

**Основні напрямки розвитку світового верстатобудування та  
перебудови конструкцій металообробного обладнання**

Основними елементами процесу **розвитку світового верстатобудування** є:

- максимальна автоматизація і інформатизація процесу проектування нових виробів, що забезпечує скорочення часу, витрат та підвищує гнучкість виробництва;
- модульний принцип створення машин, використання можливостей систем САПР по удосконаленню (параметричної та топологічної оптимізації) виробів на кожному етапі їх проектування та виготовлення;
- перехід від виготовлення заготовок з мінімальними припусками під механічну обробку до друкації готових виробів будь-якої форми та розмірів;
- створення замкнених обробних систем з штучним інтелектом на основі кількох верстатів (роботів, принтерів), здатних у автономному режимі спроектувати та виготовити будь-який виріб в певному діапазоні розмірів, характеристик, параметрів матеріалу, точності...

Він підпорядкований досягненню наступних цілей:

1. Підвищення продуктивності обробки.
2. Підвищення якості обробки.
3. Зниження витрат на обробку.
4. Поліпшення умов праці.
5. Інтелектуалізація виробництва.
6. Розширення технологічних можливостей обладнання.

**Тенденції** сучасного етапу розвитку машинобудівного комплексу і, зокрема, верстатного обладнання:

- 1) широке застосування концентрації (поєднання) операцій**, що веде до підвищення продуктивності обробки при зниженні її трудомісткості.
- 2) застосування ресурсозберігаючих маловідходних і безвідходних технологій**, що підвищують коефіцієнт використання конструкційних матеріалів та скорочують витрати енергії.
- 3) поєднання в одному верстаті декількох методів обробки**, що скорочує кількість обладнання і знижує трудомісткість виготовлення деталей.
- 4) агрегатно-модульний принцип побудови верстатів**, верстатних комплексів та іншого обладнання, що підвищує ступінь його уніфікації, якість виготовлення і складання, надійність роботи, скорочує терміни і витрати на проектування і виготовлення.
- 5) рух до прецизійної й ультрапрецизійної обробки** (наприклад, таких деталей, як барабани та диски пам'яті, елементи інтегральних схем, дзеркальні поверхні телескопів т.п.) шляхом скорочення кінематичних ланцюгів і заміни механічних ланцюгів електричними, що підвищує якість обробки і знижує металоємність обладнання.
- 6) рух до безлюдної технології** за рахунок гнучкої комплексної автоматизації, широкої роботизації, застосування діагностичних систем, що підвищує коефіцієнти змінності і використання обладнання.
- 7) мініатюризація систем управління** і можливість нарощування керуючих координат систем з ЧПУ.
- 8) застосування верстатів з ЧПК** поряд з високопродуктивними верстатами-автоматами в багатономенклатурному багатосерійному та в масовому виробництвах.

Показники, які характеризують якість як окремих верстатів, так і наборів верстатного обладнання.

**Ефективність** – це комплексний (інтегральний) показник, який визначає головне призначення будь-якого обладнання – підвищення продуктивності праці та зниження витрат при виготовленні деталей.

Умову підвищення ефективності виробництва можна представити так:

$$E = \Pi \cdot Я / B \rightarrow \max \quad (1.1)$$

де  $\Pi$  – параметр продуктивності;  $Я$  – параметр якості обробки;  
 $B$  – сумарні витрати на обробку.

**Параметр продуктивності  $\Pi$**  визначає кількість виготовленої (однотипної) продукції за одиницю часу в штучному (натуральному) або грошовому виразі:

$$\Pi = N_{\Sigma} \beta / T_{\Sigma} = T_{\Sigma} \beta / T_{\text{ум}} \quad (1.2)$$

де  $T_{\Sigma}$  - сумарний (річний) фонд часу роботи обладнання,  
 $T_{\text{ум}}$  – штучний час обробки на даному обладнанні (час циклу обробки)  
 $\beta$  – коефіцієнт використання фонду часу обладнання.

**Параметр якості  $Я$**  може бути визначений на підставі порівняння необхідної і фактичної якості за окремими критеріями – розмірами, формою, масою, якістю обробленої поверхні, тощо. При цьому для кожного критерію вибирають свій ваговий коефіцієнт оцінки:

$$Я = \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{K_i}{[K_i]} \quad (1.3)$$

де  $K_i$  – фактичне значення  $i$ -того критерію якості;  $[K_i]$  – необхідне значення критерію;  
 $i$  – число прийнятих критеріїв якості.

**Сумарні витрати на обробку  $B$**  складаються з капітальних витрат  $B_K$ , часових витрат  $B_{\text{час}}$  і витрат  $B_j$ , віднесених до виготовленої деталі:

$$B = B_K + B_{\text{час}} + B_j, \quad (1.4)$$

**Основні принципи побудови верстатів** впливають з **універсальних вимог виробництва** до будь-яких виробничих систем (рис. 1.1):

Таблиця 1.1.

Загальні напрямки та практична реалізація підходів на шляху створення нового верстата		Вимоги виробництва			
		Максимальна			Мінімальна собівартість
		Продуктивність	Точність	Гнучкість	
1. Збільшення швидкості робочих рухів верстата (скорочення основного машинного часу обробки)	Використання регульованих високошвидкісних двигунів, мотор-шпинделів та лінійних електродвигунів поступального руху.	++			++
2. Збільшення швидкості допоміжних рухів верстата (скорочення допоміжного часу обробки)	Використання регульованих електродвигунів поступального руху.	++			++
3. Збільшення потужності приводів (збільшення припусків на обробку та скорочення основного машинного часу):		+			+
4. Максимальне скорочення кінематичних ланцюгів (зменшення кількості стиків, консолей, рухомих пар):	Використання регульованих двигунів, мотор-шпинделів та лінійних електродвигунів поступального руху.		++		+

Загальні напрямки та практична реалізація підходів на шляху створення нового верстата		Вимоги виробництва			
		Максимальна			Мінімальна собівартість
		Продуктивність	Точність	Гнучкість	
5. Застосування розвинутих систем автоматичного управління високої гнучкості (систем ЧПК для забезпечення підвищеної складності та точності обробки)	Автоматизація розробки управляючої програми (вбудовування її в САПР) та універсалізації оснащення верстата	+	+	++	++
6. Застосування вбудованих систем контролю і діагностики якості обробки з управлінням від системи ЧПК верстата		+	++	+	++
7. Модульний принцип створення верстатів з використанням мехатронних систем, систем паралельної кінематики, нетрадиційних компоновань та генетико-морфологічного підходу	Оптимізація конструкції верстата з моменту вибору компоновання під визначені задачі до підбору високофункціональних уніфікованих модулів	+	+	+	+

Примітка: «+» – можливе зростання відповідного параметру.

«++» – гарантоване зростання відповідного параметру.

## Оцінка верстатного обладнання при проектуванні нових зразків

Проектоване технологічне обладнання як складна технічна система (ТС), повинне відповідати певним загальним вимогам:

Табл.1.2

Вимоги	Вимоги		
	виробництва		експлуатації верстата
	верстата	на верстаті	
бути безпечними в експлуатації, простими в обслуговуванні та зручними при ремонті;			+
мати високу експлуатаційну надійність, тобто бути безвідмовними в роботі, довговічними і ремонтнопридатними;		+	+
забезпечувати заявлену точність обробки протягом усього терміну служби;		+	
забезпечувати високу продуктивність обробки		+	
бути технологічними у виготовленні	+		
мати відносно низьку собівартість	+		

Розгляд кожного варіанта **вимог експлуатації та виробництва** визначають кілька варіантів конструкції машини, з яких вибирають оптимальний. Між окремими видами вимог експлуатації і виробництва є взаємозв'язки, що можуть бути представлені у вигляді системної моделі (рис. 1.1).

Кожну властивість об'єкта проектування можна визначити трьома чисельними характеристиками:

1) абсолютним значенням одиничного показника якості  $K_i$ , визначеного певним метрологічним методом;

2) відносним показником якості  $\frac{K_i}{[K_i]}$ , де  $[K_i]$  – нормативний показник якості, що характеризує ступінь задоволення споживачів у даному об'єкті;

3) ваговим коефіцієнтом  $\alpha_i$ , який визначає важливість даної властивості серед інших за умови, що  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$  ( $n$  – кількість одиничних показників).

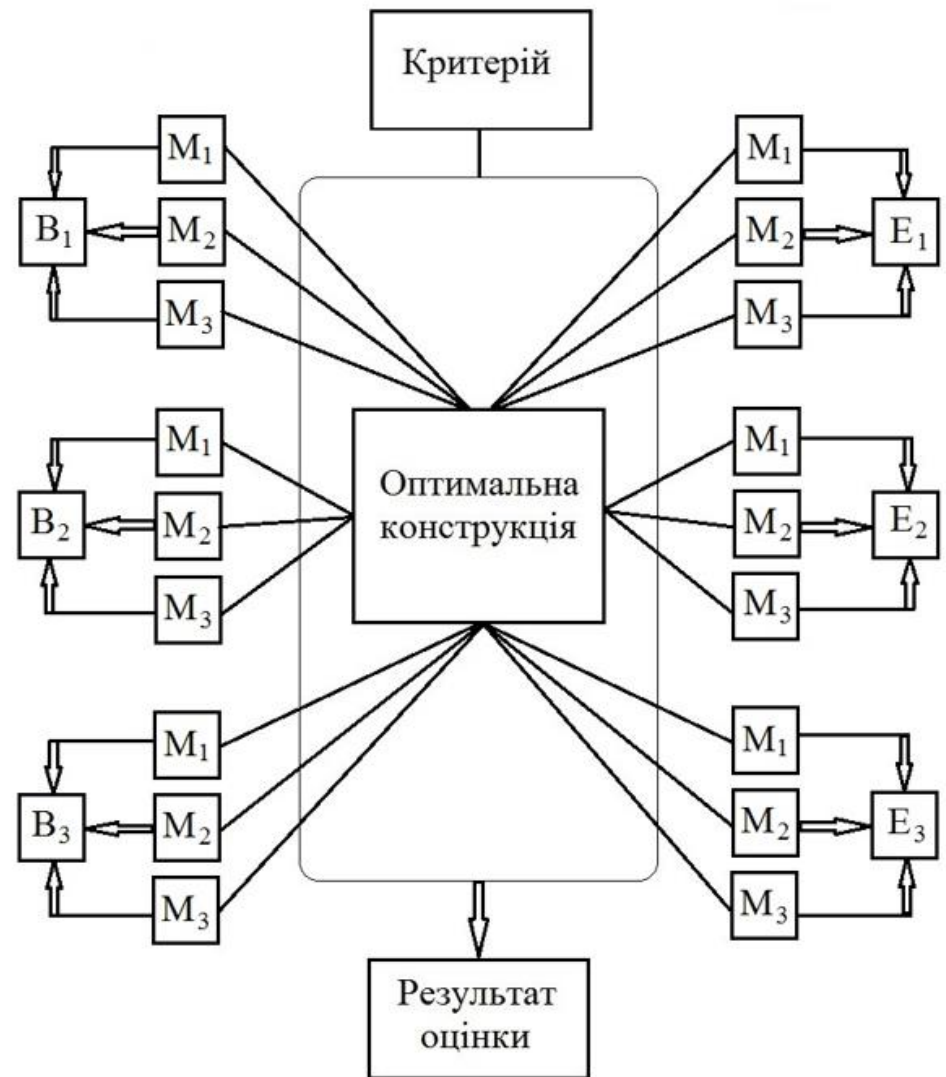


Рис. 1.1. Системна модель конструювання технологічного обладнання – верстата залежно від експлуатаційних  $E_v$  і виробничих  $B_v$  вимог

Основні умови досягнення верстатом відповідності вимогам виробництва:

1. Максимальне спрощення механічної частини верстата з широким застосуванням мехатронних систем (типових електромеханічних елементів або окремих вузлів). Головною перевагою використання даних приводів є виключення багатоступінчастого перетворення енергії і інформації, спрощення кінематичних ланцюгів і конструкції в цілому, підвищення точності, поліпшення динамічних характеристик, їх компактність (рис. 1.2).

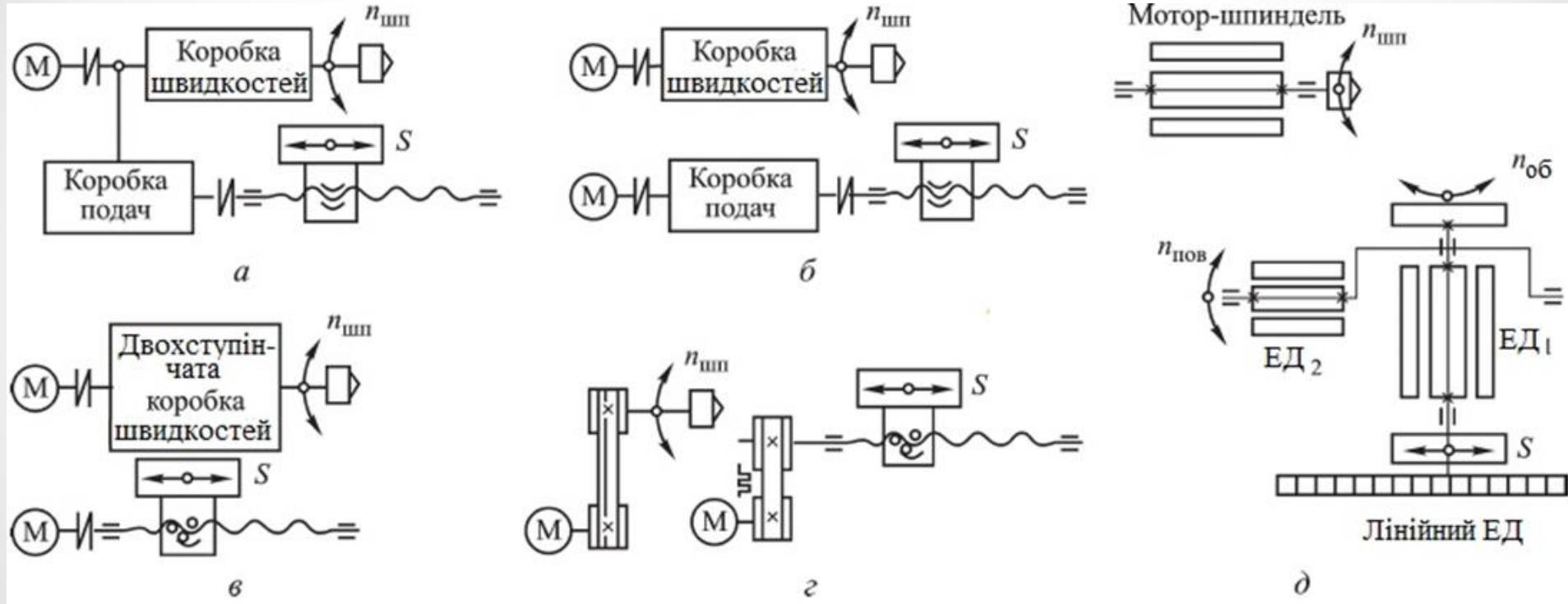


Рис. 1.2. Варіанти побудови приводів головного руху і подач: а – від єдиного нерегульованого ЕД; б – від окремих нерегульованих ЕД; в, г – від окремих регульованих ЕД; д – з мехатронним приводом (мотор-шпиндель, похило-поворотний стіл з вбудованими високомоментними ЕД<sub>1</sub> і ЕД<sub>2</sub> і плоскими лінійними ЕД)



1.1. У приводах обертального головного руху: перехід від системи регульований електродвигун – шпindel до мотор-шпинделів у вигляді уніфікованих модулів (рис. 1.3), в яких ЕД встановлюється безпосередньо на шпинделі верстата.

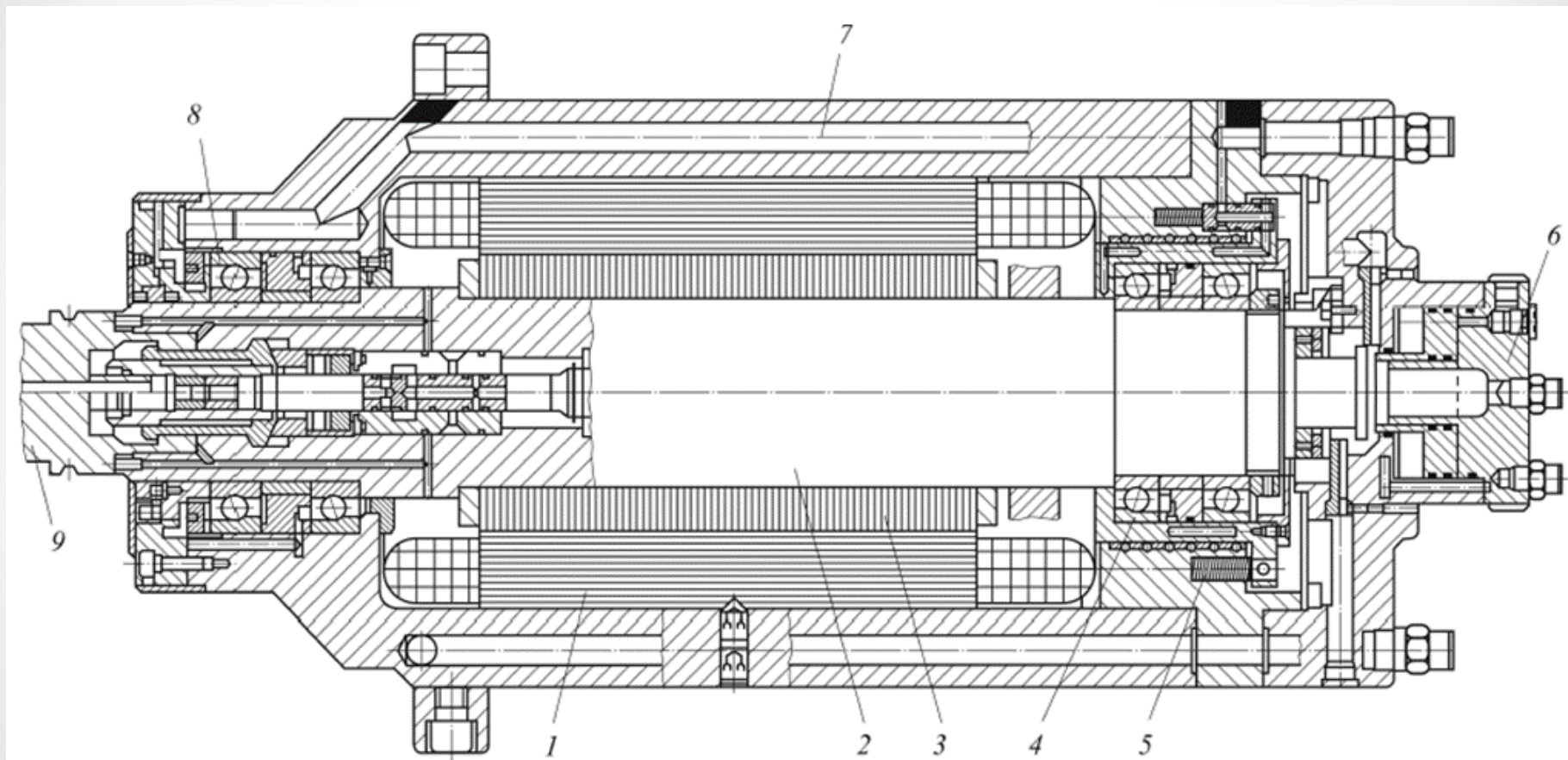
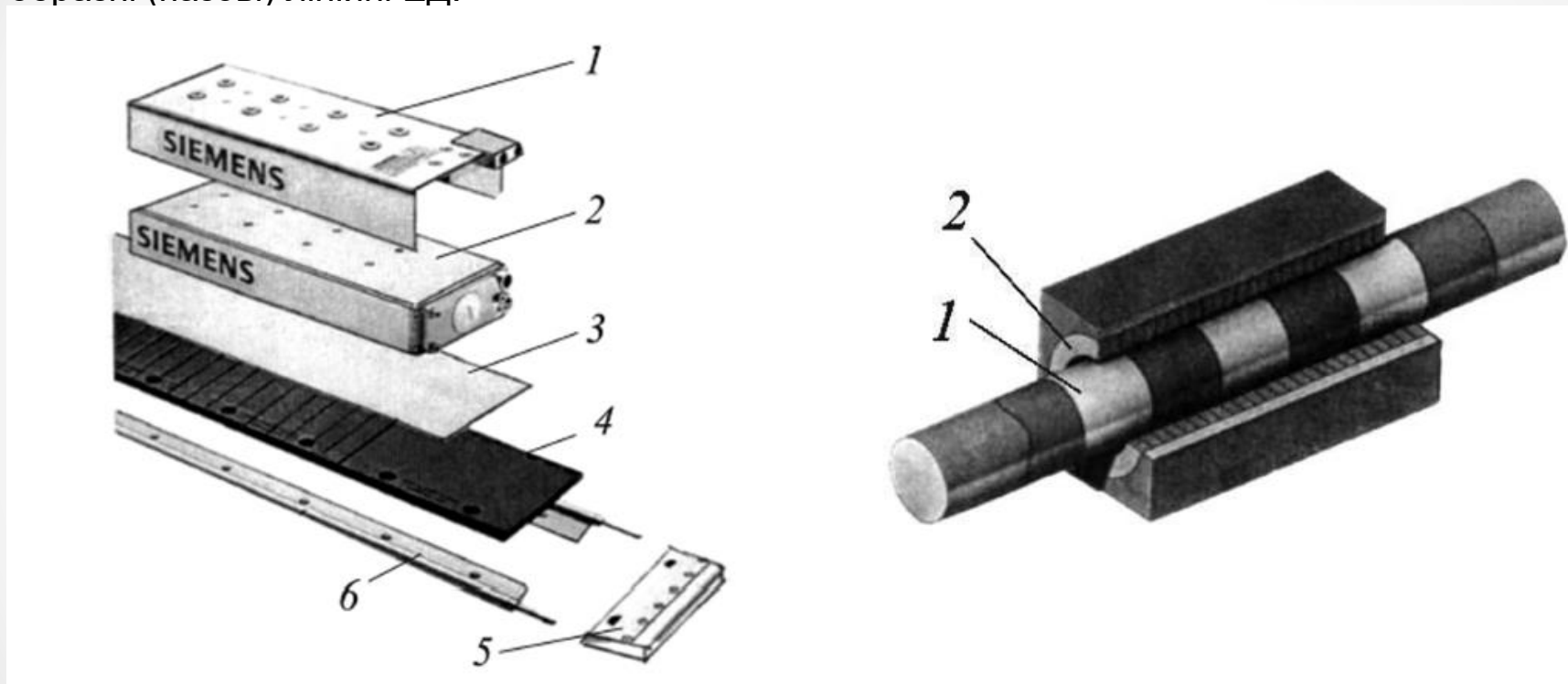


Рис. 1.3. Загальна конструкція мотор-шпинделя: 1 – статор; 2 – шпindel; 3 – ротор; 4 – задня опора шпинделя; 5 – пружини для створення попереднього натягу; 6 – гідроциліндр; 7 – канали системи охолодження мотор-шпинделя; 8 – передня опора шпинделя; 9 – оправка.

1.2. У приводах поступального головного руху і руху подач: перехід від системи регульований електродвигун – передача гвинт-гайка кочення до плоских або штокових лінійних електродвигунів (рис. 2.4).

Мехатронні вузли для приводів подач (лінійні ЕД) випускаються в трьох варіантах:

- плоскі (або плоско-паралельні) лінійні ЕД;
- штокові (трубчасті або циліндричні) лінійні ЕД;
- V-образні (пазові) лінійні ЕД.



а)

б)

Рис. 1.4. а – схема плоского лінійного ЕД фірми Siemens (ФРН):

1 – точний радіатор системи охолодження; 2 – первинна частина (статор);

3 – кожух вторинної частини; 4 – вторинна частина (ротор з постійними магнітами);

5 – фланець вторинної частини; 6 – охолоджуючий контур; б – схема штокового лінійного

електродвигуна: 1 – шток з постійними магнітами, 2 – обмотка статора

1.3. У приводах обертального руху подач: перехід від системи регульований електродвигун – безззорна високоточна механічна передача до вбудованого високомоментного електродвигуна (рис. 1.5).

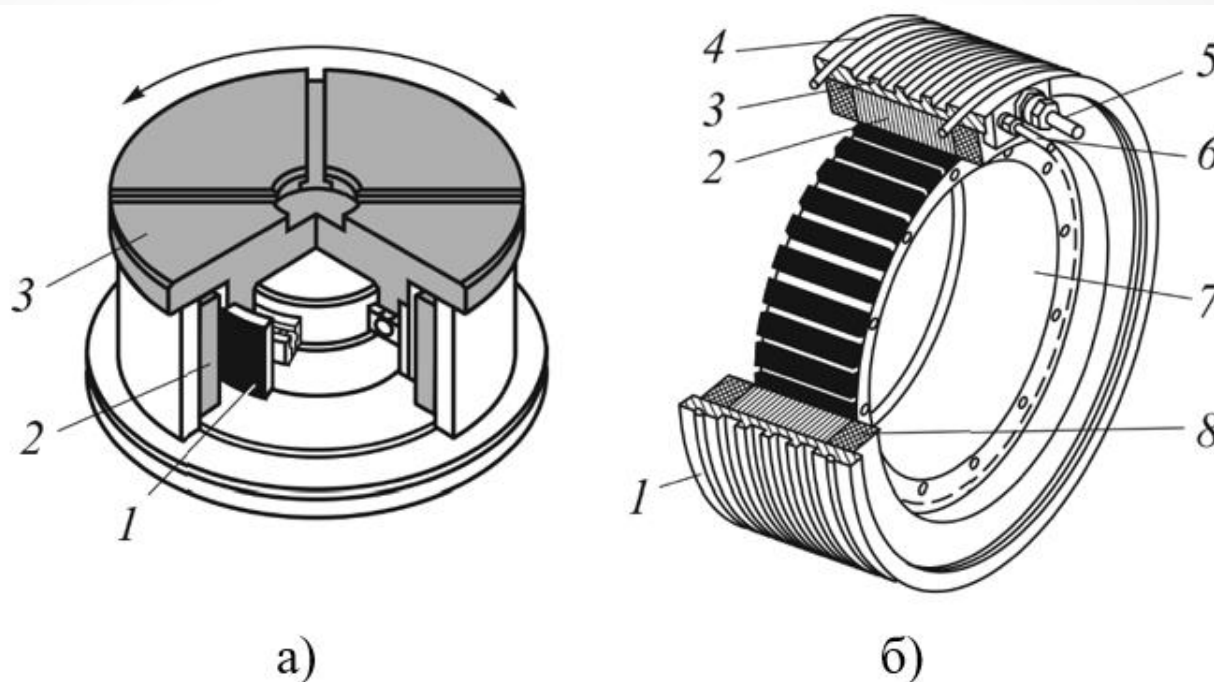


Рис. 1.5. а – схема поворотного столу металорізального верстата з вбудованим високомоментним електродвигуном (1 – ротор, 2 – статор, 3 – поворотний стіл); б – схема вбудованого високомоментного ЕД фірми Siemens (1 – статор; 2 – набірний сердечник статора; 3 – канали для охолодження; 4 – ущільнення; 5,6 – кабелі живлення; 7 – ротор з постійними магнітами; 8 – обмотки статора)

## 2. На вищому рівні організації процесу виробництва:

забезпечення можливості автоматизації програмування верстату (створення управляючої програми обробки конкретної деталі) за рахунок вбудовування його системи ЧПК в загальну САПР, тобто переходом від креслення (3D моделі деталі або збірки) за допомогою САМ-системи безпосередньо до її виготовлення на верстаті.

## 3. На нижчому рівні організації процесу виробництва:

вбудовування системи активного контролю оброблюваної деталі або інструменту в загальну систему самодіагностики верстата з ЧПК.

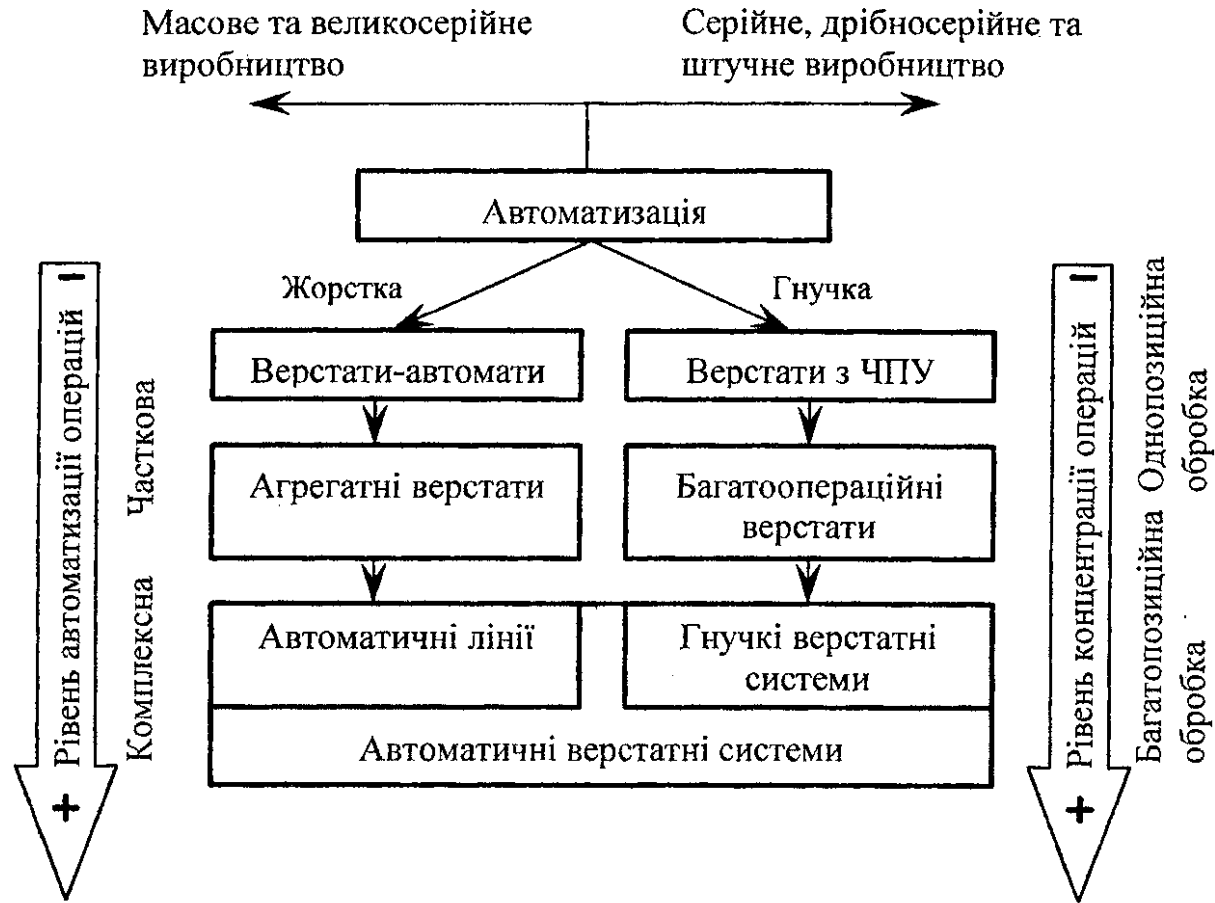


Рис. 1.6. Рівні та засоби автоматизації виробництва

Дві основні системи верстата з ЧПК :

- приводів (головного, подачі, позиціонування та маніпулювання);
- управління та контрольно-вимірювальних пристроїв