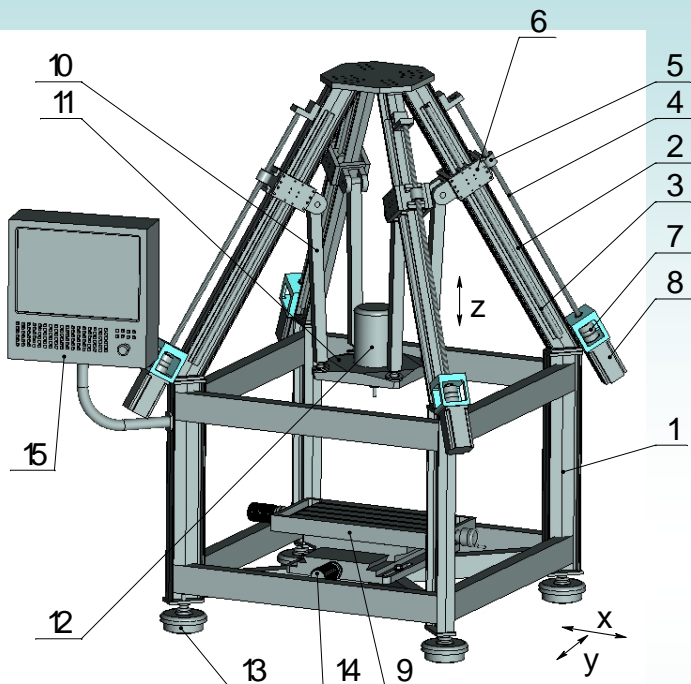
Керована координата
 $\pm A + (Z_{120^\circ})$



Керована координата
 $\pm A - (Z_{120^\circ})$



Загальний вид та поелементна калькуляція свердлильно-фрезерного МРВ з ЧПУ та МПС пірамідального компонування

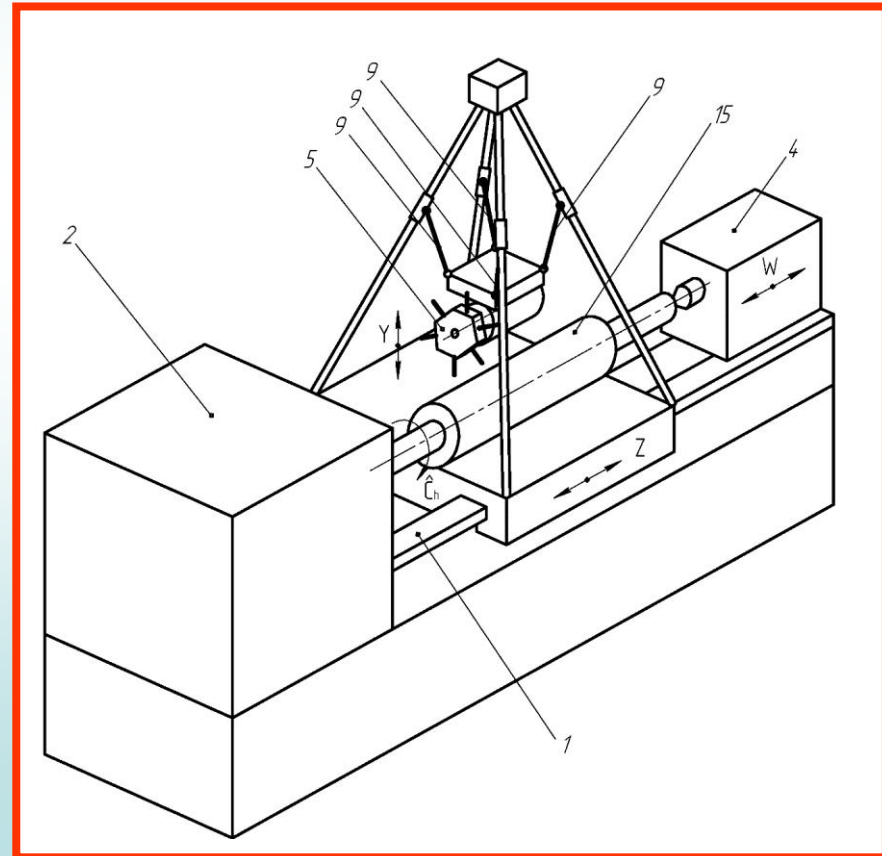
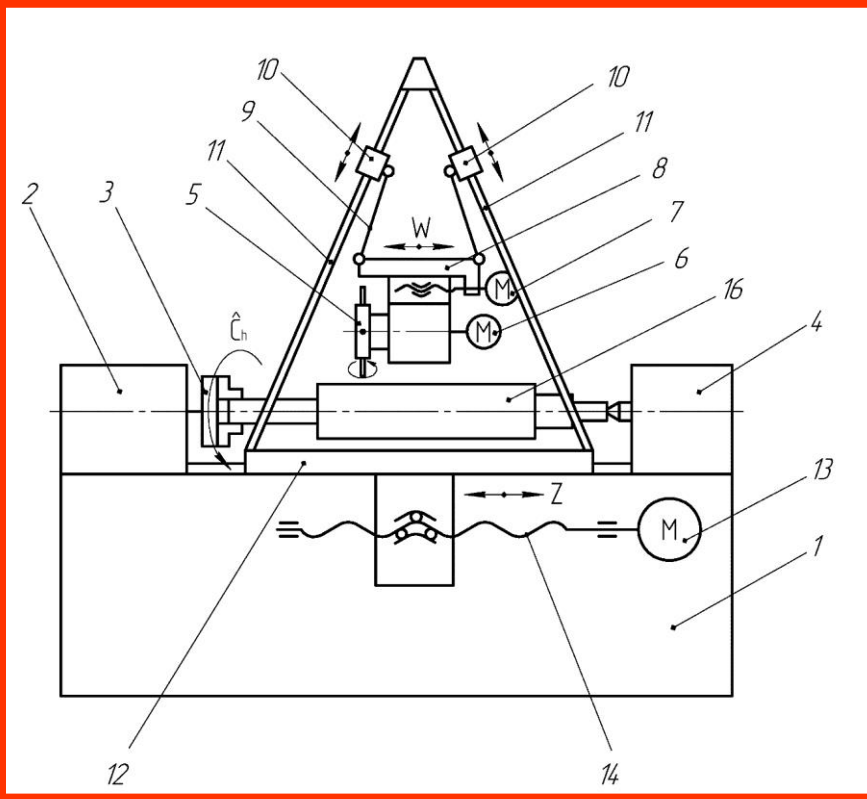


Поз.	Назва	Кількість, шт.	Ціна, грн.
1.	Основа (метал та виготовлення)	1	15 000,00
2.	Стойка (метал та виготовлення)	4	4 200,00
3.	Прецизійний вал на опорі SA 20	8	7 040,00
	Підшипник в корпусі, відкритий SME 20 GUU	16	3 520,00
4.	Гвинт трапецевидний Tr. 20 x 4 x 1000	4	884
5.	Гайка бронзова без фланця Tr. 20 x 4	4	1220
6.	Каретка	4	6 200,00
7.	Муфта з корпусом	4	6 800,00
8.	Шаговий двигун	4	7 200,00
9.	Хрестовий стіл	1	25 000,00
10.	Штанги постійної довжини з шарнірами	4	8 440,00
11.	Робоча платформа	1	4 500,00
12.	Мотор шпиндель високошвидкісний	1	33 250,00
13.	Віброопора ОВ-30м	4	520
14.	Шаговий двигун хрестового стола	2	3 600,00
15.	Система керування верстатом	1	55 300,00
	Розробка програмного забезпечення для системи керування	-	56 400,00
	Всього		239 074,00

Токарний багатоцільовий МРВ

30

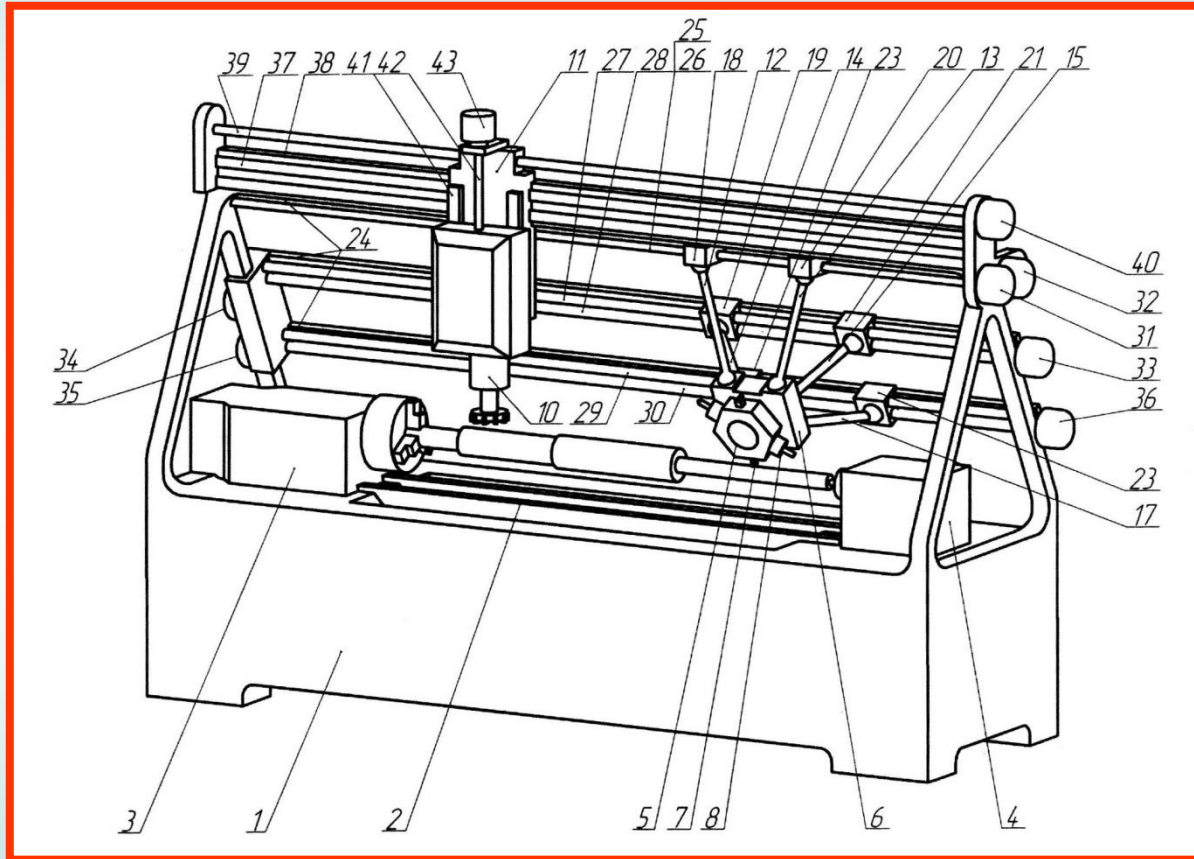
з рухомим пірамідальним каркасом



Токарний багатоцільовий МРВ

31

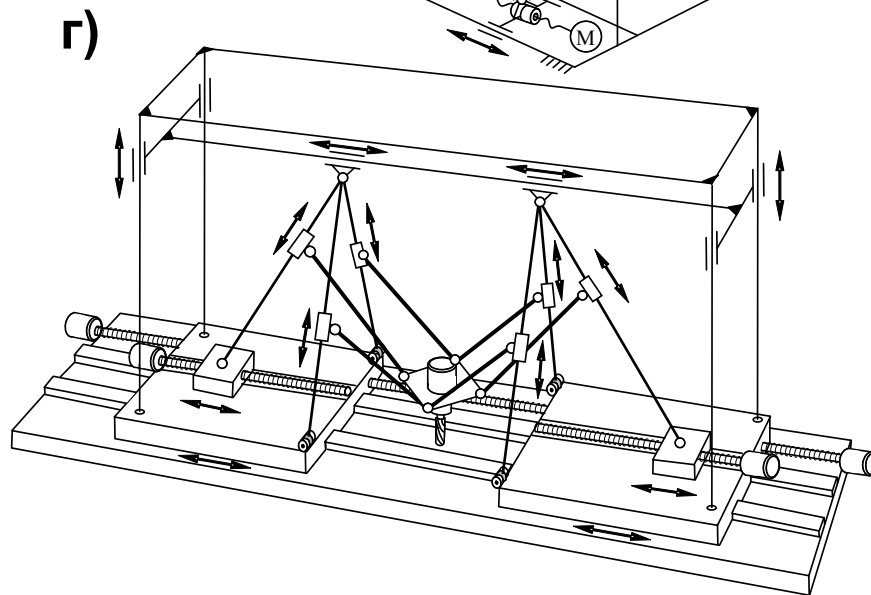
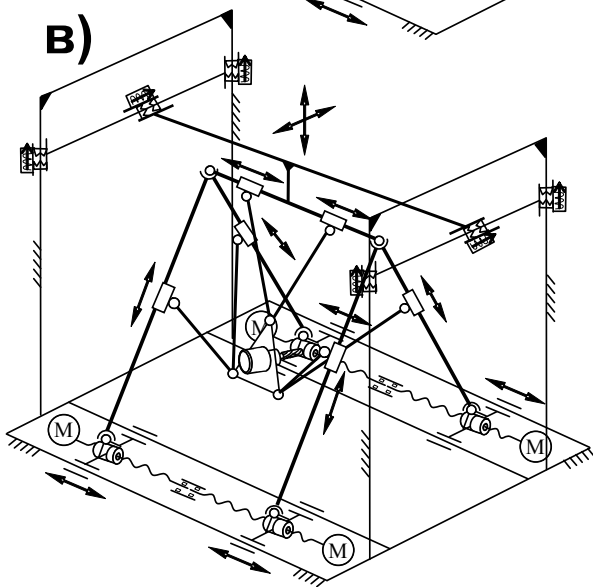
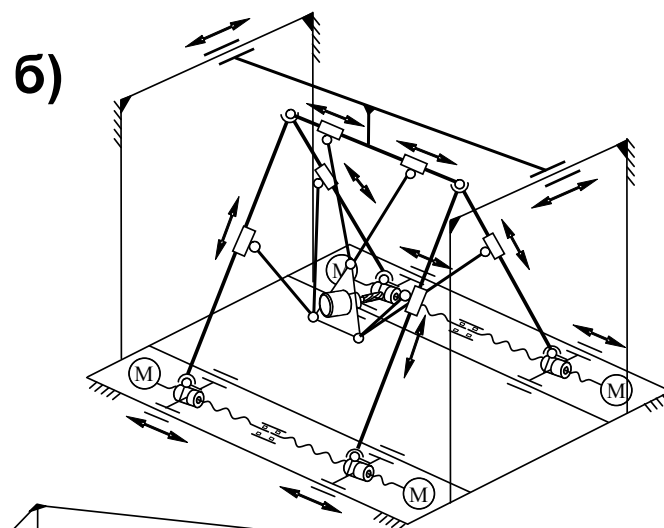
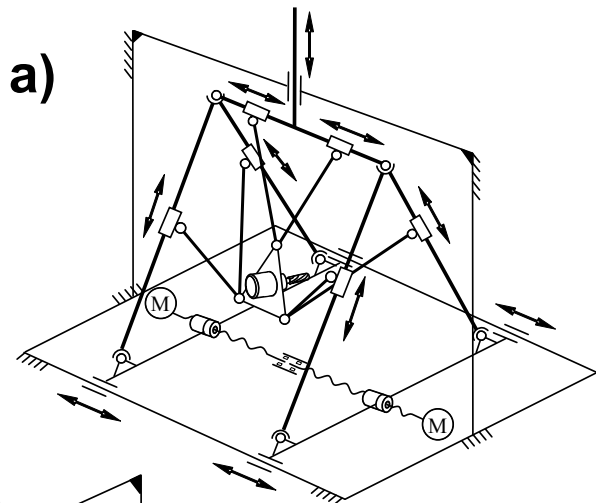
з рухомим пірамідальним клиноподібним каркасом
та МПС



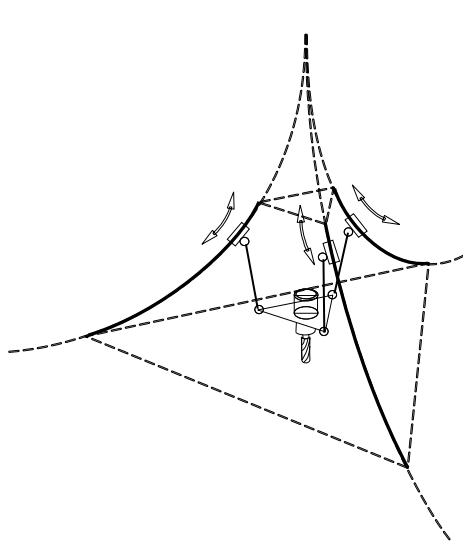
(лазерно-токарний МРВ для відновлення зношених деталей типу валів)

Приклади гібридних каркасних компонувань МРВ

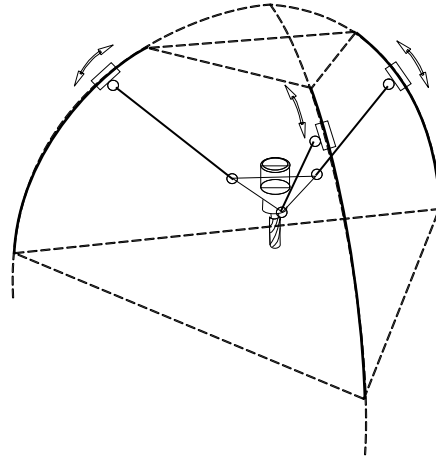
з рзширеними технологічними можливостями



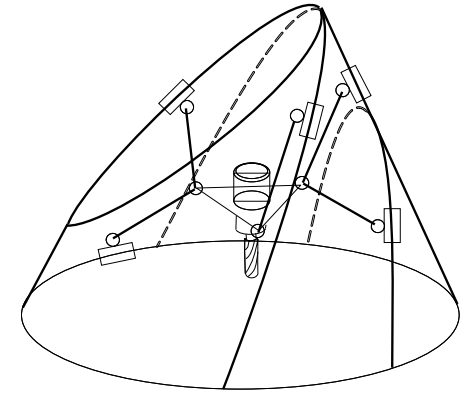
Каркасно-оболонкові компонування МПС з кільцевими (радіусними) напрямними



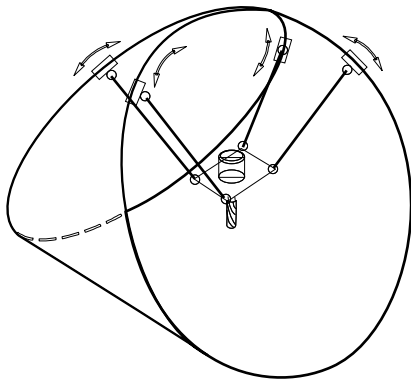
а)



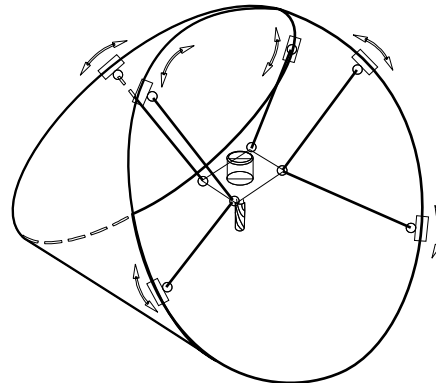
б)



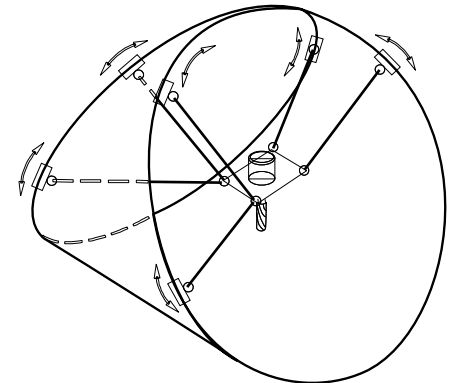
в)



г)

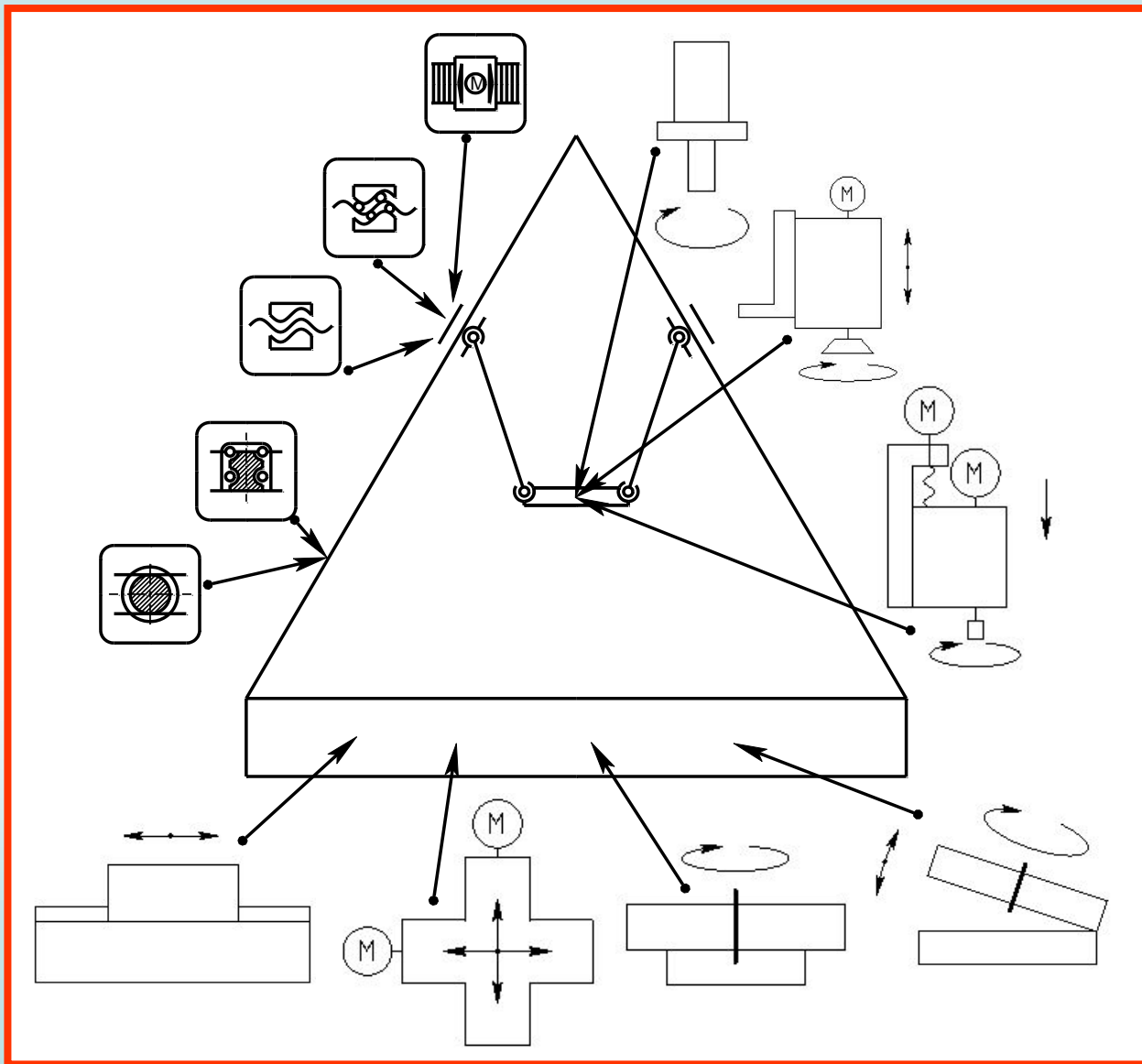


д)

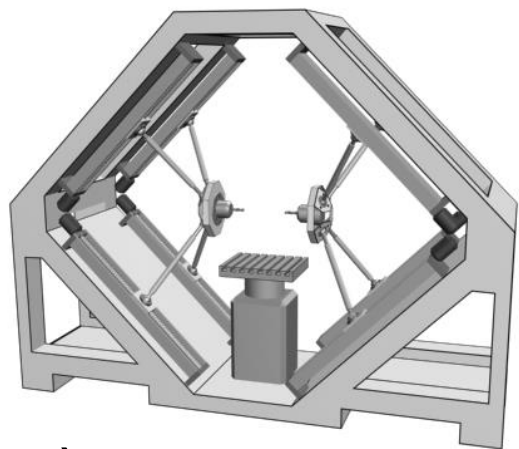


е)

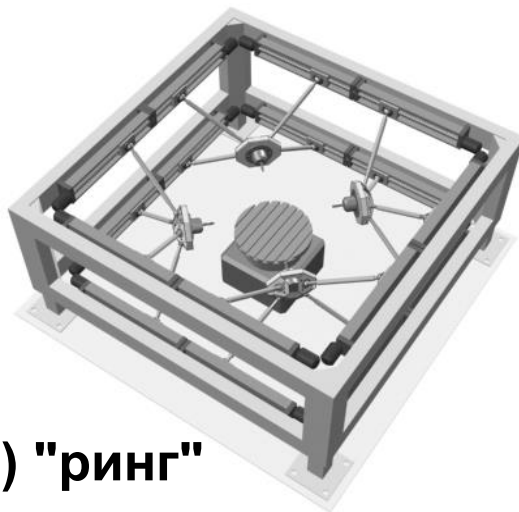
Модульний принцип в пірамідальному каркасному компонуванні МРВ



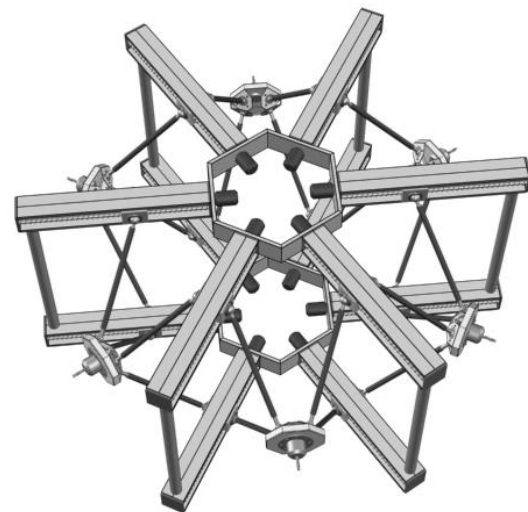
Багатошпindelні каркасні компонування МРВ на основі 4-стрижньового МПС



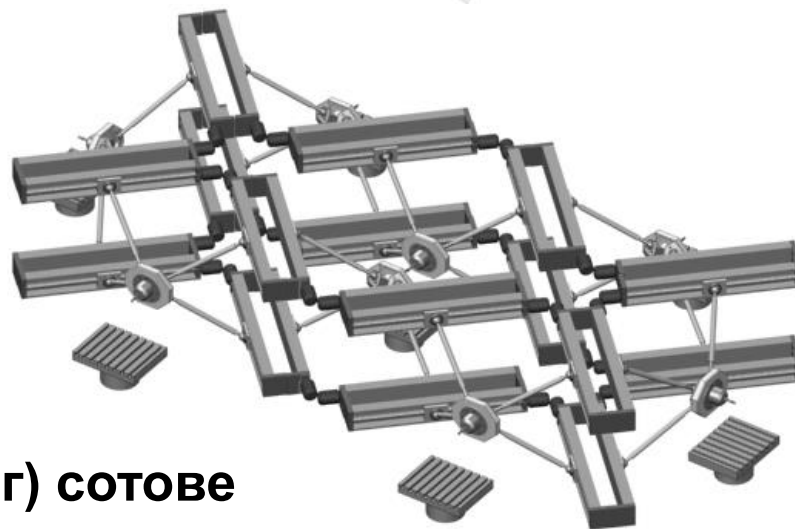
а) дзеркальне



б) "ринг"

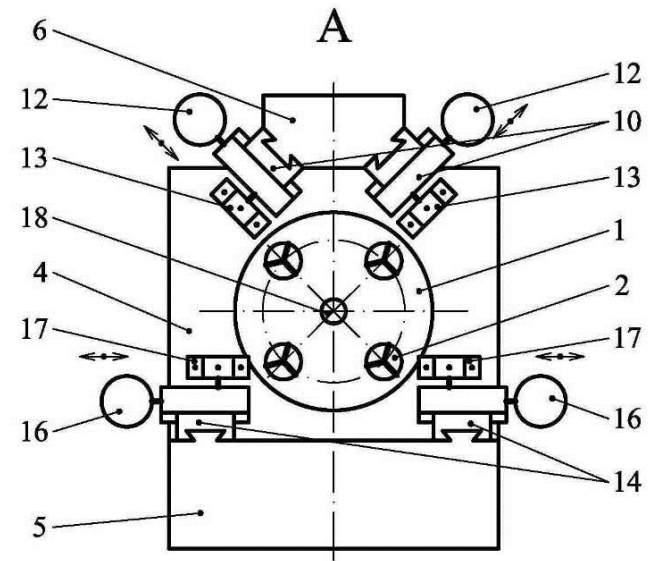
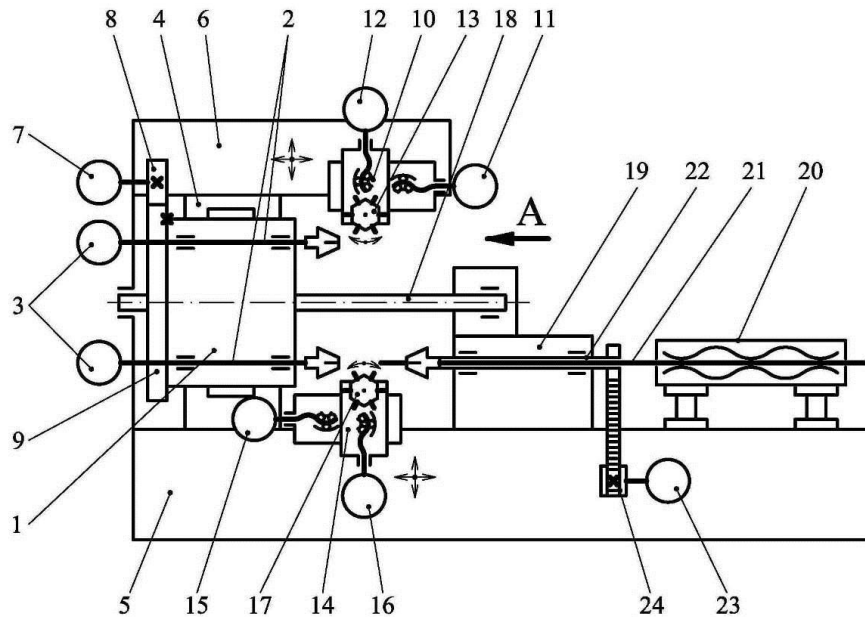


в) "зірка"



г) сотове

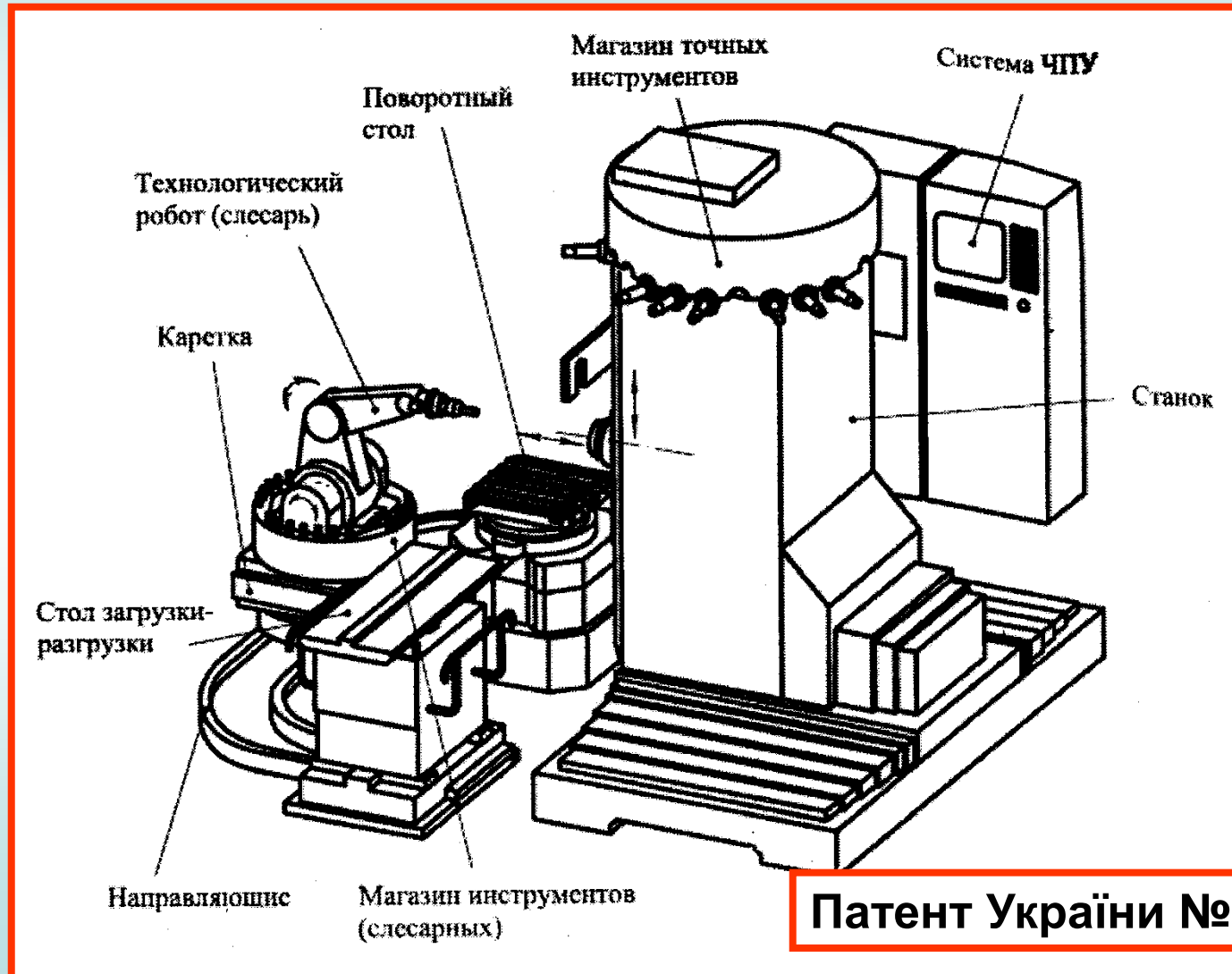
Гібридне компонування багатошпindelного токарного автомата з ЧПУ



Схрещування одношпindelного дротикового автомата з багатошпindelним напівавтоматом для штучних заготовок

Багатоцільові МРВ та модулі для корпусних деталей

Гібридне компонування “МРВ – робот (слюсар)”



Багатоцільові МРВ та модулі для корпусних деталей

Циклова продуктивність

$$T_1 = \sum_{i=1}^n t_{p_{oi}} + \sum_{i=1}^m t_{p_{gi}} + t_{3-p} + 4 \cdot t_{нов} + (m+n) \cdot t_{см}$$

**Традиційне
компонування**

$$T_2 = \sum_{i=1}^n t_{p_{oi}} + \sum_{i=1}^m t_{p_{gi}} + t_{3-p} + 4 \cdot t_{нов} + (m+n) \cdot t_{см}$$

**Гібридне
компонування**

**з “роботом-
слесарем”**

Коефіцієнт продуктивності

$$\alpha_Q = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_1}{T_2} = 1 + \frac{\sum_{i=1}^{k \cdot n} t_{p_g} + 3 \cdot t_{нов} + k \cdot n \cdot t_{см}}{\sum_{i=1}^n t_{p_g} + t_{3-p} + n \cdot t_{см}} > 1$$

Багатоцільові МРВ та модулі для корпусних деталей

(приклад розрахунку продуктивності)

Припущення: $\sum_{i=1}^n t_{p_{oi}} = \sum_{i=1}^m t_{p_{gi}}$ та $m = k \cdot n$

Вихідні дані: $k = 5; n = 20; t_{3-p} = 10 \text{ c}; t_{см} = 3 \text{ c}$
 $t_{p_g} = 10 \text{ c}; t_{p_o} = 25 \text{ c}; t_{нов} = 3 \text{ c}$

$$\alpha_Q = 3,3$$

Розширення області використання МПС⁴⁰ в різному технологічному обладнанні

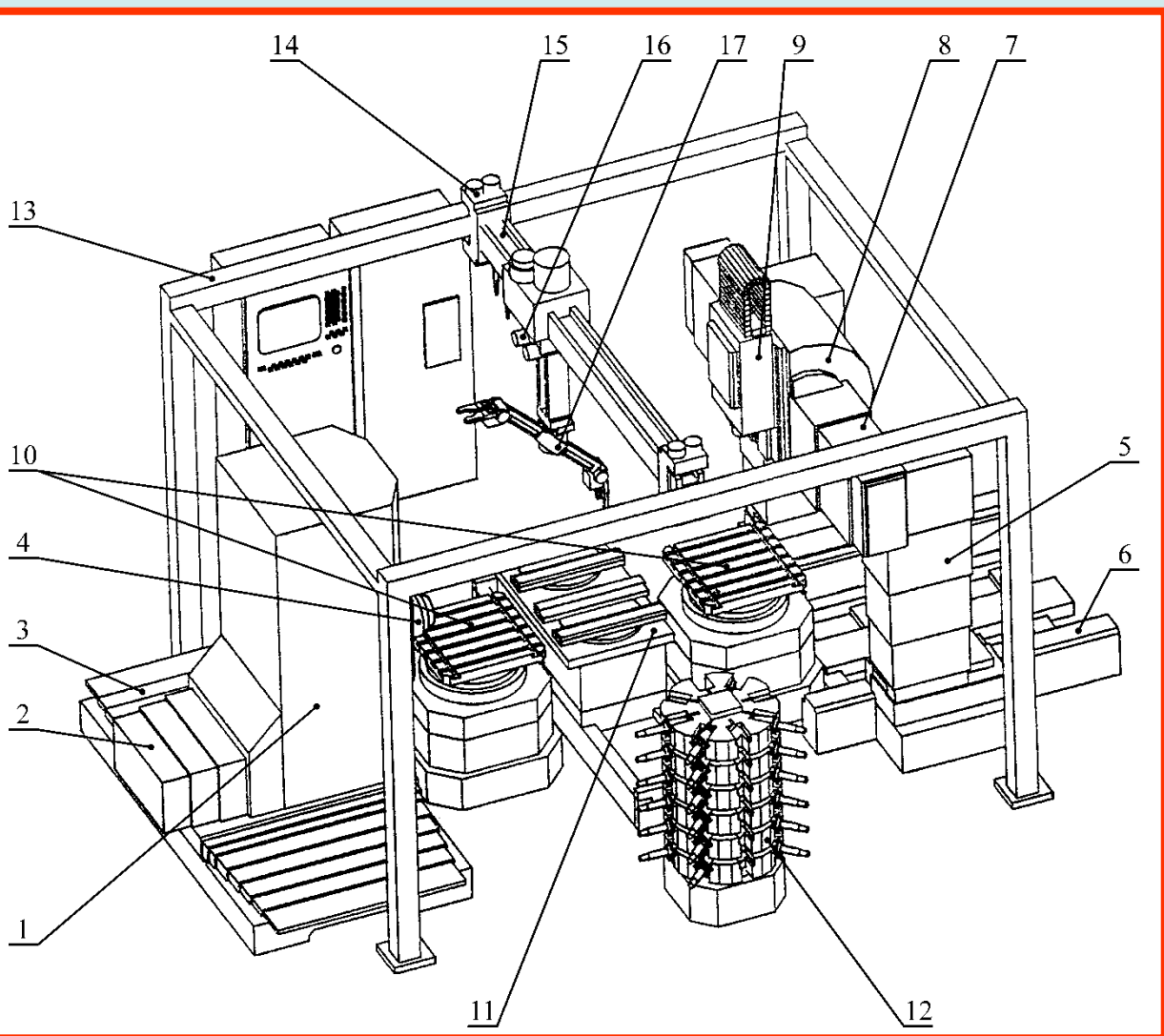
- ✓ Металорізальні верстати
- ✓ Дерево-, кристало- та каміннообробні станки
- ✓ Роботи, в тому числі промислові, та робототехнічні комплекси (РТК)
- ✓ Текстильні машини
- ✓ Поліграфічні машини
- ✓ Лазерні верстати для відновлення зношених деталей
- ✓ Зварювальні машини
- ✓ Сельськогосподарська техніка
- ✓ Контрольно-вимірювальні машини (КВМ)
- ✓ Аерокосмічна техніка (радіотелескопи, авіатренажери тощо)
- ✓ Медичне обладнання
- ✓ Спортивні тренажери та індустрія розваг

Гнучкий виробничий модуль каркасного компонування типу куб (паралелепіпед)

Патент України

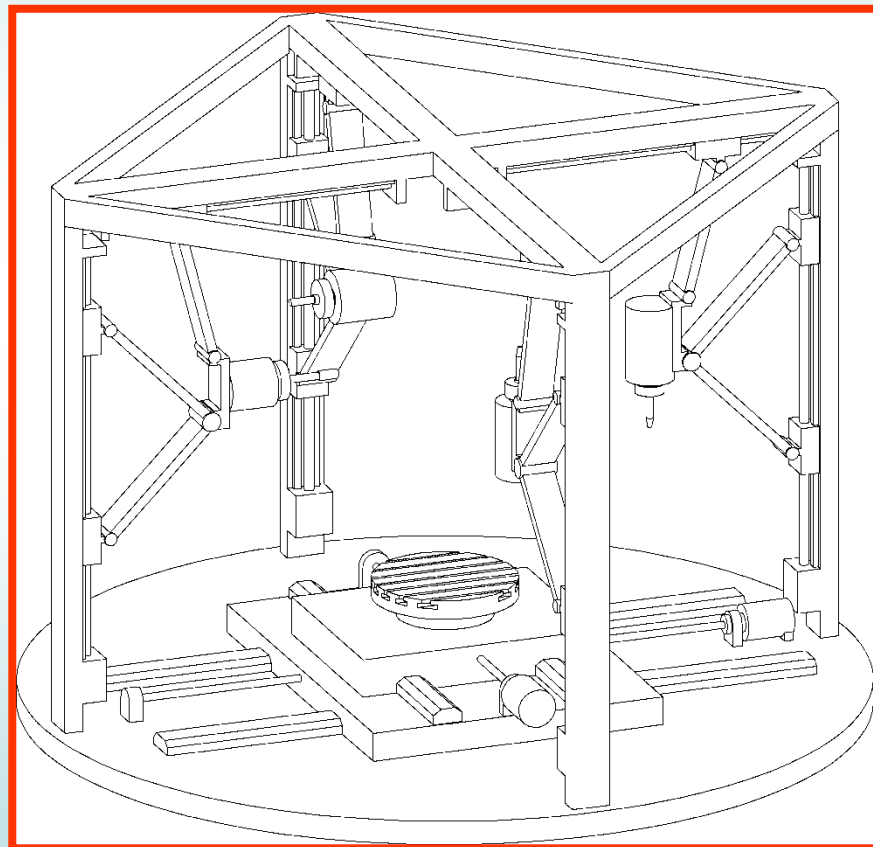
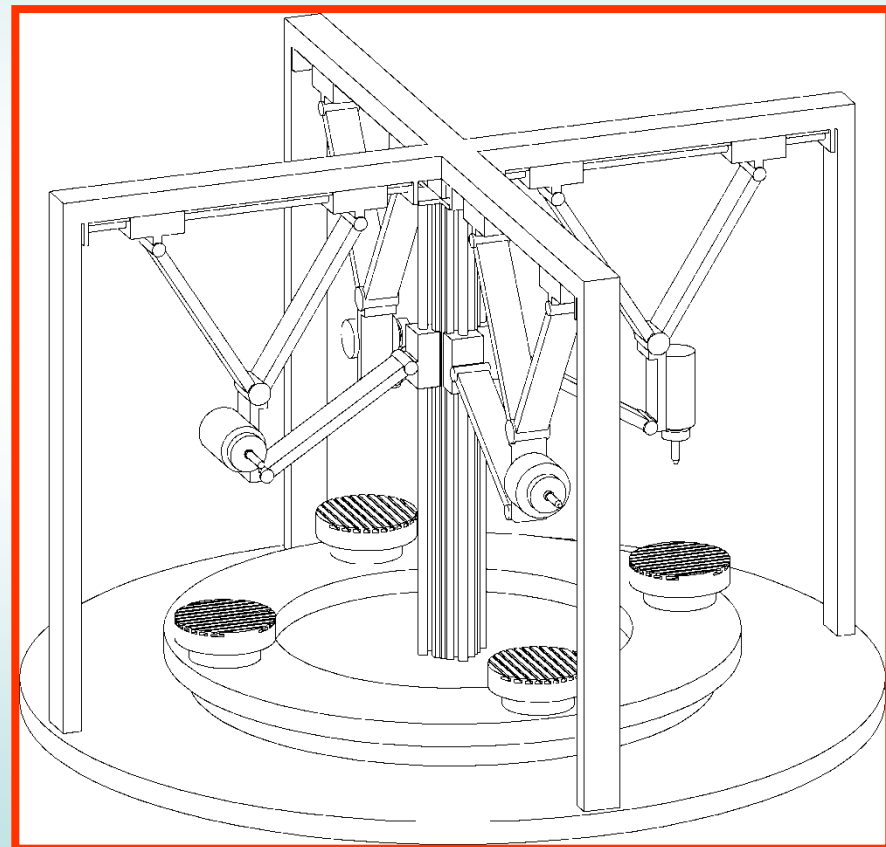
№ 35575

2 багатоцільових
МРВ та 1-2 ро-
бота (може бути з
МПС для
виконання
допоміжних та
основних
технологічних
операцій)

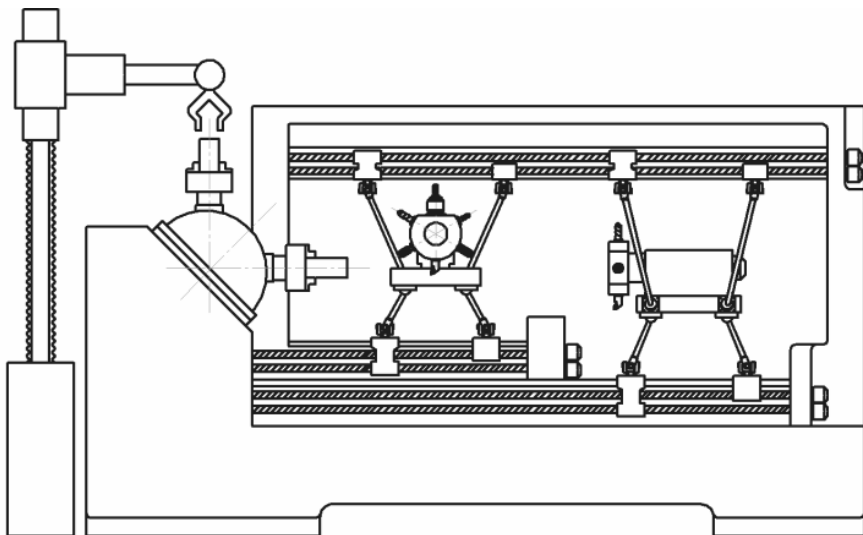


Компонування з використанням генетичних операторів

“кросінговер” та “реплікація”

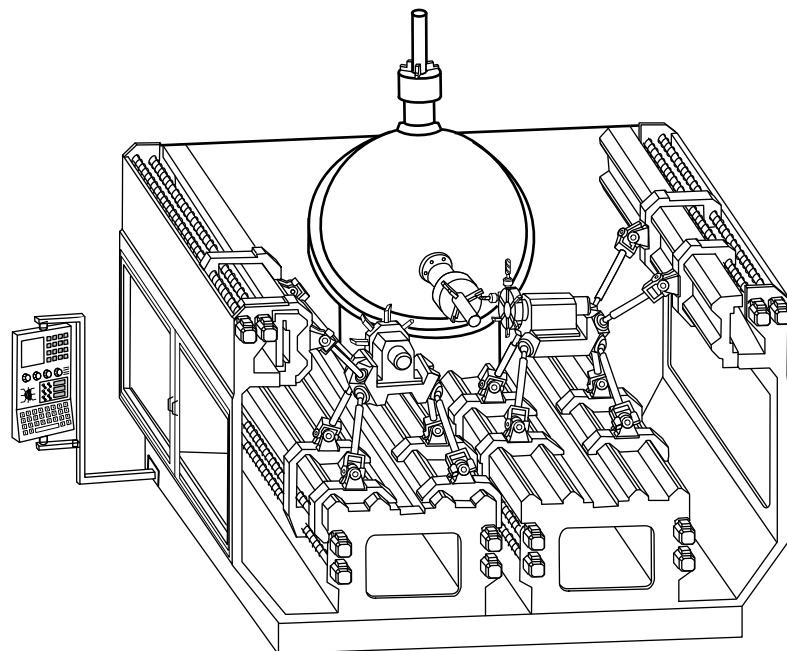


РТК на базе двохшпindelного багатоцільового токарного МРВ з МПС

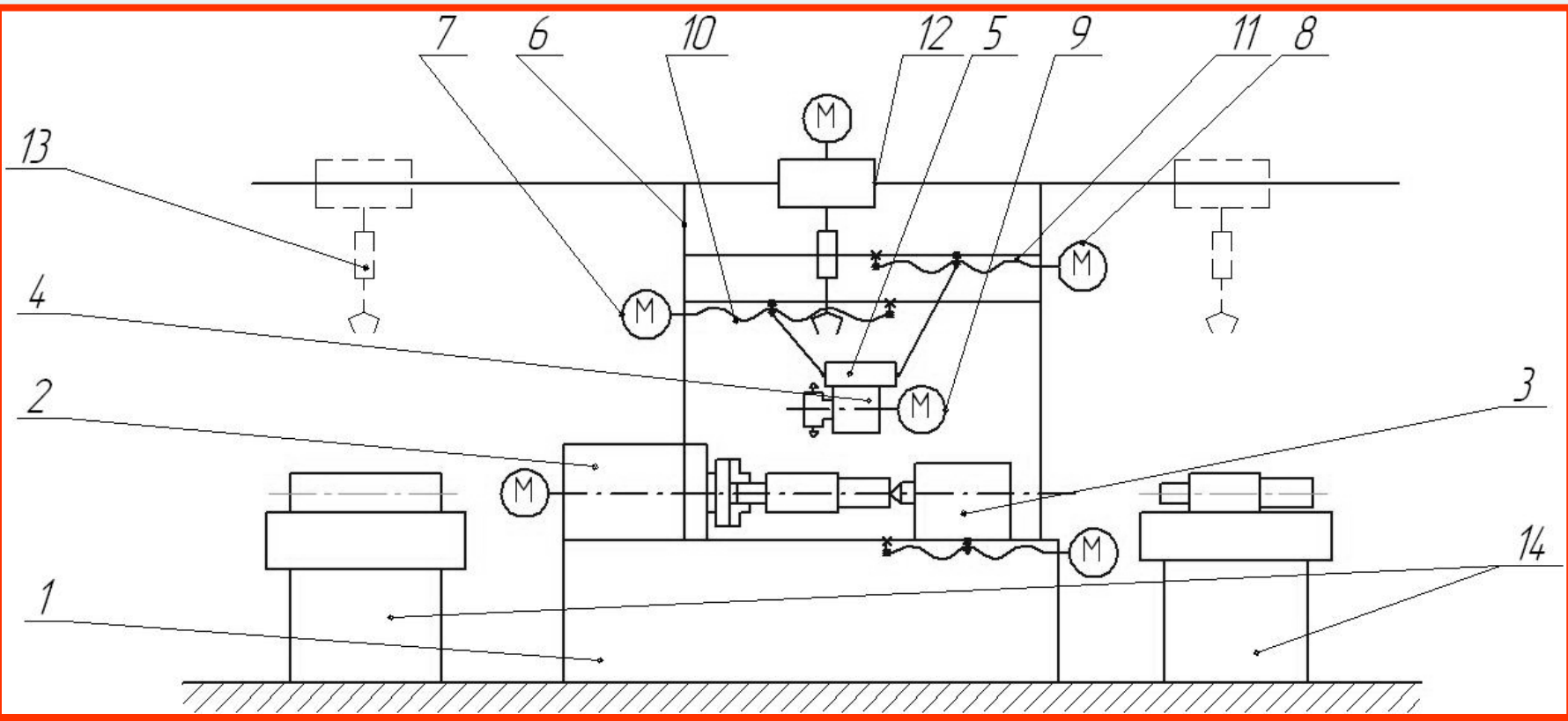


← вид спереду

тримірна модель
(аксонометрія) →



РТК на базі токарного МРВ з МПС та порталного ПР на основі каркасу клина

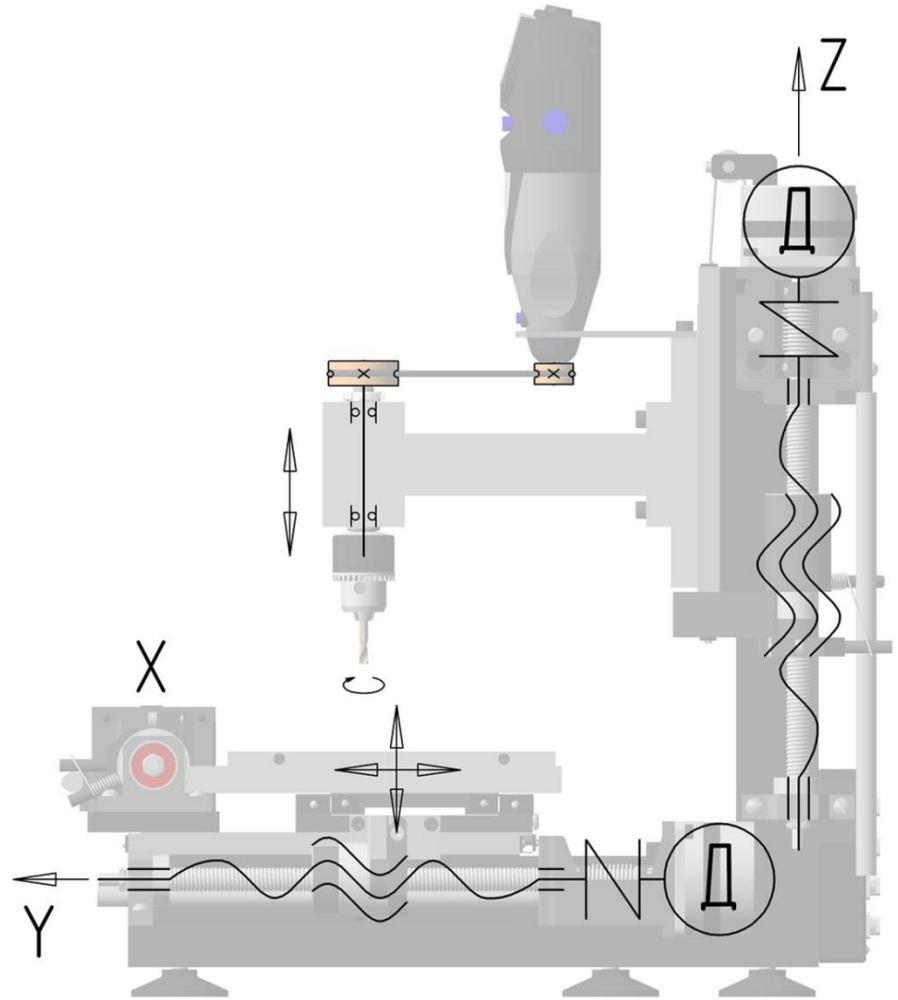
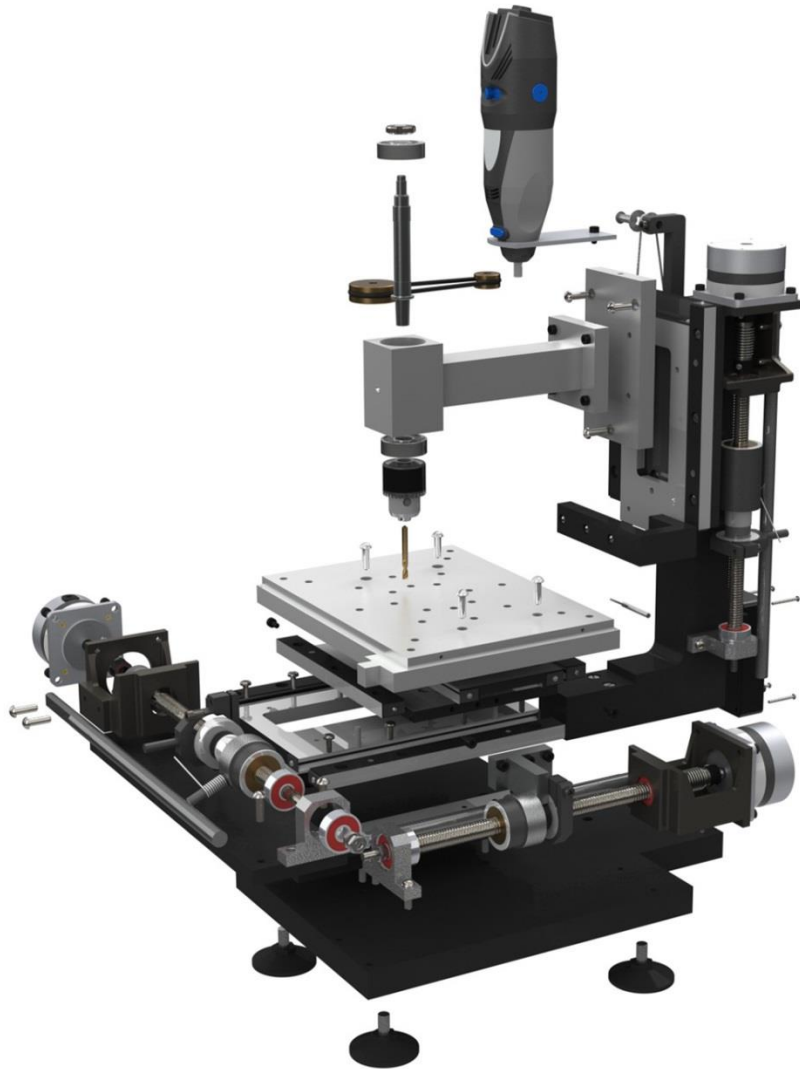


Патент України № 46125

1. № 27808 Токарний багатоцільовий верстат., Бюл. №18 від 12.11.2007
2. № 30376 Токарний багатоцільовий верстат., Бюл. №4 від 25.02.2008
3. № 31223 Токарний багатоцільовий верстат., Бюл. №6 від 25.03.2008
4. № 31226 Токарний багатоцільовий верстат., Бюл. №6 від 25.03.2008
5. № 35573 Багатоцільовий верстат., Бюл. №18 від 25.09.2008
6. № 35575 Гнучкий виробничий модуль., Бюл. №18 від 25.09.2008
7. № 35576 Багатокоординатний свердлильно-фрезерний верстат., Бюл. №18 від 25.09.2008
8. № 35910 Багатошпindelний токарний автомат., Бюл. №19 від 10.10.2008
9. № 38913 Відрізний автомат., Бюл. №2 від 26.01.2009
10. № 86533 Багатокоординатний свердлильно-фрезерний верстат., Бюл. №8 від 27.04.2009 (повний патент на винахід)
11. № 40861 Багатошпindelний токарний автомат., Бюл. №8 від 27.04.2009
12. Свідоцтво №28940 про реєстрацію авторського права на твір – НДР “Створення вузлів і механізмів для надшвидкісної і прецизійної обробки на верстатах нового покоління з паралельною кінематикою” від 27.05.2009.
13. № 46125 Робототехнічний комплекс., Бюл. №23 від 10.12.2009

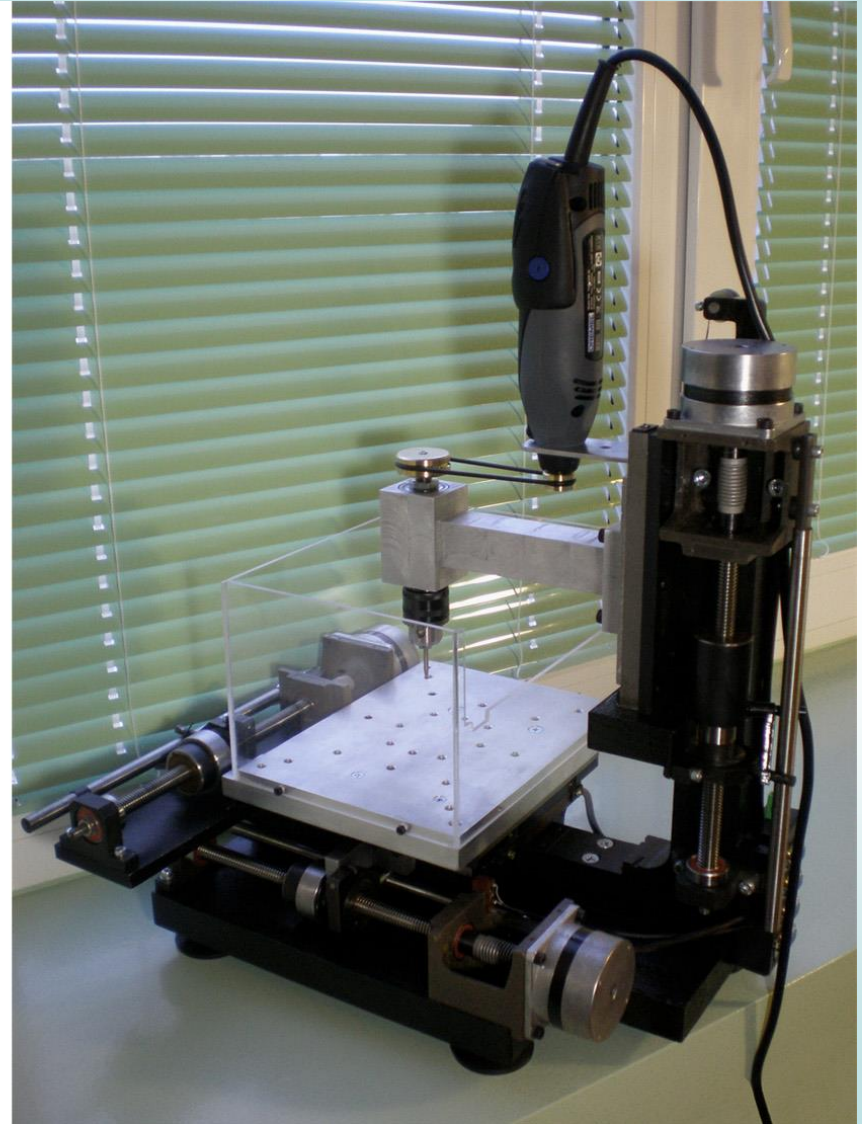
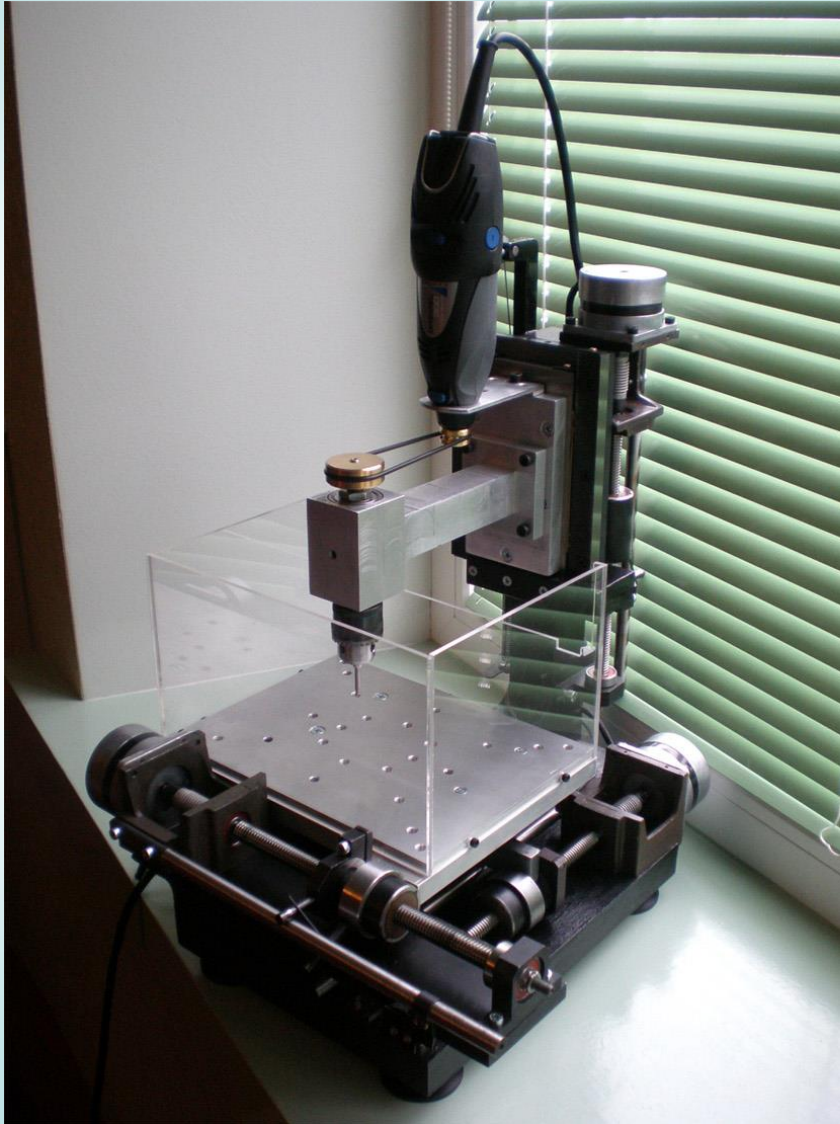
Настільний фрезерний верстат з ЧПУ традиційного компонування на модульному принципі

46

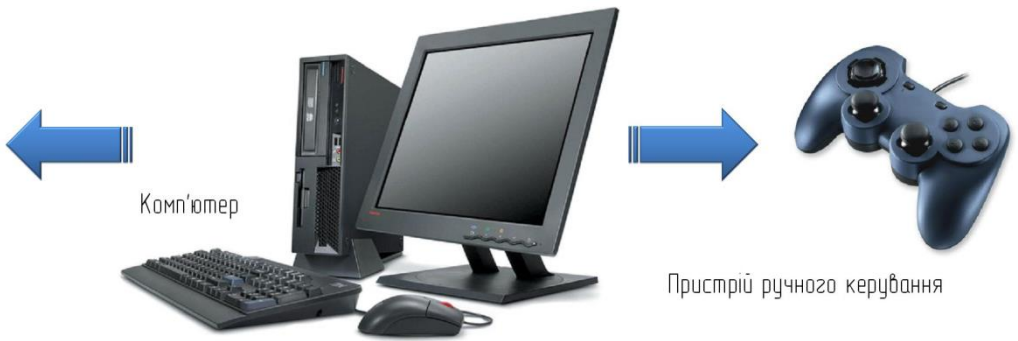


Настільний фрезерний верстат з ЧПУ традиційного компонування на модульному принципі

47



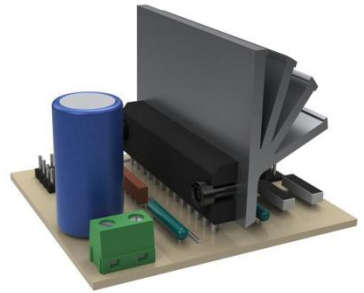
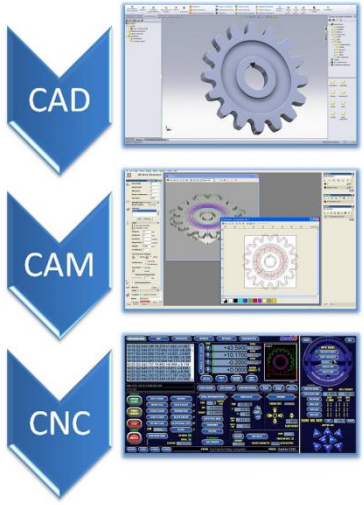
Структура системи управління настільним фрезерним верстатом з ЧПУ від комп'ютера



Датчик нуля інструменту



Кроковий двигун



Драйвер двигуна



Контролер



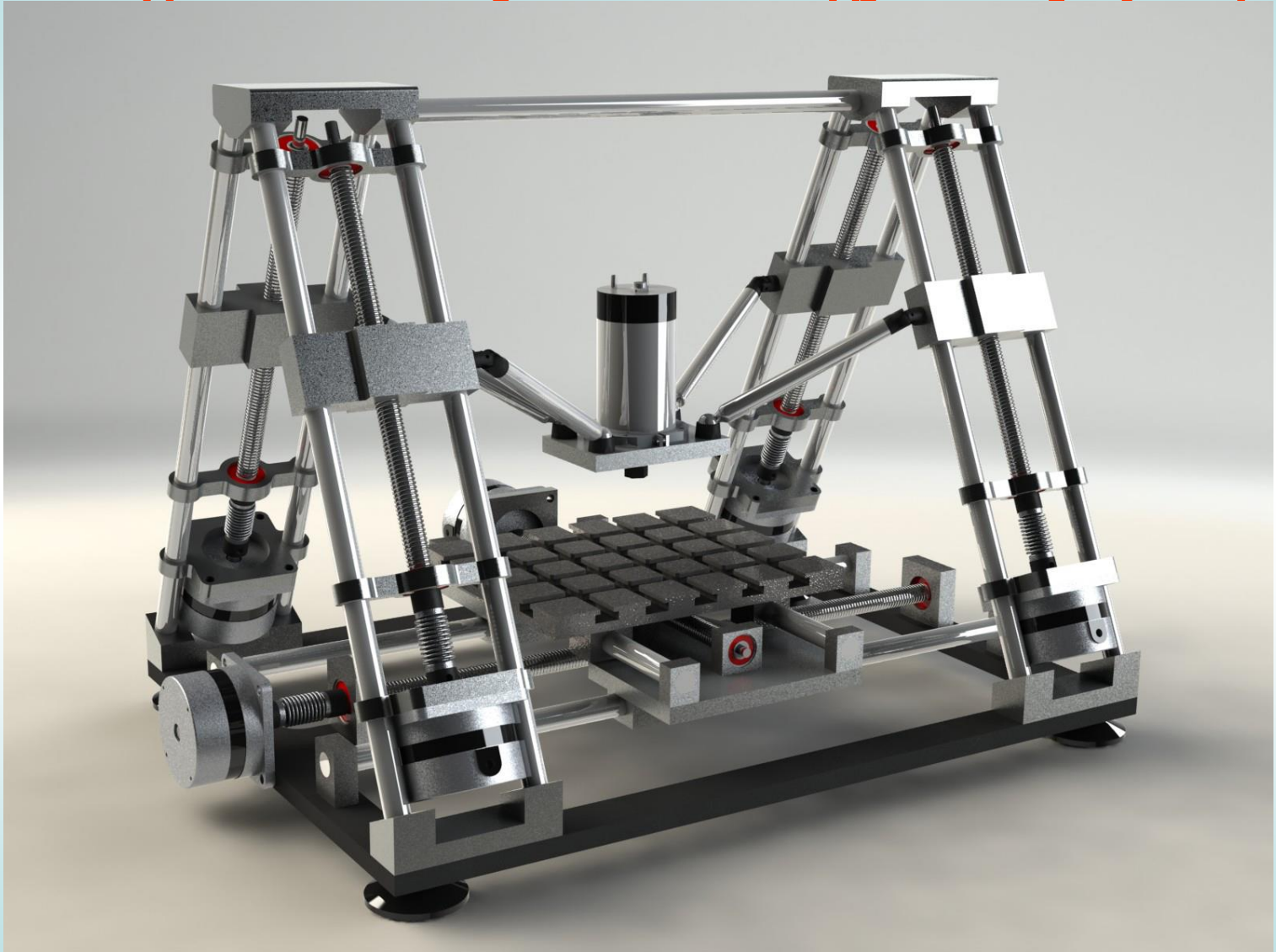
Верстат

Зразки, що виготовлені на настільному фрезерному верстаті з ЧПУ



Настільний фрезерний верстат з ЧПУ та МПС клиновидного компонування на модульному принципі

50



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

**Спеціальна подяка
д.т.н., проф. НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”
Кузнецову Юрію Миколайовичу
за сприяння в підготовці матеріалів
щодо тематики лекцій 1-3**