

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО“

І. І. Верба, О. В. Даниленко, О. В. Самойленко

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
„Обладнання автоматизованого
виробництва“
„Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації“
для поглибленого вивчення дисципліни

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 131 „Прикладна механіка“,
спеціалізацією „Технології комп’ютерного конструювання верстатів,
роботів та машин“*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Рецензенти: *Бадах В. М., завідувач кафедри гідрогазових систем
Національний авіаційний університет,
канд. техн. наук, ст.н.с.*
*Кореньков В. М., доцент кафедри технології машинобудування
КПІ ім. Ігоря Сікорського
канд. техн. наук, доцент*

Відповідальний редактор *Струтинський В.Б., професор кафедри конструювання верстатів і
машин КПІ ім. Ігоря Сікорського
д-р техн. наук, професор*

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 31.01.2020 р.)
за поданням Вченої ради Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 6 від 27.01.2020 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Верба Ірина Іванівна, канд. техн. наук, доцент
Даниленко Олександр Васильович, канд. техн. наук, доцент
Самойленко Олексій Васильович, канд. техн. наук, доцент

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

„Обладнання автоматизованого виробництва“

„Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації“

для поглибленого вивчення дисципліни

Навчальний посібник „Обладнання автоматизованого виробництва“ „Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації“ для поглибленого вивчення дисципліни. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 „Прикладна механіка“, спеціалізації „Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин“; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5.65 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 260 с.

Наведені узагальнені рекомендації щодо розробки технологічних процесів та вибору обладнання автоматизованого виробництва. Розглянуто питання інструментального оснащення, забезпечення автоматичної заміни інструментів, транспортування деталей та їхнього автоматичного завантаження-розвантаження. Акцент зроблено на сучасних напрямках розвитку промисловості, на тенденціях, що з'явилися в умовах Промислової революції 4.0 і Industry 4.0, основних положеннях, які стосуються революційних змін у організації і здійсненні виробничих процесів, та тлумаченні відповідної термінології. Подано деякі відомості про стан реалізації платформи Industry4Ukraine (АППАУ).

© І. І. Верба, О. В. Даниленко, О. В. Самойленко, 2020

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

Зміст

Вступ	4
1 Напрямки розвитку промисловості в світлі Industry 4.0	7
1.1 Industry4Ukraine	37
2 Реінжиніринг – як шлях технічного оновлення підприємств	47
3 Основні принципи побудови технологічних процесів АВС	70
4 Принципи створення автоматизованих виробничих систем	104
5 Системи керування в автоматичному виробництві	137
6 Інструментальне оснащення АВ	144
7 Інструментальні магазини	171
8 Завантажування і транспортування деталей в умовах автоматизованого виробництва	209
Список літератури	245
Додатки	250

Вступ

Технологічний спосіб виробництва – це система технічних засобів і методів їх використання. Він ґрунтується на технічній ідеї, яку впроваджено в практику. Сучасна науково-технічна революція, яка „набрала сили“ в 1970-і рр., поклала початок новому способу виробництва – постіндустріальному. Воно ґрунтується на принципово нових технологіях (інформаційних, нанотехнологіях, біотехнологіях та ін).

Характерною особливістю сучасного обладнання є перенесення функціонального навантаження з механічних вузлів на інтелектуальні (електронні, комп’ютерні) компоненти. Частка механічної частини в сучасному машинобудуванні скоротилася з 70% на початку 90-х років до 25-30% в даний час.

Одночасно відбувається комп’ютерний супровід всього життєвого циклу створення і експлуатації технічної системи. В обробних центрах, автоматизованому високоточному обладнанні все більше використовуються інформаційно-комунікаційні технології на базі також автоматизованих систем управління проектуванням, підготовкою виробництва, виготовленням, маркетингом і збутом.

Суттєва ознака: замість постійних організаційних структур промислових підприємств – змінювана структура на базі матриці, яка перманентно змінюється: промислове виробництво уявляють як систему (корпорацію) підприємств, серед яких є головне підприємство, що визначає вид продукції, яка випускається, та певна кількість спеціалізованих підприємств. Така структура є легко змінюваною згідно до запитів ринку. Якщо мова йде про конкретне підприємство, воно повинно мати можливість змінити своє виробництво, базуючись на існуючому обладнанні. Однозначно це неможливо без узгодження із бізнес-процесами, без відповідних змін в управлінні, системі постачання, логістиці, тощо. Розробка систем керування кожної із складових, підприємством і в цілому виробництвом є творчим процесом, який пов’язує бізнес-аналітику, предикативне моделювання, інноваційну економіку, інформатизацію і лише в цьому поєднанні забезпечується супровід об’єкта протягом його життєвого шляху.

На сьогодні розвиток економіки та суспільства згідно з концепцією „Індустрія 4.0“, яка була сформульована Х. Кагерманном, В. Д. Лукасом, В. Вальстером у 2011 р. на Ганноверській промисловій виставці-ярмарці (Hannover Messe), є чи не найзначнішим та найвірогіднішим напрямком дій, зокрема, для промисловості і, відповідно, для машинобудування й верстатобудування. Індустрія 4.0 була проголошена федеральним урядом Німеччини стратегічним планом розвитку економіки країни. Завдяки підключенню усіх складових елементів виробництва (обладнання, логістики, продукції, бізнесу, тощо) до загальної глобальної інформаційної мережі обміну даними, має відбутися перехід від звичайної автоматизації на базі використання інформаційних технологій у виробництві (задачі, які повинні бути вирішені промисловою революцією 3.0 і повністю або значною частиною таки вирішені) до об'єднання в мережу на постійній основі ресурсів, інформаційних потоків, об'єктів та людини. Такою мережею є Промисловий Інтернет речей, який дозволяє здійснювати постійний обмін інформацією між цими об'єктами без участі людини.

Четверта промислова революція та Індустрія 4.0 відбувається зараз у найбільших економіках світу, зокрема у Німеччині, США, Китаї, а ініціаторами, безпосередніми учасниками і рушійною силою є великі промислові компанії у безпосередньому контакті з науковими центрами.

Натомість в Україні цей процес якщо й рухається, то дуже повільно, що може призвести до того, що наша країна скотиться на дно світової економіки. Саме тому важливим є аналіз умов та особливостей виникнення і розвитку Індустрії 4.0 в Україні, визначення місця України та окреслення перспектив цього розвитку.

Першочерговою задачею є підтримка та розвиток компаній, які орієнтуються на внутрішній ринок та здатні разом із промисловими підприємствами створити закінчений вітчизняний інноваційний продукт в рамках Індустрії 4.0. І йдеться також про підтримку уряду, який повинен усвідомити, що майбутнє Держави безпосередньо визначається рівнем розвитку і станом промисловості взагалі, машинобудування і в першу чергу – верстатобудування, яке визначає рівень індустріальних інновацій і тим самим місце країни у світовій економіці.

Умовою успішної трансформації промисловості у цифрову економіку є не лише технологічне переозброєння підприємств з врахуванням інноваційних технологій та вимог гнучкості, а й цифрове управління і відповідна організація бізнес-процесів, що базується на управлінських рішеннях, отриманих із застосуванням прогностичних технологій та підтверджених моделюванням. Необхідно розроблювати та узгоджувати із існуючими реаліями методики застосування різних технологій цифрової економіки на кожному з етапів життєвого циклу об'єкта

Наші майбутні фахівці повинні сьогодні мати уявлення як про Промислову революцію 4.0 та Індустрію 4.0, так і про проблеми їхньої реалізації в нашій країні, зокрема про розрив між технологіями 3.0 і 4.0 в українській промисловості. ІТ-спеціалісти, інженери різних галузей (машинобудування, електротехніка, тощо), спеціалісти з логістики, економісти-аналітики – це ті сьогоднішні студенти, які повинні мати компетенції, щоб завтра вирішувати задачі, що стоять перед українською промисловістю.

Цей навчальний посібник лише краєчком зачіпає проблеми Індустрії-4.0, дає загальне уявлення про деякі процеси, тлумачить окремі терміни. Окрім першого знайомства з Індустрією-4.0 у машинобудуванні, автори мали на меті зацікавити студентів проблемами автоматизації виробництва у сучасних умовах,

1 Напрямки розвитку промисловості в світлі Industry 4.0

Напрямом розвитку сучасного машинобудування є автоматизація виробництва з широким використанням інформаційних технологій і роботів, впровадження гнучких технологій, що дозволяють швидко і ефективно перебудовувати технологічні процеси на виготовлення нових виробів.

Одночасно необхідною умовою є автоматизація проектування технології виготовлення та складання и управління виробничими процесами – один з основних шляхів інтенсифікації виробництва, підвищення його ефективності і якості продукції.

Масштабне впровадження інновацій та технологічне переозброєння, в першу чергу у промисловості, необхідно стимулювати.

Важливо розрізняти терміни „Четверта промислова революція“ (технології 4.0) та „Індустрія 4.0“ (Industry 4.0) [4]. Перший визначає проникнення нових технологій 4.0 та їхній вплив на всю економіку й соціальну сферу – розумні міста, будинки, сільське господарство, фінанси, державне управління, охорону здоров'я, освіту та ін. Індустрія 4.0 належить перш за все до сфери виробництва матеріальних продуктів й цільовими секторами тут є промисловість, енергетика, транспорт та інфраструктура, домінують технології 4.0 (при традиційній автоматизації – технології 3.0). Індустрія 4.0 (Industry 4.0) означає наступний етап цифрової трансформації виробничих підприємств, яка характеризується поєднанням операційних технологій (Operation Technologies, OT – технології автоматизації промислових процесів і виробництв) та інформаційних (IT).

В основі нової технологічної революції та Індустрії 4.0 буде лежати розвиток глобальних промислових мереж (глобального інформаційного простору, який зачіпає ринок, суспільство, бізнес і державу), тобто Інтернету речей. Одна з ознак промислової революції Індустрія 4.0 – наявність мереж обміну інформацією між пристроями і, відповідно, прийняття рішень у мережі. Власне кажучи, це і є Інтернет речей: дигіталізація (діджиталізація, цифровізація, інформатизація) стає все більш

розповсюдженим явищем повсякденного життя і забезпечує такий рівень зв'язку у суспільстві, якого раніш просто не могло бути.

Інтернет речей (Internet of Things, скорочено IoT) – глобальна мережа фізичних предметів („речей“), що мають сенсори, датчики, пристрої передачі інформації і поєднані через підключення до центрів контролю, керування і обробки інформації. Тобто це обчислювальна мережа із вбудованими технологіями для взаємодії одне з одним і з зовнішнім середовищем. Вважають, що організація подібних мереж призведе до перебудови економічних та суспільних процесів, бо виключають із частини дій участь людини. Є сталою тенденцією в інформаційних технологіях. Часом народження інтернету речей аналітики корпорації [Cisco](#) вважають період з 2008 по 2009 р., коли кількість пристроїв, підключених до глобальної мережі, перевищила чисельність населення Землі і „інтернет людей“ перетворився на „інтернет речей“. За оцінками компанії [Ericsson](#) прогнозується, що до 2021 р. з приблизно 28 млрд підключених пристроїв у світі біля 16 млрд будуть тим чи іншим чином пов'язані у рамках інтернету речей. Тобто передбачається, що машини будуть діяти самостійно, без втручання людини. Приклади того, як побутові прилади (часи, кондиціонери, тощо), домашні системи (охоронні системи, системи освітлення, садового поливу), датчики (теплові, датчики освітлення, руху) і речі (лікарські препарати, що мають позначку) взаємодіють одне з одним за допомогою комунікаційних мереж і забезпечують повністю автоматичне виконання процесів (вмикають прилади, змінюють рівень освітлення, підтримують температуру, нагадують про час приймати ліки і т. ін.) [49 – <http://www.osp.ru/os/2012/07/13017643/>].

Інтернет речей швидко зростає: з початку 2018 р. до нього підключається 127 нових пристроїв щосекунди, а 60 % об'єму інтернет-трафіку генерують мобільні пристрої.

У промисловості „самостійні машини“ можуть взяти на себе значну частину промислового виробництва, яке зараз зосереджено у країнах Південно-Східної Азії. Це відповідає прогнозу П. Друкера, засновника сучасної науки про управління у бізнесі, щодо переважаючої ролі робітників, які породжують знання.

Промислові компанії починають впроваджувати ІоТ (промисловий інтернет речей). Наприклад, моніторинг стану обладнання та скорочення незапланованих простоїв: встановлюють сенсори й датчики і отримують інформацію про потребу в ремонті чи профілактиці, що зменшує витрати на 25 % і подовжує строк служби обладнання на кілька років. Якщо кожне підприємство буде вирішувати ці питання самотужки і без підтримки держави (зокрема, без уваги до масштабного впровадження інновацій і технологічного переозброєння у ІТ-галузі), процес розтягнеться на довгий строк та буде низькоефективним [10].

Розповсюдження інтернету речей викликає зміни в усіх сферах виробничої діяльності – машинобудуванні, сільському господарстві, медицині, транспортній логістиці, сервісному обслуговуванні, управлінні, тощо. Інтелектуальні системи охоплюють всі етапи життєвого циклу продукції: від проектування за допомогою доповненої реальності до сервісного обслуговування за допомогою предиктивної аналітики і промислового інтернету (заміни й ремонт деталей, які швидко зношуються, здійснюють не по факту виходу з ладу, а при наближенні до максимального зношення, що усуває значні втрати від простоїв та поломок обладнання.

Нещодавно промисловість майже не перетиналася із ІТ-галуззю, а Індустрія 4.0. передбачає злиття цих сфер. В інформаційних стосунках приймають участь не лише виробники, а і постачальники й замовники. Споживачі за допомогою Інтернету можуть легко порівняти ціни продукції й вартість послуг постачальників по всьому світові, обрати потрібні саме їм характеристики будь-яких виробів: від суто промислових до меблів, одягу тощо.

Саме Промисловий Інтернет речей (ІоТ), який з'єднує традиційну аналогову інфраструктуру автоматизації з цифровим світом, є ключовим фактором, що забезпечує цифрову трансформацію виробництва та потрібний рівень моніторингу і контролю. Він підтримує модульні виробничі системи нового покоління, реалізує мережі зв'язку в реальному часі і аналітику даних.

Еволюція інтернету [18]:

Інтернет комп'ютерів (IoC) → Інтернет пристроїв (IoD) → Інтернет послуг (IoS) → Інтернет Речей (IoT) → Промисловий Інтернет Речей (IIoT) → Інтернет всього (IoE) → Інтернет речей, послуг і людей → (IoTSP) → Інтернет роботизованих речей (IoRT) → Інтернет емоційних речей (IoET)/

Те, що сьогодні розуміють під терміном „цифрова трансформація“ (digital transformation) для підприємства, означає, що цифрові технології не лише суттєво впливають на ефективність його роботи – вони докорінно змінюють його структуру, ділові процеси, принципи організації і методи управління. Інтелектуальне виробництво (Розумна Фабрика, англ. Smart Factory) – це інноваційне гнучке промислове виробництво, основними ознаками якого є:

- 1) модульність (на противагу теперішньому єдиному неподільному виробництву);
- 2) децентралізована самоорганізація (замість жорсткої ієрархічної структури);
- 3) бездротова система комунікації між усіма елементами, зокрема й людьми, що задіяні у виробництві (сировина, деталі, обладнання, устаткування тощо).

Цей факт стосується як машинобудування (від конструювання й розробки технології виготовлення до логістики, управління підприємством й управління проектом як таким), так і будь-яких галузей: чи то будівництво, чи то керування транспортними потоками, чи медицина (зокрема, діагностика) тощо. У кінцевому рахунку, цифрова трансформація вже сьогодні визначає ринкові перспективи і цінність підприємства на ринках товарів і послуг масового попиту (FMCG) Необхідно стимулювати масштабне впровадження інновацій та технологічне переозброєння в першу чергу у промисловості.

Для успішної трансформації промисловості у цифрову економіку потрібно розробити й реалізувати комплекс дій з технологічного переозброєння за умови застосування контролінгу (особлива система управління всіма процесами на підприємстві, яка має інструменти підвищення якості управлінської діяльності).

Цифрова економіка являє собою сукупність суспільних відносин, які виникають при використанні електронних технологій, електронних послуг, аналізу баз даних та прогнозування з метою оптимізації виробництва, розподілу ресурсів, споживання, обміну, тощо. При тому основним фактором успіху у цифровій економіці є не технології, а нові

моделі управління технологіями й даними, що дозволяють здійснювати оперативне реагування й моделювання майбутніх викликів [50].

Таким чином цифровізація (дигіталізація) не означає створення нових технологій, а передбачається використання на підприємстві вже відомих процесів, але вони стають простішими й зручнішими для користувача. Їх однаково просто можна застосувати як на великому підприємстві, так і на малому. Вони не вимагають значних ресурсів, від початку умови на підприємствах однакові, навіть малі підприємства мають перевагу, бо є гнучкішими і ближчими до клієнта.

На основі досліджень з ключових секторів економіки [5] а виділяють основні рівні цифрової трансформації:

1. Цифрові дані (Digital Data);
2. Можливості підключення (Connectivity);
3. Автоматизація;
4. Цифровий доступ до клієнта (Digital Customer Access).

Нещодавно був запропонований термін „цифрове руйнування (дезінтеграція)“, що означає, конкуруючий вплив цифрових технологій і бізнес-моделей на формування ціни на ринку.

Автоматизований аналіз великих масивів даних (Big Data and Analytics). передбачає наявність необхідних інструментів для того, щоб встановити взаємозв'язки між цими даними і, відповідно, зробити висновки. За даними аналітичного агентства IDC обсяг ринку технологій і послуг у сфері великих даних продовжує щорічно зростати приблизно на 30%. В опублікованих результатах дослідження „Цифровий всесвіт“-2 (від компаній EMC і IDC), міститься прогноз 10-кратного зростання „цифрового всесвіту“ до 2020 року щодо рівня 2013 року. Очікується подвоєння обсягу даних в хмарному сегменті, який складатиме 40% всіх даних цифрового всесвіту, чому сприяє розвиток бездротових технологій, інтелектуальних пристроїв, інтернету речей, технології доповненої і віртуальної реальності. Важливою умовою є можливість фіксувати й аналізувати потоки інформації, отримувати прогнозні моделі.

В науковій літературі зустрічається велика кількість різних інструментів і технологій, спрямованих на поліпшення виробництва. **Концепція поліпшень** включає два підходи [50]:

- поліпшення, досягнуте нововведенням;
- неухильне поліпшення.

Нововведення (перетворювання в виробничому процесі, розробка нових технологій, перспективних видів продукції) часто потребують значних фінансових інвестицій. Такого роду поліпшення застосовують зазвичай тоді, коли можливе позитивне повернення інвестицій.

Безперервні поліпшення ґрунтуються на наявних у організації, але не затребуваних по теперішній час виробництвах, технологіях, кваліфікації та досвіду працівників. Для того, щоб поліпшення були результативні, вони повинні носити систематичний характер.

Обидва підходи можуть використовуватися як окремо, так і доповнюючи один від одного, підсилюючи ефективність від впровадження та використання поліпшень. При цьому поліпшення, засновані на нововведеннях, забезпечують перехід виробництва на новий технологічний рівень, символізуючи прорив вперед, а неперервні поліпшення, сприяють закріпленню, стабілізації досягнутих результатів після прориву.

До основних інструментів і технологій, спрямованих на неухильне поліпшення, можна віднести систему збалансованих показників, концепцію „шість сигм“, ланцюжок цінностей, таргет-костинг, бенчмаркінг, систему „точно в строк“, „теорію обмежень систем“, бережливе виробництво і ін. Порівняльна характеристика різних технологій з точки зору області і спрямованості поліпшень приведена в таблиці 1.1. [50].

Довідка [43, 30, <https://ru.wikipedia.org/>]

Таргет-костинг ((від англ. *Target costing* – цільова вартість) – це метод визначення цільової собівартості, формування собівартості нової для підприємства продукції, виходячи з планованої ціни і очікуваної прибутковості продажів. Тобто фактично метод управління собівартістю (витратами на виробництво) продукції. Суть полягає в зниженні собівартості продукції на всьому

її виробничому циклі за рахунок застосування виробничих, інженерних, наукових досліджень і розробок [<https://www.financialguide.ru/encyclopedia/target-costing>]

Цільова калькуляція витрат є зворотною ціноутворенню за методом «собівартість плюс», при якому з цільової ціни реалізації товару (послуги) віднімається цільова маржа прибутку і визначаються цільові витрати

Мета методу – знизити фактичні витрати до рівня цільових величин. Якщо за допомогою подібних прийомів зробити це неможливо, то продукт на ринок запусканий не буде.

Етапи цільової калькуляції [19, с. 371, 384, 833]:

1. визначення планової ціни, по якій споживачі готові купувати;
2. визначення цільових витрат (з планової ціни віднімається очікуваний прибуток);
3. оцінювання фактичних витрат, необхідних для випуску продукту;
4. якщо оціночні фактичні витрати перевищують цільові, провести аналіз способів, за допомогою яких можна знизити фактичні витрати до рівня цільових.

Для досягнення цільових витрат вдаються до різних прийомів, в тому числі до поширеного аналізу та інжинірингу вартості [19]:

- Пошаровий аналіз (зворотний інжиніринг) – метод вивчення продукту конкурента з метою виявлення можливостей його поліпшення та / або зниження його собівартості. Продукт конкурента розбирається на окремі елементи конструкції для виявлення їх функціонального призначення і для розуміння використаних виробничих процесів при його створення. Проводиться оцінка витрат на випуск цього продукту. Мета цього процесу – отримати Відлікову мірку по конструкції продукту і порівняти відносні переваги підходу конкурента до розробки продукту з власним варіантом.
- Інжиніринг вартості (аналіз вартості) – системний комплексний аналіз чинників, що впливають на витрати продукту (послуги), з метою розробки послідовності випуску продукту (послуги) при заданому рівні якості і цільових витрат. Мета аналізу – забезпечити цільові витрати за рахунок: скорочення витрат без погіршення функціонального призначення продукції; усунення з конструкції непотрібних функцій, які роблять її більш дорогою, але за які споживачі не хочуть платити.

Метод цільової калькуляції витрат використовується для встановлення цін на звичайні товари, на товари з великим обсягом реалізації і на продукти, які ще не випущені.

Таблиця 1.1.

Характеристика інструментів і технологій поліпшень

Інструменти, технології поліпшень	Область поліпшень	Спрямованість поліпшень
Збалансована система показників	Покращення показників по 4-х напрямках (фінанси, процеси, клієнти, навчання)	Показники діяльності організації в цілому
Концепція „б сигм“	Усунення браку	Окремі бізнес-процеси і виробництва
Концепція ланцюжка цінностей	Зниження собівартості	Взаємини з постачальниками, споживачами, зв'язки всередині ланцюжка цінностей одного підрозділу і між підрозділами підприємства
Таргет-костинг	Досягнення заданої (цільової) собівартості на конкурентний продукт	Задоволення вимог покупців за ціною і якістю продукту
Бенчмаркінг	Досягнення перевершення над конкурентами	Окремі бізнес-процеси і організація в цілому
Точно в строк	Економія ресурсів, зниження собівартості, підвищення якості продукту	Окремі бізнес-процеси і виробництва
Теорія обмежень систем	Ліквідація „вузьких місць“, забезпечення оптимального завантаження виробничих потужностей	Окремі бізнес-процеси
Ощадливе виробництво	Оптимізація процесів шляхом усунення втрат, негнучкості, змінювання культури роботи	Контроль якості на всіх рівнях

Більшість інструментів, розглянутих в таблиці 1.1, дозволяють позитивно впливати на окремі бізнес-процеси організації (концепція „б сигм“, система „точно в строк“, „теорія обмежень систем“). Ряд технологій призводять до поліпшень показників діяльності організації в цілому і здійснення контролю якості на всіх рівнях (збалансована система показників, бенчмаркінг, ощадливе виробництво) або дають можливість вирішити конкретну локальну задачу.

Сьогодні інформатизацію слід розглядати як фактор виживання не лише для окремих підприємств чи галузей, а й для деяких держав [10]:

Індія: щорічно економить \$2 млрд. завдяки переведенню паливних субсидій у цифровий формат.

Танзанія: цифровізували платежі портових комерційних підприємств і скоротили втрати прибутку на \$175 млн з потенційним підвищенням ВВП країни на \$1,8 млрд.

Китай: під безпосереднім керівництвом і із стимулюванням уряду рекордні темпи зростання цифрового ринку за останні 5 років, показник впровадження Інтернету зріс з 16 % до 48 %, в 2017 р. обійшов Велику Британію за загальною сумою електронних платежів і зараз знаходиться на 4-му місці в світі (після США, Євросоюзу, Бразилії).

У розвинених країнах цифровізація йде ще стрімкіш і стосується не лише сфер послуг чи управління бізнесом, а безпосередньо промисловості, зокрема машинобудування (США: на заводі Chrysler, який випускає більш за 700 кузовів для автомобілів Jeep, встановлено 259 німецьких роботів, які мають зв'язок із 60 тис. різних пристроїв та верстатів, обмін інформацією і її збереження здійснюється із застосуванням хмарних технологій). З точки зору інвестицій у цифровізацію найпривабливішими є галузі нафтогазова (самокеровані пристрої при добутку й переробці, комплексна аналітика при обробці великих баз даних) та сільськогосподарська (впровадження безпілотників, прогнозування змін кліматичних та погодних умов і швидка реакція, технології інформаційного моделювання BIM, Інтернет речей IoT) [10].

У звіті Bundesverband der Deutsche Industrie (BDI) підкреслено: «Якщо Європі не вдасться обернути цифрову трансформацію на свою користь, до 2025 року потенційні втрати для країн ЄС-17 складатимуть до 605 млрд. євро – еквівалент втрати понад 10 відсотків промислової бази континенту.» Поставлена ЄС мета щодо збільшення частки обробної промисловості у європейському ВВП до 20 % стане недосяжною. В той же час опитування Siemens показало, що стратегію цифровізації мають менше третини компаній.

Спільнота креативних професіоналів (Ірландія), що пропонують у Заяві інженерів Ірландії рішення для суспільства щодо промисловості в Ірландії у зв'язку з промисловою революцією Індустрія 4.0 підкреслює необхідність термінових національних дій з підготовки Ірландії до „Індустрії 4.0“ і пропонує стратегію у обраних чотирьох ключових областях [www.engineersireland.ie]:

1. Продемонструвати цифровізацію у промисловості й зацікавити ЗМІ, приєднатися до міжнародного альянсу „Platform Industrie 4.0“ та розробити національний портал для висвітлення відповідної інформації,
2. Навчання й перепідготовка робітників з нових напрямків в області цифровізації, передбачити в програмах навчання збір даних, аналітику і критичну оцінку.
3. Заходи щодо підтримки витрат на НДДКР і капіталовкладень, необхідних виробничим компаніям (забезпечити доступність конкурентних фінансових умов для капіталовкладень, пов'язаних з „Індустрією 4.0“), забезпечити, щоб промисловість в Ірландії отримувала максимальну вигоду (фінансову підтримку) з європейських програм.
4. Координація та співпраця на національному рівні між науково-дослідними організаціями, міжнародними об'єднаннями, галузевими консорціумами. Управляти координацією національних зусиль через технологічні центри.

Виробничі процеси виграють від застосування цифрових технологій, наприклад, постачальники стануть повністю інтегровані у глобальні ланцюжки поставок для своїх клієнтів, ширше розвиватимуться суто нові технології виробництва (Additive).

Індустрія 4.0 повинна розглядатися не як самоціль, а як інструмент підтримки.

Штучний інтелект (аналітика даних та їхня автоматизована обробка, поглиблене навчання, тощо) радикально змінить бізнес-моделі, перетворить виробничі підприємства від орієнтованих на продукт до сервісних.

Довідка [<https://ru.wikipedia.org/>].

***Штучний інтелект** – це властивість інтелектуальних систем виконувати творчі функції, які вважаються прерогативою людини, тобто це напрям в інформатиці й інформаційних технологіях, який за допомогою обчислювальних систем відтворює розумні дії : інтерпретують зовнішні дані, аналізують їх і використовують для досягнення конкретної цілі шляхом гнучкої адаптації.*

Інтелектуальна система – це технічна чи програмна система, яка може вирішувати творчі задачі, що належать до конкретної предметної області, знання про яку зберігаються у пам'яті системи

Інтелект – здатність системи створювати в ході самонавчання програми (в першу чергу – евристичні) для розв'язку задач певного класу складності і розв'язувати ці задачі.

У Російській Федерації прийнята Програма розвитку цифрової економіки РФ до 2035 р. і в ній основними трендами названі [50]:

- масове впровадження інтелектуальних датчиків в обладнання (технології індустриального Інтернету речей);
- масове впровадження роботизованих технологій і перехід до безлюдного виробництва;
- перехід на „хмарні“ технології для зберігання інформації та здійснення обчислень;
- наскрізна автоматизація і інтеграція виробничих та управлінських процесів в загальну інформаційну Систему (від обладнання до міністерства);
- перехід на обов'язкову оцифровану технічну документацію та електронний документообіг („безпаперові“ технології);
- цифрове проектування й моделювання технологічних процесів, об'єктів і виробів на всьому життєвому циклі;
- застосування технологій нарощування матеріалів замість різання (адитивні технології, 3D-принтинг);

- застосування мобільних технологій для моніторингу, контролю і управління виробництвом;
- розвиток технологій промислової аналітики;
- перехід на реалізацію промислових товарів через Інтернет;
- масове індивідуальне виробництво (вартість не буде збільшуватись завдяки використанню адитивних технологій);
- прогнозне обслуговування;
- прогнозування якості;
- відстеження стану;
- спільне використання ресурсів;
- миттєве реагування;
- цифрове робоче місце;
- 100% утилізація і переробка;

Цифрова взаємодія людини й машини в епоху штучного інтелекту – в центрі уваги ГанOVERського ярмарку ЕМО-2019 [<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/umleitung-a-458272/>] і широко представлена у виступах і презентаціях експертів компанії MAG IAS [[MAG Europe GmbH](#)], які вважають майбутнім промисловості автоматизацію виробництва і процесів, ІТ в промисловості, робототехніку, інтелектуальні приводні технології, інтелектуальні пневматику й гідравліку, цифрові фабрики, на яких використовують штучний інтелект для оптимізації виробництва, а умовою Industry 4.0 – тісну взаємодію ІТ та автоматизації.

За даними [Digital Spillover](#), частка цифрової економіки у світовому ВВП зросте з 15,5 % у 2016 р (варіюється: у розвинених країнах від 10% до 35% ВВП, у країнах, що розвиваються, – від 2% до 19%) зросте до 24,3 % у 2025 р. [45].

Впровадження цифровізації економіки супроводжується змінюваннями в системі „людина-машина“. Функції людини: генерація ідей, оцінка альтернатив і прийняття рішень (зокрема – в проектуванні), частково технічне обслуговування, включення у контур управління підсистемами в разі аварійної ситуації. Аналітична підготовка альтернатив, оптимізація процесів, виконання рішень (на рівні підготовки, виконання й контролю команд) – прерогатива машини.

Кількість зайнятих безпосередньо у виробництві зменшується, на якийсь час переміщується у сфери технічної підготовки й керування, з часом також зменшиться. Вважають, що при створенні автоматичного заводу витрати на підготовку кадрів складатимуть біля 10 % загальної вартості підприємства, а доля робітників з вищою освітою становитиме до 50 % загальної кількості працівників. В умовах такого заводу перш за все є потреба у суміщенні професій і постійному підвищенні кваліфікації через значне скорочення потреби у робітниках завдяки всебічній автоматизації та інтенсифікації праці (при одночасному розширенні кола обов'язків та відповідальності оператора). Слід врахувати, що суттєво змінюються й умови праці: фізичні джерела негативних впливів на людину змінюються психологічними й розумовими навантаженнями (шум, монотонність, необхідність швидкого реагування, обробка значних масивів інформації, нічні зміни і, врешті-решт, соціальна ізоляція під час роботи (не вистачає спілкування з колегами)).

За оцінками McKinsey & Co, до 2030Е через розвиток штучного інтелекту і автоматизації процесів 400-800 млн людей опиняться без роботи.

[<https://hightech.fm/>, <https://www.scmp.com/frontpage/international>, <https://www.mckinsey.com/>, <https://www.globalxfunds.com/>, <https://www.weforum.org/>].

Зникнуть десятки (а то й сотні) професій. Те, що одного разу створено або відкрито людиною, дублюватиме робот. Наприклад, суттєво зміниться роль людини в управлінні транспортом через те, що машини й транспортні засоби (авіаційні, морські та інші) будуть автоматизовані і оснащені функцією автопілота. Це підвищить ризики техногенних катастроф, оскільки електронні системи залишаться вразливими. З іншого боку, налаштування штучного інтелекту будуть спрямовані на ефективну диспетчеризацію транспортних потоків і зниження ризиків.

В майбутньому людина буде задіяна там, де потрібні творчість, креатив, нестандартне мислення, емпатія [[Атлас нових професій](http://atlas100.ru/) – URL: <http://atlas100.ru/>]

Ще одним прикладом є такий: під час проведення наради кожен з учасників зможе перебувати в будь-якій точці світу, але технології (віртуальні окуляри) дозволять „бачити й відчувати себе тут і зараз, за столом переговорів“ [[Люди не будуть](#)

прив'язані до місця. – URL: <https://www.computerworld.com/article/3247795/how-ar-and-vr-will-change-enterprise-mobility.html>]

Цифрова трансформація – це командна робота, тому Європейська комісія анонсувала плани по створенню єдиного цифрового ринку, зростання ІКТ-інвестицій і інновацій, забезпечення операційної сумісності (наприклад, об'єднання ноу-хау німецької та французької залізничних компаній з метою надання якісніших послуг пасажиром), а у США майбутнє цифрової економіки бачать у розвитку нейтрального Інтернету, тобто вільній передачі інформації, вільному доступу до відкритих даних (за умови забезпечення кібербезпеки й захисту прав інтелектуальної власності [22]).

Ключові елементи Індустрії 4.0: децентралізований інтелект, швидка взаємодія у мережі, інтеграція в реальному часі, автономні дії. Докладніше це:

- адаптивна логістика, яка самоорганізується – як умова гнучкості;
- зворотний зв'язок у реальному часі відносно експлуатаційних характеристик та виконаних робіт – дані візуалізуються і надходять на робоче місце (верстат у мережі є „прозорим“ – інформація на верстат надходить разом із заготовкою, а дані зберігаються в хмарі);
- всебічний високий рівень моніторингу виробництва по всьому ланцюжку створення вартості (хід складання, наприклад, візуалізується і відображується до відома оператора на інформаційних дошках або світлових табло – Андон-табло, вони також сповіщають керівництво, персонал технічного обслуговування та інших робітників про проблему якості або порушення процесу);
- гнучке виробниче планування в режимі реального часу із зростаючою автоматичною реакцією на ринковий попит;
- цифрові рішення згідно із вимогами замовника;
- сенсорна технологія як один з основних напрямків інтегрованої інтелектуальної індустрії (без неї в Industry 4.0 нічого не працює);
- адаптивні стратегії контролю якості: використання вбудованих технологій вимірювання (навіть інтегрованих у процес) для розширеного збору даних, що дозволяє виявити складні відносини;
- інтеграція: пов'язування машини, людини та продукту;

- спільна робототехніка (Cobotics) – системи, призначені для спільної роботи в одному робочому просторі роботів та людей: комбінація можливостей робота (сила, точність, повторюваність, тощо) з навичками людини (аналіз, прийняття рішень, ноу-хау) – напряду або з використанням пульта дистанційного керування чи навіть екзоскелету (особливо ефективні у потоково-транспортних та збиральних виробництвах)
- штучний інтелект та машинне навчання, зокрема із застосуванням в робототехніці;
- віртуальна, доповнена й змішана реальності (Virtual, Augmented та Mixed Reality – відповідно, VR, AR, MR) як інструменти розробки технологій та обладнання.

Довідка.

Андон – засіб інформаційного керування, яке дає уявлення про поточний стан справ – хід виробництва, за потребою створює візуальне й звукове попередження про дефект. Передбачає зупинку процесу заради покращення якості. До інформаційних засобів можуть належати кольорові лампи, світлове табло, інформаційні панелі, монітори, тощо. Якщо робітник помічає дефект чи якусь проблему, через яку він не може виконати стандартизовану операцію без браку, він подає сигнал (тривога якості) акустично, оптично чи радіосигнал і на табло спалахує жовте світло, яке є свідомством несправності. На місці з'являється фахівець (старший робітник, наладник, майстер), що разом з робітником-виконавцем аналізує ситуацію й вони усувають проблему. На табло горить червоне світло як сигнал, що над проблемою працюють. При цьому конвеєр, наприклад, може до певного моменту рухатися. Проблема можна усунути дуже швидко, участь робітника сприяє цьому. До речі, робітник може за допомогою андону подати сигнал, що його перевантажено й він потребує допомоги. Після усунення дефекту подається сигнал. Якщо цей сигнал не надійде через певний проміжок часу, конвеєр чи верстат зупиняється. В разі потреби визначають дії для попередження подібних ситуацій у майбутньому. Якщо дефект неможливо виправити на робочому місці, це роблять у спеціальному місці.

Андон-табло – засіб безпосереднього контролю ходу процесу. На андоні позначається поточний стан процесу і відповідні дії (наприклад, не вистачає матеріалів, або здійснюється переналагодження й очищення), тривалість такту для

конвеєрного складання, кількість продукції, що вийшла з конвеєра, фактичний стан виконання замовлення, тощо. Але андон не є засобом надання інформації або спільним дисплеєм, це візуальне відображення. Для впровадження системи на підприємстві треба виконати певні дії [<http://www.up-pro.ru/encyclopedia/andon.html>], робітник повинен мати повноваження зупинити процес.

Певна кількість досить сучасних технологій використовувалися і раніш як у виробництві, так і в управлінні, але вони забезпечували, наприклад, високий рівень автоматизації, але не перетворювали фабрики й заводи на «розумні»: кожна з виробничих систем орієнтована на випуск певної групи виробів, що відрізняються технологією виготовлення. На рис.1.1 наведені деякі традиційні **технології 3.0 та нові технології 4.0** і зв'язок між ними [4]. Технології 3.0 зовсім не обов'язково наявні на 100 % на підприємствах, але вони в деяких випадках є обов'язковими для наступного впровадження 4.0. Наприклад, штучний інтелект чи технології обробки великих масивів даних неможливо впровадити, якщо ці дані попередньо не оцифровані, тобто є мережа й відповідна інфраструктура, встановлені датчики, налагоджено облік. А це рівень 3.0. Рівень базової автоматизації не перевищує 50 % і подальші удосконалення здійснити «стрибком» неможливо. А ось впровадити роботи чи дрони можна без проходження рівня 3.0.

Окрім наведених, можна назвати ще деякі властивості

Інтероперабельність: кіберфізичні системи дозволяють людям та розумним лініям (фабрикам) ефективніше з'єднуватись одне з одним.

Віртуалізація: у 4.0 можливо створювати віртуальні копії розумних фізичних об'єктів (від окремих пристроїв чи машин до цілих заводів) і, відповідно, запускати різні механізми симуляцій, моделювання, а також оцінки реального стану.

Децентралізація: на відміну від високоцентралізованих підходів у 3.0, в 4.0 кожна кіберфізична підсистема може робити власні рішення та взаємодіяти з іншими оптимальним способом.

Реальний час: усі дані та їх аналітику можливо отримувати в реальному часі.

Орієнтація на сервіси: кількість різних сервісів (взаємодії пристроїв та систем між собою, взаємодії з людьми та учасниками екосистеми) зростає в рази.

Модульність: гнучка адаптація розумних фабрик до зовнішніх змін так само зростає, оскільки можна легко змінювати чи розширювати окремі модулі систем управління.

Потенційні переваги від впровадження Індустрії-4.0 показані на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Класичні технології 3.0 та нові технології 4.0 в Індустрії-4.0 [4].

Загальні принципи цифрової трансформації наведені на рис. 1.2 [18].

Покращення бізнес-показників передбачає підвищення конкурентоздатності за рахунок реалізації всіх складових: продуктивність, якість, інновації, час до виходу

товару на ринок, клієнтський досвід і, звісно, собівартість. Наприклад, значна кількість підприємств в Україні ігнорує ці фактори за винятком собівартості.

Для кожного підприємства фактори, які дають найкращі бізнес-показники (бізнес-драйвери), та їхню пріоритетність визначають індивідуально. А вже за ними слідує технології. До бізнес-драйверів відносять енергоефективність, оптимізацію процесів, управління активами, предикативне обслуговування замість планово-попереджувального ремонту, віддалений моніторинг, цифрове проектування, тощо. Підприємство повинно провести базову автоматизацію, планувати, яким шляхом швидко отримувати цифрові дані в автоматичному режимі.

В літературних джерелах є перелік з **9-ти науково-технічних розробок**, які окреслюють Індустрію-4.0:

- Великі дані та їх аналіз (Big Data and Analytics (оперативний пошук та аналіз інформації у структурованих і неструктурованих даних, осяг яких зростає завдяки комунікаційним засобам і технологіям), а також процедура інтелектуального аналізу даних (Data Mining).
- Автономні роботи, які виконують задані функції без втручання людини.
- Моделювання (Simulation) використовується переважно на етапах проектування виробів
- Горизонтальна та Вертикальна Системна Інтеграція (Horizontal and Vertical System Integration), яка передбачає поєднати в єдиний інформаційний простір у межах одного підприємства усі його підрозділи, в межах одного логістичного ланцюга – постачання усіх його учасників тощо. Зараз навіть підрозділи одного підприємства працюють не завжди в єдиній інформаційній системі, вже не кажучи про різні окремі підприємства об'єкти підключені до Промислового Інтернету Речей зможуть отримувати будь-яку потрібну їм інформацію напямую.
- Промисловий Інтернет Речей (IIoT) буде пов'язувати усі компоненти виробництва у єдину мережу обміну інформацією в режимі реального часу.
- Кібербезпека (Cybersecurity) передбачає проведення заходів, які пов'язані із захистом місць зберігання та обробки даних, мереж їх передачі. В Індустрії 4.0

- усе буде постійно підключене до Промислового Інтернету Речей, а тому актуальність проблема кібербезпеки буде лише підвищуватися.
- Хмари. Забезпечують, щоб великий обсяг різної інформації надійно зберігався, швидко оброблявся та миттєво був доступним будь-якому пристрою з різних точок доступу.
- Адитивне (додаткове) виробництво (AdditivManufacturing).
- Розширена (або віртуальна) реальність (Augmented Reality) в Індустрії 4.0 буде використовуватися людиною для навчання, прийняття різних рішень тощо. Наприклад, працівник підходить до виробниче устаткування, яке вийшло з ладу,
- в спеціальних окулярах та бачить на екрані як саме устаткування в режимі реального часу, так і інформацію, яка йому має допомогти у вирішенні проблеми (інформацію щодо можливої поломки, інструкції щодо її усунення тощо).

Отже, основою Індустрії 4.0 є інформаційні засоби та технології в будь-якому їх прояві.

Верба І.І., Даниленко О.В., О.В. Самойленко
Сучасні тенденції розвитку обладнання автоматизованого виробництва

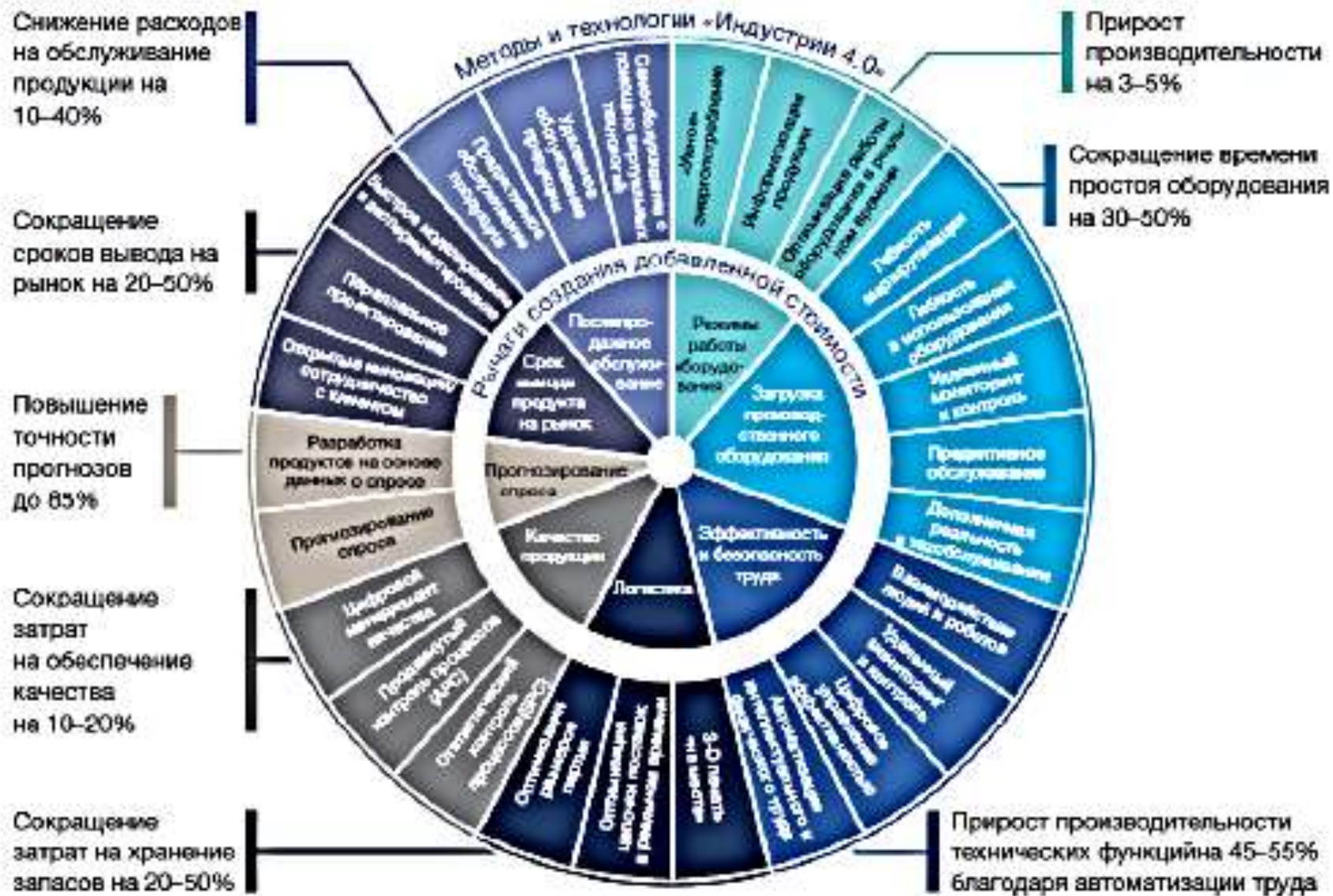


Рис. 1.2 Потенційна вигода від застосування технологій Індустрії 4.0 [23].

Головний бар'єр – це люди й організації. На великих підприємствах рівень спеціалістів зазвичай традиційно високий, але перехід на технології 4.0 вимагає додаткового навчання персоналу і відповідних інвестицій. Структура також вимагає змін, інтеграції по вертикалі й горизонталі (ліквідацію функціональних бар'єрів між різними структурними підрозділами).

На конкретному підприємстві можливі значні розриви у технологіях 3.0, перестрибування на 4.0 є ризиком, особливо при відсутності потрібних стратегій і бюджету.

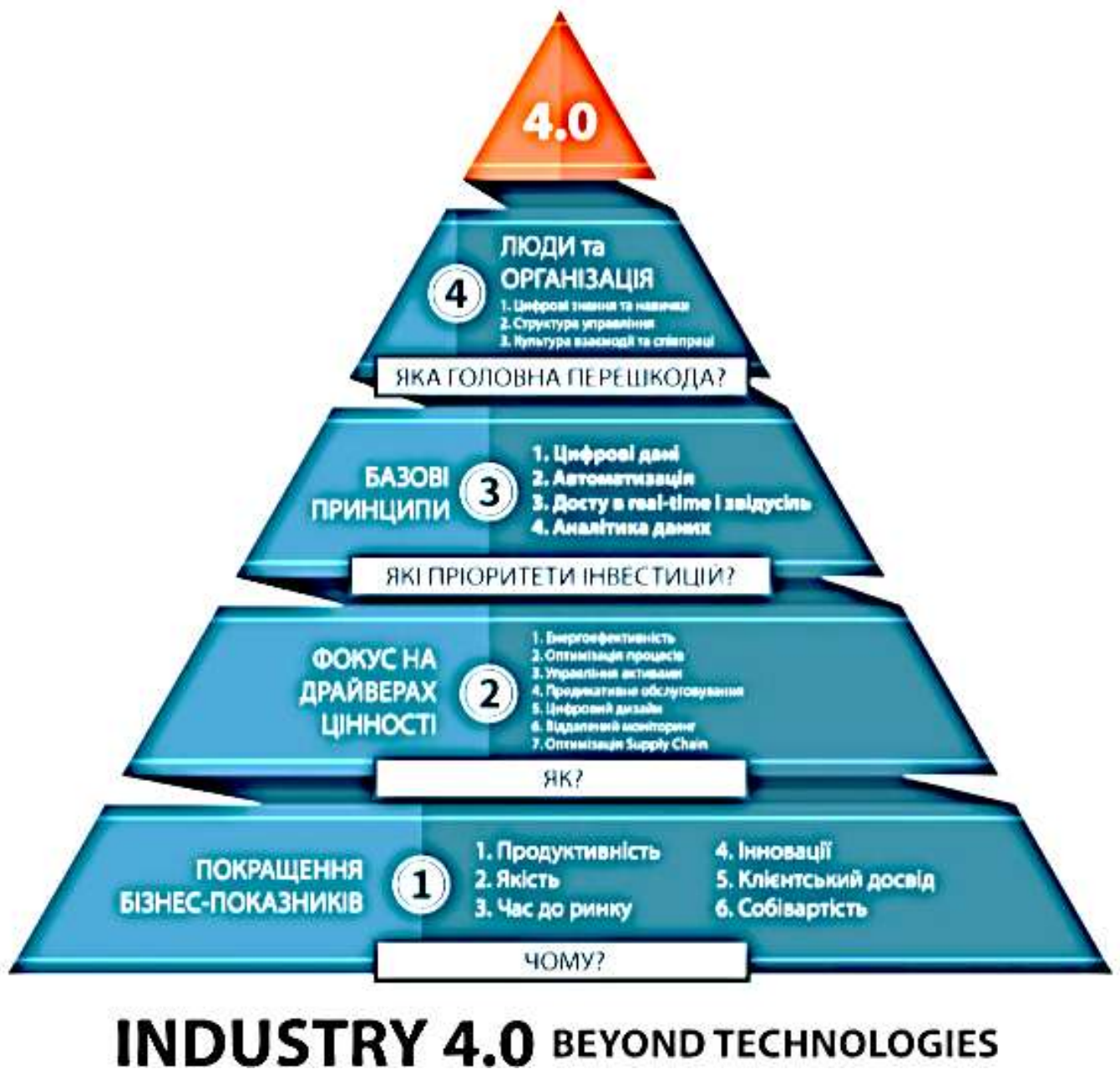


Рис. 1.3 Принципи переходу на технології 4.0 [18].

Технології, які змінять світ до 2030 р:

[<https://hightech.fm/>, <https://www.scmp.com/frontpage/international>, <https://www.mckinsey.com/>, <https://www.globalxfunds.com/>, <https://www.weforum.org/>]

1. Big data (BD) і хмарні технології.
2. Інтернет речей – Internet of Things (IoT), промисловий інтернет речей (IIoT)
3. Штучний інтелект (AI).
4. Роботизація, дрони, кібернетизація людини (роботи-фармацевти, оффлайн-торгівля (автоматизація й роботизація: магазини без продавців, касирів, черг) роботи-офіціанти в ресторанах, роботи-носії, роботи-кухарі в ресторанах швидкого харчування, тощо).
5. Нейроінтерфейси, віртуальна реальність (VR), доповнена реальність (AR), змішана реальність (MR), гейміфікація.
6. 3D-друк(друк на 3D-принтері взуття й одягу, побутової техніки й електроніки, меблів, автомобілів, їжі, житлових будинків).
7. Біоінженерія, генно-модифіковані бактерії (виробництво палива (біопаливо нового покоління з генно-модифікованих бактерій, виробництво й очищення їжі та води за допомогою генно-модифікованих бактерій) виробництво будматеріалів на основі генно-модифікованих бактерій).
8. Нанотехнології, наномедицина (рання діагностика хвороб, трансплантологія, лікування пухлинних захворювань, створення вакцин, нових поколінь антибіотиків і способів доправлення ліків „точно в ціль“, генна терапія).
9. Блокчейн (система обліку за допомогою блокчейн-системи (облік договорів, комерційних, фінансових операцій, реєстр власності).
10. Кібербезпека охорона громадського порядку і безпеки (системи розпізнавання обличчя, райдужки та емоцій, технології розпізнавання голосу, аналіз соцмереж, „розумна шкільна форма“ для відстежування місцеперебування дітей і підлітків).

Слід сказати кілька слів докладніше про штучний інтелект та машинне навчання, які відносяться до ключових елементів.

Штучний інтелект – це розділ інформатики, який призначено для моделювання інтелектуальної діяльності людини [50]. Методи штучного інтелекту дозволили створити ефективні комп'ютерні програми у сферах діяльності, що вважалися непридатними для алгоритмізації й формалізації, як то медицина, біологія, зоологія, соціологія, політологія, економіка, бізнес, тощо. Реалізовані ідеї навчання й самонавчання комп'ютерних програм, накопичення знань, обробки нечітких і неконкретних знань. За подобою людського мозку створені нейрокомп'ютери для управління складними технічними системами та об'єктами і діагностикою їхнього стану, діагностикою захворювань людини, передрікають результати голосувань і погоду, допомагають абітурієнтам обрати майбутній фах, тощо. Зараз інтелектуальними вважають задачі, які на сучасному етапі не мають строго детермінованих алгоритмів або не піддаються традиційній алгоритмізації, а потребують маніпуляцій з нечіткими, неконкретними, ненадійними й навіть нетрадиційними знаннями.

Для створення систем штучного інтелекту застосовують переважно два підходи – технології експертних систем та нейромережеві технології [50]. Перший передбачає створення бази знань про об'єкт і механізму обробки цих знань з метою отримати логічні висновки, а при другому підході знання зберігаються і оброблюються у неявній формі за аналогією з людським мозком. В чомусь ці підходи є альтернативними і важливо обрати найпридатніший.

Порівняно новим напрямком є штучне математичне моделювання. Одним з популярних інструментів математичного комп'ютерного моделювання є формулювання й розв'язок крайових задач математичної фізики. Навіть далекий від математики користувач за допомогою відповідних програмних пакетів може отримати приблизний розв'язок, який є правдоподібним з точки зору здорового глузду. У [50] вказано, що програмні продукти, побудовані на застосуванні чисельних методів розв'язку крайових задач (наприклад, Ansis, Arm Winmashine, Kosmos та ін) не є надійними з точки зору отриманих результатів, оцінка точності яких є проблемною. У супутній документації вказано, що розробники програм не несуть відповідальності за виконані розрахунки. Надійність результатів математичного моделювання забезпечують точні аналітичні методи, розроблені в традиційній математиці, але вони погано алгоритмізуються, не

є універсальними і тому програмних пакетів, що реалізують ці методи, майже немає. До того ж створення їх базується на традиціях школи математиків-аналітиків, на творчому індивідуальному підході, на таланті розробника. Саме інтелектуалізація комп'ютерів, впровадження методів штучного інтелекту (фактично у комп'ютер закладають інтелект професійного математика-експерта) дозволить здійснити створення універсальних програмних комплексів, що дадуть надійні аналітичні рішення крайових задач, які є необхідними для моделювання об'єктів і процесів, зокрема технічного призначення.

Групу методів штучного інтелекту, що мають на меті не розв'язок задачі, а навчання на прикладі використання розв'язань значної кількості схожих задач називають **машинним навчанням** (англ. machine learning – ML) [<https://ru.wikipedia.org/>]. Для створення таких методів використовують засоби математичної статистики, чисельні методи, методи оптимізації, теорії імовірностей, теорії графів, обробки даних у цифровій формі.

Виділяють два типи навчання:

1. Дедуктивне навчання: це формалізація знань експертів і внесення їх як бази даних у комп'ютер. Відносять до експертних систем.
2. Навчання за прецедентами або індуктивне навчання: ґрунтується на виявленні закономірностей у емпіричних даних. Саме цей тип називають машинним навчанням.

Частина цих методів є альтернативою класичним статистичним методам і багато з них тісно пов'язані з вилученням інформації (англ. information extraction, information retrieval), інтелектуальним аналізом даних (**data mining**).

Загальна постановка задачі навчання за прецедентами

Є множина об'єктів (ситуацій) і множина різних відкликів (реакцій), між ними існує деяка залежність, але вона невідома. Відома лише кінцева сукупність „прецедентів“ (пар об'єкт-відповідь), яку називають навчальною вибіркою. На основі цих даних треба відновити неявну залежність (необов'язково аналітичну), тобто побудувати алгоритм, який здатний для будь-якого вхідного об'єкту дати достатньо точну відповідь. Принцип розв'язку, що формується емпірично, реалізують нейромережі, які

здатні до узагальнення: дають адекватні відклики на дані, що виходять за межі навчальної вибірки. Щоб оцінити точність відповідей, вводять функціонал якості.

В цілому такий підхід є узагальненням класичних задач апроксимації функцій. Відмінність у тому, що в прикладних задачах об'єктами є не числа чи вектори, а дані неповні, неточні, нечислові, різнотипні. Цей факт зумовлює різноманітність методів машинного навчання, які поєднують науку про нейромережі та методи математичної статистики. В принципі використання нейромережі (з різними алгоритмами навчання нейронних мереж) – не єдиний можливий метод, що його застосовують у навчальних вибірках, наприклад, може використовуватися дискримінантний аналіз, тощо.

Популярність машинного навчання й у значно зросла за останній час (зокрема терміном „штучний інтелект“ можуть навіть спекулювати з метою збільшення привабливості продукції й залучення інвестицій, наприклад, у стартапи).

Машинне навчання застосовують у разі, коли традиційні системи програмування не ефективні, тобто воно в жодному разі не замінює традиційне програмування.

У традиційному програмуванні інженер повинен розробити алгоритм і написати програму (код), задати вхідні параметри (або набір параметрів) і отримати результат як наслідок реалізації алгоритму. Проблемою є необхідність працювати з великою кількістю параметрів (що дуже складно), бо з обмеженою кількістю можна побудувати лише дуже просту модель.

Для розв'язування тієї ж самої задачі методами машинного навчання застосовують інший підхід: замість самостійної розробки алгоритму інженер повинен зібрати раніш використовувані дані і застосувати їх для напівавтоматичної побудови моделі. Він завантажує набір даних в різні алгоритми машинного навчання (експериментує з різними алгоритмами) і, як наслідок, отримує модель, яка може прогнозувати новий результат в разі завантаження нових даних і яку можна регулювати в певних межах.

Отже основна відмінність полягає у тому, що в машинному навчанні не треба будувати модель самостійно, цим займаються алгоритми машинного навчання, закладені у комп'ютер, а оператор може вносити невеликі правки у налаштування алгоритму. Розв'язок здійснюється шляхом комплексного використання статистичних даних, з яких виводяться закономірності і здійснюється прогнозування. Друга

відмінність – необмежена кількість параметрів, які можуть бути використані і вплинуть на результат (обмеження лише з боку потужності процесора і пам'яті). Алгоритм, побудований людиною, не може враховувати подібну кількість параметрів [<https://dou.ua/lenta/articles/ml-in-real-life/>].

Щодо основних алгоритмів моделей машинного навчання, то відомості про них є в літературних джерелах [46, 42, 20, а також URL: <https://habr.com/ru/post/448892/>].

Довідка

Традиційні типи машинного навчання:

Навчання з вчителем: оператор задає набір вхідних параметрів та очікуваний результат (тобто задаємо питання й надаємо відповіді). Таким чином будуємо модель і далі вже можемо задавати нові питання й отримувати відповіді. Таким чином вирішують класифікаційні задачі, але відповідь можна отримати лише на ті питання, які входили у навчання, тобто відповіді підбираються з відомої бази даних і поза неї бути не можуть. Подібним є алгоритм регресійного аналізу, але потенційними результатами він відрізняється: це оцінювання і прогнозування в різного типу задачах. Наприклад, оцінка вартості будь-яких об'єктів, оцінка часу, прогнозування, наприклад, попиту на продукцію або енергоспоживання, тощо. Найбільш застосовуване

Навчання без вчителя: надаємо певні дані, але не задаємо правильні відповіді і алгоритм повинен сам щось з'ясувати, без попереднього навчання. Для навчання використовуються самі вхідні параметри і, відповідно, можливі три категорії алгоритмів:

а) асоціативні – для предметів та понять, які застосовують найчастіше разом, типу сталих сполучень чай+ цукор для мереж роздрібної торгівлі;

б) кластеризація – для групування вихідних даних у кластери);

в) зниження розмірності – метод (Principal Component Analysis або PCA) може скоротити кількість параметрів у 5-10 разів, наприклад, трансформація двовимірного подання даних у одновимірне).

Кластеризація та зниження розмірності переважно використовуються як допоміжні інструменти для навчання з вчителем.

Навчання з підсиленням (Reinforcement Learning, или RL) більшу частину часу працює із цілями штучного інтелекту – створює об'єкт, який може ефективно діяти у заданому середовищі. Використовують при побудові штучного інтелекту для різних відеоігор без описання правил гри: спочатку цей інтелект знає лише кілька дій, але застосовує їх, отримує відклик та модифікує себе (механізм винагороди/покарання). Наприклад, версія штучного інтелекту AlphaZero має рівень складності, який є недосяжним для людини, вона навчилася грати сама з собою, а не використовувати для навчання партії, зіграні людьми. Окрім ігор, застосовують для навчання роботі, але зовнішній світ складно змодельовати із заданою точністю.

Ще одним напрямком є роботизація розумової праці, тобто застосування інформаційних технологій (побудова алгоритмів на базі спеціальної платформи) для автоматизації бізнес-процесів. Розробник надає інструкції роботі й налаштовує його на виконання певних задач. Якщо передбачене машинне навчання (додано функціонал machine learning), інструкції можуть бути не такими конкретними. Автоматизація містить обробку даних, взаємодію між цифровими системами і т. ін. (Robotic process automation – RPA) [<https://dou.ua/lenta/articles/what-rpa-is/>].

Тренд на роботизацію розумової праці (в першу чергу у бізнес-процесах), що призводить до поступової заміни співробітників-людей алгоритмами й програмованими роботами вже стає звичним. Програми прибирають на себе нудні процеси, а люди мають можливість зосередитись на творчих задачах.

Результат п'ятирічної еволюції RPA – 30-40 % економії і значне зростання ефективності для тих компаній, які її впровадили, зокрема підприємств з галузей банкінгу, надання послуг, охорони здоров'я. Згідно з прогнозами (аналітичне агентство Gartner), витрати компаній на роботизацію бізнес-процесів до 2022 р. значно зростуть. IT-компанії найближчим часом чекає вибухове зростання кількості підключених до Інтернету речей і пристроїв [<https://t.me/prorobots>; <http://robotrends.ru/pubs/>]

Прогрес є помітнішим у країнах з розвиненим приватним бізнесом, бо такі підприємства швидше і ефективніше впроваджують нові технології, ніж підприємства державні.

Великі світові компанії почали активно впроваджувати RPA-підхід у свої виробничі процеси.

Переваги роботів у виробничих процесах:

- Зростання продуктивності як мінімум на 50 %.
- Точність до 0,03 мм.
- Виключається імовірність помилки чи відхилень при виконання процесів.
- Робота у три зміни.
- Легкість програмування.
- Зниження собівартості продукції, зокрема через разові інвестиції у розробку якісного робота замість постійних виплат робітникам (заробітна плата, соціальний пакет, тощо), що скорочує витрати компанії.
- Компактність.

При цьому RPA, порівняно із розробкою спеціального софту, забезпечує швидке впровадження і, відповідно, повернення інвестицій без вимоги перебудови існуючих процесів та інформаційних систем компанії. Використовуються готові модулі для реалізації певних рішень, зокрема при цьому автоматизують монотонні задачі. Можуть залучатись перспективні спеціалісти з недостатнім досвідом у програмуванні, які оволоділи RPA.

Як приклад впровадження RPA в національному масштабі, можна навести Китай. У виробничому секторі Китаю за даними Національного бюро статистики працюють біля 100 млн осіб. Тренд на роботизацію стартував у 2014 р.. Почалися значні інвестиції. У 2016 р. Китай інвестував у робототехніку біля \$24,6 млрд, а до 2020 р. очікуються витрати \$66,5 млрд. Наприклад, лише один з округів у 2018 р. вклав у автоматизацію фабрик біля \$56,8 млн. і саме у ньому за останні 5 років роботу втратили понад 280 тис. осіб, замість яких працює 91 тис. роботів. За два роки з'явилися 3000 компаній, що виробляють і обслуговують роботів. Планується, що у 2020 р. відбудеться масовий перехід до автоматизації добувної промисловості Китаю [<http://robotrends.ru/pub/1908/kitayu-lyudi-ne-nuzhny-avtomatizaciya-na-primere-podnebesnoy>].

Але завжди є зворотний бік медалі: поступове заміщення робітників роботами. В 2017 р. компанія Changying Precision Technology Company скоротила 590 співробітників,

а ті 60 осіб, що лишилися, за рахунок роботизації збільшили місячне вироблення в розрахунку на одну особу з 8 тис. до 21 тис. деталей при зниженні рівню браку з 25 % до 5 %

[<http://robotrends.ru/pub/1704/na-kitayskoy-fabrike-personal-uspeshno-zamenili-na-robotov>]. І таких прикладів багато, бо Китай має на меті до 2030 р. отримати світове лідерство на ринку систем із штучним інтелектом. Чи справдяться ці сподівання – час покаже, але автоматизацію й цифровізацію не зупинити і світ зіткнеться на цьому шляху із проблемами.

Через автоматизацію, смартизацію і введення штучного інтелекту, зокрема і у виробництві, робоча сила поляризується. Прибутки і соціальний статус невеликої кількості професіоналів зростають, а представники робочої сили невисокої кваліфікації, малого й середнього бізнесу втрачають затребуваність, умови їхньої праці деградують, джерела прибутків втрачаються. Масштаб змін настільки великий, що постає питання щодо подальшої долі цих людей. У найгіршому становищі опиняються люди, які звикли виконувати певні дії певним чином. Більшість людей повинна буде еволюціонувати кожні 3-5 років, а тренд на довічне навчання стає нормою. Сьогоднішні школярі за своє життя змінять більш за 20 робіт і будуть виконувати такі роботи, яких на сьогодні ще навіть не існує. Можна передбачити досить несподівані на перший погляд наслідки: наприклад, заміну персонального транспорту прокатом і роботомобілями завдяки зовсім іншому рівню послуг [<http://robotrends.ru/pubs/>].

Через автоматизацію та аутсорсінг останні 30-40 років почалось падіння зайнятості у промисловому секторі усіх індустріально розвинених країн. Зараз дешева робоча сила вже нікого не цікавить: на зміну аутсорсингу йде рещорінг [<https://www.kommersant.ru/doc/3526726>] – міжнародні концерни повертають у Європу й США виробництво, на якому віднині працюють роботи, а країни, що розвиваються, втрачають тисячі робочих місць. Цей процес фіксують дослідники: „[Homeward bound: nearshoring continues, labor becomes a limiting factor, and automation takes root](#)“ от AlixPartners, а також доповідь MGI (листопад, 2018) „[Making it in America: Revitalizing US manufacturing](#)“ та ін. інформаційні джерела. Причин цього декілька:

- виробництво товарів з великим співвідношенням ваги й вартості (автомобілі, важка і об'ємна побутова техніка). Для таких товарів відсутність витрат на морське транспортування найбільш актуальна;
- виробництво, що має на увазі надточну по часу логістику (виробництво з коротким циклом, just-in-time) або таке, для якого часто змінюється в споживчий попит і/або дизайн (перш за все автокомплектуючі і автозапчастини);
- застосування різних пластиків та продуктів переробки нафти – близькість до джерел виробництва (бум видобутку газу й нафти у США);
- виробництво, що потребує високого рівню контролю і менеджменту для дотримання норм якості (наприклад, виробництво медичного обладнання);
- виробництво, орієнтоване на клієнтів, що мають обмежені можливості купувати товари, вироблені в США (наприклад, товари ВПК);
- виробництво товарів, для яких дуже важливо дотримання і захист авторського права і патентів;
- рещорінг відбувається в галузях, найбільш чутливих до технологій автоматизації і роботизації виробництва. Перш за все це виробництво текстилю та одягу, побутових електроприладів, автомобілів і автокомплектуючих.

Деякі приклади [<https://www.kommersant.ru/doc/3526726>].

1. Компанія Tianyuan Garments Company (Китай, працює для брендів Adidas, Reebok и Armani), зараз будує у США фабрику, яка буде виготовляти 28 млн. футболок на рік при 400 робітниках (замість кількох тисяч). Конкуренентоздатність щодо дешевої ручної праці забезпечує роботизація (вартість ручної праці при виготовленні однієї футболки становить \$0,33). Порівняти: у найбіднішій країні АСЕАН – Бангладеш (80 % експорту – текстиль та одяг) у 2013 біля \$0,22 за футболку, а у США за те саме – \$7,5.

Виробництво одягу до останнього часу відставало від процесів автоматизації в автомобільній промисловості і електроніці, бо ручна праця в галузі часто вимагала дуже тонкої і точної моторики: виробництво блузки з нагрудною кишенею вимагає 78 окремих операцій. В розробці й виготовленні знаходиться відповідний робот.

2. Роботизована взуттєва фабрика Adidas Speedfactory, нещодавно відкрита в німецькому Ансбаху, має 160 робітників і випускає 500 тис пар взуття на рік. Скорочення

зайнятості становить 90 %. Окрім роботизації, планується впровадження нової технології 3D-друку, що знижує тривалість друку з 1,5 год. до 20 хв, та ліквідація ефекту масштабу, властивого традиційному виробництву: щоб окутитися, форми з лиття підшов із пластику повинні бути використані не менше 10 тис. раз, відповідно, виготовлення дрібних партій виробів і кастомізованого взуття (ортопедичного на замовлення) було виключно дорогим. 3D-друк дозволяє обійти це обмеження і випускати хоч по одній парі взуття. Зараз Adidas будує подібну фабрику в США, що знову-таки відповідає тренду ресорінгу.

Очевидних розв'язків проблеми немає. Є надія, що автоматизація може також створювати нові робочі місця, тоді вирішення питання зайнятості – це перекваліфікація й постійне навчання.

1.1 Industry4Ukraine

А що ж Україна? Невже пасе задніх і ніхто нічого не робить?! Це не зовсім так. Рух Індустрія 4.0 існує з 2016 року, а Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України (АППАУ) – з 2011р. [сайт АППАУ – <https://www.google.com/search?q=%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82+%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%83&oq=%D0%90%D0%9F%D0%9F%D0%90%D0%A3&aqs=chrome.1.69i57j0.6051j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8.>]

В грудні 2018 р. до Кабінету міністрів України було передано Проект національної стратегії Індустрії 4.0, розроблений групою експертів від АППАУ та Руху 4.0, тоді ж він став доступний для експертного обговорення [36]. Проект пропонує 7 напрямів розвитку, де є 13 проектів, а також ряд завдань щодо їх синхронізації з іншими державними політиками та стратегіями – промисловою, інноваційною, експортною, кластерною [<https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/01/02/ukrainska-strategiya-industrii-4-0-7-napriankiv-rozvtuku/>].

Стратегія 4.0 є частиною загальноукраїнського Цифрового порядку денного (Digital Agenda Ukraine).

На цей момент часу жодної реакції уряду не було. А в усіх країнах лунала теза про обов'язкову підтримку уряду.

На форумі в червні 2019 представниками бізнес-асоціацій, кластерів, громадськості та державних органів було ухвалено Маніфест Industry4Ukraine платформи нової промисловості [31].

В жовтні 2019 відбувся Круглий стіл Industry4Ukraine, присвячений питанням цифрової трансформації економіки, з'явилися публікації, аналітичні огляди й звіти [4, 35, 24, 43, 47]. Зацікавлені особи, патріоти української промисловості гуртуються із сподіванням на спільноту.

Для України характерно:

- потужний інноваційний потенціал, який постійно зростає. Він явно недовикористовується внутрішнім ринком, який все ще відстає в попиті на інновації й тому логічно, що третина наших інноваторів працює переважно на глобальних ринках;
- пріоритетним є розвиток продуктових компаній, яких близько 50% серед зацікавлених в інноваціях і, зокрема, саме вони у фокусі АППАУ;
- акцент на критичному зв'язку інновацій, як готових продуктів та рішень, з інноваційною екосистемою. Промислові хай-тек значно відстають в цій сфері від інших сегментів (B2C), й тому належна оцінка стану й висновки щодо необхідних змін є дуже важливими.

Довідка

Хай-тек – високі технології (англ. *high technology, high tech, hi-tech*) – дуже складні технології, часто включають в себе електроніку і робототехніку, використовувані у виробництві та інших процесах. На відміну від „низьких технологій“ (англ. *Low technology, low tech*) – простих технологій, що використовуються на протязі століть, що обмежуються виробництвом предметів першої необхідності.

Перехід до використання високих технологій та відповідної їм техніки є найважливішою ланкою науково-технічної революції (НТР) на сучасному етапі. До високих технологій зазвичай відносять наукомісткі галузі промисловості.

Можливо також віднесення технологій до розряду „високих“ в залежності від міри неучасті в них людини – чим менше участь людини в технологічному процесі, тим вище технологія. До високих технологій ставляться не тільки промислові технології, але також соціальні технології, наприклад, системи поширення новин, технології колективної роботи і навчання, тощо. [<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%B9-%D1%82%D0%B5%D0%BA>].

***B2C – бізнес для споживача** (англ. Business-to-Consumer,) – неформальний термін, що означає процес взаємодії компанії – (юридичної особи) (*Business*) з кінцевим споживачем – фізичною особою (*Consumer*), що має на меті продаж товарів, послуг або інформації. Термін використовується в сфері маркетингу. [<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96>].*

У [23] сказано: „Беззаперечно, в Україні на часі масштабна цифровізація всіх галузей економіки та базових сфер життєдіяльності, посилення інвестицій в розвиток інфраструктури, інновацій та сучасних технологій. Адже цифрові технології зменшують бар’єри для виходу на нові ринки, дозволяють автоматизувати величезний обсяг механічної роботи, модернізувати обладнання, оптимізувати управлінські процеси. Зокрема, успішний досвід Естонії, Ірландії, Швеції та Ізраїлю свідчить, що безпосередній ефект від комплексного розвитку цифрової економіки становить 20% ВВП протягом п’яти років, а ROI інвестицій в цифрову трансформацію сягає 500 %.

Важливий аспект: завдяки впровадженню цифрової економіки малий та середній бізнес отримав недосяжну раніше можливість бути глобальним та все відчутніше впливає на світову економіку. Ця тенденція відкриває нові перспективи і для розвитку українського малого та середнього бізнесу. Адже українські компанії можуть інтегруватися до міжнародних мереж доданої вартості, що деякі з них вже успішно реалізують. Це – шлях до зростання експорту та виробництва продукції з більшою доданою вартістю.“

Індустрія 4.0 в Україні розвивається, але темпи розвитку є слабкішими. Головна проблема впровадження інновацій на українському ринку полягає в тому, як

стимулюється попит на інновації та на їх впровадження. Наслідком є довший період окупності інвестицій. Державна підтримка мала б стимулювати такі інвестиції, але вона фактично відсутня в цій сфері [21, 23, 4, 28, 24, 3].

Глобальні гравці – це три супердержави, США, Китай та ЄС. Оскільки Індустрія 4.0 в значній мірі скеровується державними програмами, країни конкурують між собою також на рівні показників виконання державних планів. Лідерство Китаю викликає значне занепокоєння як в США, так і в ЄС. Наприклад, Китай планував запуснути 100 нових виробництв на техно 4.0 ще в 2018. Згідно державного плану China 2025, Китай має повністю перейти на розумні виробництва до 2025. Але й набагато менш індустріально розвинені країни демонструють прогрес. Наприклад, Казахстан на техно 4.0 впроваджує 14 промислових об'єктів. Зрозуміло, що подібні виробничі потужності залишають дуже мало шансів в глобальній конкуренції old-style, тобто, традиційним виробництвам, до яких належить 99% української промисловості [4].

АПШАУ запрошує всіх стейкхолдерів (зацікавлених осіб) до співпраці і тісної взаємодії, бо саме це є рушійною силою розвитку. Сьогодні промисловим підприємствам для того, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку, вже не обійтися без ефективної цифрової модернізації виробництва.

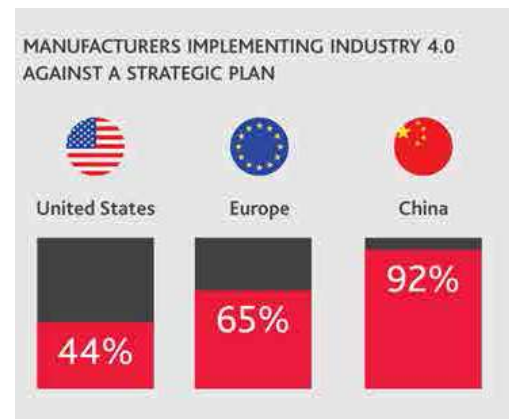


Рис. 4.5 Лідери трансформації

Довідка

Стейкхолдер (англ. *Stakeholder*), зацікавлена сторона (сторона, яка причетна), фізична особа або організація, що має права, частку, вимоги або інтереси щодо системи або її властивостей, що задовольняють їх потреби і очікування, які можуть впливати на систему або на яких може вплинути система. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BA%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%B4%D0%B5%D1%80#cite_note-s4-4]

У системній інженерії стейкхолдери розглядаються в контексті процесу прийняття рішень як фізичні особи або організації, що залежать від результатів прийнятих рішень. Розуміння того, хто є стейкхолдерами по відношенню до прийнятих

рішень, має бути встановлено заздалегідь. Дуже часто це не відбувається: стейкхолдери не визначаються до прийняття рішень. Однак, як тільки рішення буде оголошено або реалізовано, всі, хто хоч якось були зацікавлені цим рішенням, висловлять свою думку.

Типи (групи) стейкхолдерів

- покупець (*англ. acquirer*) або замовник (клієнт) – організація або фізична особа, яка придбає або отримує (*англ. procures*) продукт чи послугу від постачальника;
- розробник (*англ. developer*) – організація або фізична особа, яка виконує завдання розробки, включаючи аналіз вимог, проектування, тестування протягом всього життєвого циклу;
- постачальник (*англ. supplier*) – організація або фізична особа, яка вступає в угоду про поставки товару або послуги;
- користувач (*англ. user*) – особа або група осіб, які застосовують систему і отримують при цьому користь ;
- виробник (*англ. producer*) - представник, відповідальний за виконання роботи, особа, відповідальна за розклад робіт, бюджет і ресурси, які необхідні, щоб задовольнити клієнтів.
- супровідна сторона (*англ. maintainer*) – організація або фізична особа, яка виконує підтримку системи на одному або декількох етапах життєвого циклу;
- ліквідатор (*англ. disposer*) – організація або фізична особа, яка виконує ліквідацію (вилучення і списання) даної системи і пов'язаних з нею експлуатаційних служб;
- аккредитор, або інспектор (*англ. accreditor*) – організація або фізична особа, яка виконує перевірку системи на відповідність вимогам в процесі здачі системи в експлуатацію;
- регулюючий орган (*англ. regulatory bodies*) - організація або фізична особа, що перевіряє систему на відповідність вимогам в процесі експлуатації;
- решта – персонал підтримки (*англ. supporters*), інструктори (*англ. trainers*), оператори (*англ. operators*) та інші.

Розвиток промисловості для економіки України має ключове значення (внесок сектору в створення робочих місць, експорт, розбудову інноваційного потенціалу).

Маніфест платформи Industry4Ukraine (прийнятий на форумі у червні 2019) [<https://www.industry4ukraine.net/docs/e-manifesto.pdf>] закликає Президента,

Верховну Раду та Кабінет Міністрів, політичні партії зробити питання промислової політики України топ-пріоритетом політичного порядку денного, проявити **політичну волю** для зростання сучасної промисловості в епоху 4-ої промислової революції. Для цього всі гілки влади мали б зробити 3 наступні політичні кроки до припинення деіндустріалізації країни

1. Офіційно закріпити промисловий розвиток одним з найвищих політичних пріоритетів порядку денного своєї діяльності.
2. Схвалити Стратегію промислового розвитку, що фокусується на створенні нових переробних потужностей в національній економіці, діджиталізації промислових секторів та реконструкції інфраструктури.
3. Запровадити посаду віце-прем'єр міністра з питань промислової політики, до повноважень якого буде входити координація питань промислового, інноваційного, експортного та кластерного розвитку.

По факту, ми не маємо жодного прогресу по цим пунктах. Більше того, нова структура Кабінету міністрів України, новий перерозподіл функцій між міністерствами (зокрема, в області інновацій) вносять певний хаос в уже зроблені напрацювання й погіршують становище промислових хай-тек секторів

Маніфест говорить, що успішна імплементація промислових стратегій та політик на всіх рівнях державної влади вимагає дотримання 5 базових умов:

1. Створення сприятливого бізнес-клімату в країні
2. Першочергова увага до середньо- та високотехнологічних секторів промисловості.
3. Інклюзивність та скоординованість
4. Масова та швидка діджиталізація (цифровізація).
5. Підтримка розвитку інноваційних екосистем

З цих умов незначні зрушення є лише у сфері покращення загального бізнес клімату. По іншим – поки повне мовчання й ігнорування як пропозицій експертних спільнот, так і попередніх напрацювань (відзначено під час круглого столу в жовтні 2019).

Співпраця промисловців в широких масштабах для України нажаль не характерна, можливо, тому, що фактично немає спільного поля Індустрії 4.0, на якому грають всі гравці. Дорожня карта можливих рішень цифрової трансформації

на залізничному транспорті України розроблена групою експертів АППАУ у 2018 р. [18]. У 2019 р. стартує перший масштабний проект по розробці галузевої дорожньої карти цифрової трансформації для харчової та переробної промисловості, на черзі машинобудування.

Проекти галузевих дорожніх карт дозволяють узагальнити та побачити спільні пріоритети – наприклад, яким чином швидше долати „цифровий розрив“ між 3.0 та 4.0 в умовах відсутності достовірних даних. Дорожні карти в технічній сфері передбачають узгодженість бізнес та ринкових стратегій вищого рівня. В цих проектах організатори запрошують до співпраці всіх ключових гравців з ринків харчової промисловості, промислової автоматизації та ІТ: [<https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/04/26/digital-roadmap-agri-food-golovn%dl%96-stavki-ta-perevagi/#more-9833>]

Промислові інновації потребують підтримки як держави, так і самих виробників. В Україні дуже важко знайти приклади підтримки інновацій та екосистем 4.0 з боку машинобудування. В той час, як в ЄС саме машинобудівники та інжинірингові компанії є одними з рушіїв промислових інновацій, в Україні ми фіксуємо значне скорочення інвестицій на інноваційний розвиток.

Згідно ДП „Укрпромзовнішекспертиза“, витрати машинобудівного сектору України на інновації впали і становлять менше за 2% від доходу компаній, що далеко від середньостатистичних 5-7% у світових виробників. До речі, витрати всього машинобудівного сектору України на інновації в 5 раз менші у відсотках, й у 50 разів – в абсолютних величинах в порівнянні з усього однією компанією світового рівня – Siemens. Причиною цього є не тільки повна відсутність стимулів до розвитку інновацій з боку держави, але й ментальність та рівень бізнес-культури більшості українських промислових підприємств [4].

В 2020 р. на Hannover Messe, – найбільшій світовій виставці по Індустрії 4.0, вперше з’явиться національний стенд українських інноваторів Індустрії 4.0. В листопаді 2019 АППАУ виграла грант на його створення й зараз тривають фінальні перемовини з донором. Враховуючи стислі терміни та кількість активностей, що

плануються, вже запущено 1-ий етап проекту – конкурсний відбір учасників національного стенду.

Поява українського стенду на Ганновері активізує всі процеси підготовки та виходу на експорт українських інноваторів 4.0. Серед аргументів – два головні та взаємопов'язані: 1) важко переоцінити роль Ганноверу як „світового чемпіонату“ для учасників промислової цифровізації – виставка є справжнім та природнім акселератором для всіх експортерів в цій області, 2) відсутність України (національного стенду) на виставці багато років підряд автоматично відкидає нас в аутсайдери, й особливо, на фоні сусідніх країн, стенди яких підтримує держава.

Заявка АППАУ, що виграла грант, ставить як головні три наступні цілі проекту:

1. Початкове **формування стратегічних засад експортної стратегії в області Індустрії 4.0**, як позиціонування країни на світовій мапі 4.0. Ці речі допоки відсутні в Україні [4], що є слабким місцем українських інноваторів.
2. **Формування партнерської екосистеми**, здатної підтримати українських інноваторів в ЄС: українські консульства, представників діаспори, медіа, міжнародні бренди, міжнародні агенції розвитку, консультантів, великих підрядників тощо (новачку з маленьким стендом створити власний імідж).
3. **Створення початкової бази контактів та циклу залучення** – ми хочемо мати на виході базу в 1500 контактів та сформувати профіль „національних чемпіонів“ по вибраним технологічним сегментам, які здатні не тільки презентувати себе та країну на міжнародній арені, але також формувати лідерський вплив на розвиток в Україні [38, 47], бо українські розробники в кращому випадку просто слідують за якимись світовими трендами (а в більшості випадків – просто не розбираються в них) й надають свої мізки та людські ресурси для зміцнення чужих інноваційних екосистем.

Отже у 2019 р. АППАУ ввела Індустрію 4.0 як спільну технологічну платформу (коаліційна платформа [Industry4Ukraine](#)) та концепцію для всіх своїх членів, рис. 1.4 [18].

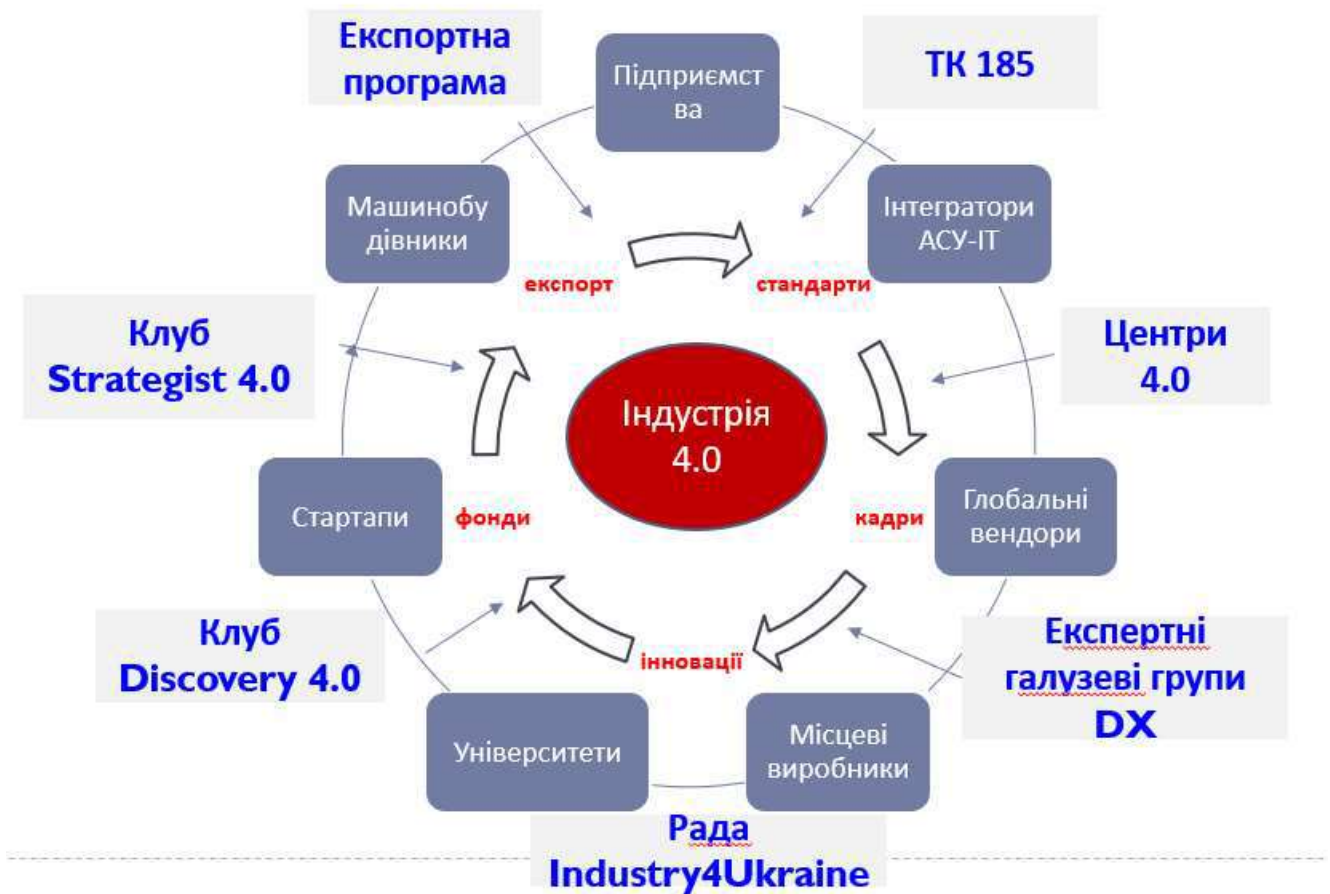


Рис. 1.4 Спільна технологічна платформа та категорії членів АППАУ [18].

Ген. директор АППАУ, координатор руху „Індустрія 4.0 в Україні“ Олександр Юрчак у [18] вказує цілі, які дуже важливо досягти у 2020 р. Це

- реальна інтеграція чисельних напрацювань АППАУ та руху 4.0 в державні програми;
- успішний запуск справжньої експортної програми Індустрії 4.0;
- інтеграція та досягнення кращого синергетичного ефекту з великими компаніями – як українськими холдингами, так і міжнародними брендами;
- просвіта та освіта українського ринку, наших замовників (величезний виклик для всієї спільноти);
- зростання кількості міні-проектів, нових технологій та рішень по чисельним сегментам ринку, а також в створенні екосистем та кластерів на регіональному рівні.

Окрім вже згаданої АППАУ, в Україні діє Технічний комітет 185 „Промислова автоматизація“, створений 30.03.2017 „з метою гармонізації національних стандартів України в сфері промислової автоматизації“ (Наказ ДП „Український науково-

дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості“). АППАУ уповноважена виконувати функції секретаріату і почала висвітлювати роботу комітету, зокрема здійснила низку публікацій щодо європейських стандартів (основні положення), огляд завдань та проблем, та стану з їхнім впровадженням в Україні і досвіду використання [25, 51, 40, 40]. Ці стандарти безпосередньо пов'язані із рухом „Індустрія 4.0 в Україні“. Наприклад, стандарт ІЕС 62264 є основою німецької моделі Industrie 4.0, що у свою чергу є основою цифровізації сучасного виробництва, бо виробниче підприємство може працювати ефективно лише в разі узгодженої роботи всіх складових, а для цього необхідною є саме стандартизація.

Питання для повторення та контролю знань

1. Пояснити яка різниця між термінами «Четверта промислова революція» (технології 4.0) та «Індустрія 4.0» (Industry 4.0).
2. Пояснити, що таке Інтернет речей і його вплив на сфери виробничої діяльності.
3. Цифрова трансформація і дії для її реалізації, її рівні.
4. Технологія поліпшень та інструменти її здійснення.
5. Етапи й порядок дій (основні тренди) розвитку цифрової економіки у промисловості на прикладах.
6. Ключові елементи Індустрії 4.0.
7. Технології 3.0 та 4.0: пояснити зв'язок між ними. Принципи переходу на технології 4.0
8. Потенційна вигода від застосування технологій Індустрії 4.0.
9. Системи штучного інтелекту: сутність, підходи до створення, наслідки використання.
10. Машинне навчання: мета і область застосування.
11. Роботизація розумової праці: сфери застосування, наслідки впровадження RPA-підходу.
12. Наслідки автоматизації та аутсорсінг індустриально розвинених країн Решорінг.
13. Маніфест платформи Industry4Ukraine, базові умови.
14. Стейкхолдери у системній інженерії.

+

2 Реінжиніринг – як шлях технічного оновлення підприємств.

Сучасне наукоємне машинобудування характеризується певною структурою та інфраструктурою, управлінням, використанням і перетинанням різних інформаційних та оброблювальних технологій, утворенням кластерів, взаємозв'язком із світовим машинобудуванням і транснаціональними корпораціями, вимагає високої концентрації інтелектуальних ресурсів, нових знань, системних рішень, інформаційних технологій.

Принциповим є питання, чи можна очікувати істотних змін від впровадження нової технології в існуючий тип виробництва, або на базі нової технології слід формувати принципово інший, новий тип виробництва.

Впровадження нових технологій на промислових підприємствах старої формації, старого укладу, в силу несумісності і невідповідності, може привести до негативного результату і дискримінації самої ідеї інноваційного розвитку. Створення ж принципово нового, що не має аналогів, виробництва, викликає різні побоювання, оскільки пов'язано з численними ризиками і вимагає значних коштів.

Довідка

За М. Портером: „кластер або промислова група – це група сусідніх взаємопов'язаних компаній і пов'язаних з ними організацій, що діють в певній сфері і характеризуються спільністю діяльності та взаємодоповнюють один одного“. У своїй праці він прийшов до однозначного висновку, що при розробці інвестиційної політики перехідні економіки повинні прагнути розвивати взаємозалежні промислові кластери на основі базових і підтримуючих галузей [34].

Організація сучасної харчової промисловості, наприклад, буде залежати від пропозиції продукції аграрного сектора (молока, м'яса, спецій, консервантів і т. д.), адекватного обсягу пакувального обладнання і наявності сучасної системи роздрібної торгівлі. А для процвітання автомобілебудування необхідна підтримка виробництв, які випускають окремі вузли і агрегати (деталі з пластмас, двигуни, акумулятори тощо).

У класичному розумінні „кластер – це сконцентровані за географічною ознакою групи взаємозалежних компаній, спеціалізованих постачальників, постачальників послуг, фірм у відповідних галузях, а також пов’язаних з їх діяльністю організацій (наприклад, університетів, агентств по стандартизації, а також торгових об’єднань) в певних областях, що конкурують, але разом з тим і ведуть спільну роботу“ [31, 38].

Формування ефективних технологічних ланцюжків з кількох самостійних господарюючих суб’єктів є стратегічним заходом, що вимагає певного довгострокового фінансування реалізації. Тільки комплексним підходом можна підвищити промислову конкурентоздатність і домогтися економічного зростання вже в найближчому майбутньому.

Основними інструментами створення підприємств відповідного рівня є інжиніринг та (можливо, навіть в значніший мірі) реінжиніринг і кожен з них вирішує притаманні саме йому задачі.

Інжиніринг – передбачає змінювання з метою поліпшення, відтворення та впровадження у життя технічних, організаційних, фінансово-економічних моделей та об’єктів. Тобто це сукупність дій, пов’язаних із реалізацією проектів різного призначення, зокрема інженерно-консультаційні послуги дослідного, проектно-конструкторського, розрахунково-аналітичного характеру, в тому числі створення техніко-економічних обґрунтувань проектів, вироблення рекомендацій в області організації виробництва і управління, тобто як комплекс комерційних послуг із забезпечення процесів підготовки до виробництва і реалізації продукції [7].

Об’єкти інжинірингу – технологічні системи, закони їхнього створення й розвитку.

Інжинірингові послуги можна поділити на три групи [6, https://www.researchgate.net/publication/310590774_Reinzingering_kak_instrument_modernizacionnoj_strategii_predpriatia]:

1. Послуги з підготовки виробництва:

- передпроектні послуги (соціально-економічні дослідження, вивчення ринку, польові дослідження, топографічна зйомка, дослідження ґрунтів, розвідка

- корисних копалин, підготовка техніко-економічних обґрунтувань і т. п., а також консультації і нагляд за проведенням зазначених робіт);
- проектні послуги (складання генеральних планів та схем, робочих креслень, технічних специфікацій і т. п., а також консультації і нагляд);
 - післяпроектні послуги (підготовка контрактної документації, ведення проекту, нагляд і інспекція за здійсненням робіт, управління будівництвом, приймально-здавальні роботи і т. п.).
2. Послуги з організації процесу виробництва і управління підприємством.
3. Послуги щодо забезпечення реалізації продукції.

Існує три основні методи виконання проекту, відповідно до яких різняться зміст контрактів на надання інжинірингових послуг.

При першому методі велика частина робіт здійснюється персоналом замовника або місцевими фірмами. Зарубіжна інжинірингова фірма виступає зазвичай лише в якості консультанта і не несе відповідальності за здійснення проекту.

Другий метод передбачає виконання іноземною інжиніринговою фірмою більшої частини або всіх інжинірингових послуг і, відповідно, несе відповідальність за виконання проекту.

Третій метод застосовується при будівництві об'єктів „під ключ“, коли інжинірингові послуги надаються генеральним підрядником в якості складової частини всього комплексу послуг. Спеціалізовані інжинірингові фірми можуть залучатися і в якості субпідрядних організацій.

Реінжиніринг – це фундаментальне переосмислення і радикальне перепроєктування ділових процесів для досягнення різких, стрибкоподібних поліпшень головних сучасних показників діяльності компанії – таких як вартість, якість, сервіс і темпи.

Радикальне перепроєктування передбачає докорінне змінювання всієї системи, а не поверхові перетворення. Про різкі (стрибкоподібні) покращення говоримо тому, що реінжиніринг не застосовують, коли треба збільшити показники діяльності компанії на 10 і навіть на 100 % (використовують більш традиційні методи (наприклад, програми підвищення якості тощо). Реінжиніринг доцільно застосовувати, якщо ми чекаємо стрибку

показників діяльності – на 500-1000 %, але треба розуміти, що ступінь ризику при цьому досить значна. Основним засобом замість стратегічного управління є інформаційні технології.

Реінжиніринг потрібен і є доцільним у випадках, коли:

1. Компанія знаходиться не грані краху тому, що ціни на товари відчутно вищі, а якість або сервіс натомість нижче ніж у конкурентів. Якщо ніякі міри не приймаються, компанія невідворотно збанкрутує.
2. Компанія на даний час не має труднощів, але передбачає проблеми, наприклад, у зв'язку з появою на ринку нових конкурентів або продукції, що відповідає жорсткішим вимогам чи є привабливішою на вигляд тощо.
3. Компанії, які не мають проблем ні зараз, ні в близькому майбутньому, але є компаніями-лідерами, проводять активну маркетингову політику та бажають за допомогою реінжинірингу досягти кращих результатів.

Якщо виникає потреба реорганізувати діяльність (здійснити радикальні перетворення, реструктуризацію, змінити структуру управління, використати принципово інший підхід), застосовують реінжиніринг (технологічний чи реінжиніринг бізнес-процесів).

На початковій стадії треба відповісти на основні питання:

Чому компанія робить те, що вона робить?

Чому робить саме таким чином?

Якою хоче стати компанія?

Підприємець приймає рішення, які можуть виявитися правильними й тоді мета буде досягнута, або помилковими. Він користується тією інформацією, яка у нього наявна, а вона може виявитися повною і достовірною, а може несповна відповідати дійсності, до того ж аналіз може бути проведений швидко та якісно або ні. Отож інформація має першочергове значення, а одним з джерел її є розвідка щодо намірів конкурентів та прогнозування їхніх дій (зокрема появу нових інноваційних технологій), вивчення основних тенденцій бізнесу, аналіз можливих ризиків (не лише промислових та технологічних, а і політичних).

Доцільним є застосувати дієвий інструмент для визначення становища компанії порівняно з іншими, подібними за розмірами та/або сферою діяльності, організаціями. Таким інструментом може бути Бенчмаркінг [<https://uk.wikipedia.org/>] – безупинний

систематичний пошук і впровадження найкращих практик, що придатні для вдосконалення організації.



Рис. 2.1. Типи бенчмаркінгу.

Суть бенчмаркінгу в тому, що береться процес, який організований набагато краще, ніж у вашій компанії, проводиться його аналіз, потім робиться порівняння, після якого покращення, що підходять для вашого бізнесу, впроваджуються в нього [<https://staff-capital.com/uk/articles/scho-take-benchmarking.html>]. **Конкурентний бенчмаркінг передбачає порівняння з конкурентами.** Проблема полягає в тому, що досить складно отримати важливі дані про конкурентів, так як вони зазвичай тримають такі речі в секреті. Краще всього вибрати конкурентів, які більш успішні на ринку. Порівнюються підходи до ведення бізнесу чи рішення певних проблем (функціональний бенчмаркінг)

Світ, в якому живуть сучасні підприємці, за останні роки істотно змінився:

1. Споживачі контролюють ринок, мають інформацію щодо продукції та можливість свідомо її обрати.
2. Обирається продукція, яка адаптована до потреб споживача, він отримує її тоді, коли йому зручно (місце і час).
3. Суттєво змінились засоби виробництва (обладнання) й технології, зокрема підґрунтям для багатьох технологій (і не лише обчислювальних) стають технології інформаційні.

Довідка

Сучасні підприємства в значній мірі все ще базуються на принципах, сформульованих Адамом Смітом у його фундаментальній праці „Добробут націй“, опублікованій в 1776 р. Виробничий процес він пропонував розбити на елементарні, прості завдання (роботи), щоб кожне з них міг виконувати один робітник; при цьому від робітника не вимагалось високої кваліфікації та вміння виконувати роботу в цілому, досить, щоб він спеціалізувався на одному або декількох найпростіших завданнях.

Ця ідея легко реалізується, в зв'язку з чим запропоновані принципи були і залишаються вельми успішними в масовому виробництві типової продукції, виконуваної силами великої армії некваліфікованих робітників, що використовують просте обладнання.

Принципи, сформульовані Смітом і революційні для його часу, не відповідають вимогам сучасної індустрії, так як продукція в наш час повинна бути орієнтована в основному на вузькі групи споживачів, виконавці повинні бути добре освічені, не боятися відповідальності і прагнути до вирішення по-справжньому складних завдань; ринок продуктів став набагато ширшим, а конкуренція і боротьба за споживача –агресивнішою.

Конкуренція посилюється, цикл виробництва продукції стає коротшим і всі процеси стрімко змінюються, вузькоспеціалізована робота стала не потрібна. Багатоступінчатий поділ праці вимагає координації всіх етапів виробничого процесу, що призводить до зростання неефективності виробництва: час і сили витрачаються даремно на перевірку роботи інших людей, традиційна ієрархія бізнесу ускладнює контроль якості виробництва. Робочі втрачають контакт зі споживачами, виконують замовлення знеособлено. В цих умовах компанії повинні відмовитися від використовуваних ними організаційних принципів, звичних бюрократичних пірамідальних структур і раціоналізувати та спростити діючі виробничі системи. Як наслідок, менша потреба в контролі, регулюванні, управлінні. Робочі повинні стати самостійнішими і відповідальнішими, а корпоративна структура – більш гнучкою, творчої та новаторською, що неодмінно підвищить продуктивність, і в решті-решт доходи компаній [7].

В епоху постіндустріального бізнесу, в яку ми зараз вступаємо, корпорації будуть утворюватися і розвиватися на основі ідеї реінтеграції (поновлення в об'єднанні) окремих операцій в єдині бізнес-процеси, тобто сукупність операцій, які, взяті разом,

створюють результат, який має цінність для споживача. Конкурентоспроможність і економічна життєстійкість компаній повинна бути заснована на поєднанні нових моделей і практики управління та промислової організації. Як метод відновлення існуючих компаній пропонується реінжиніринг бізнесу.

На жаль, компанії, що вже тривалий час є на ринку, ще використовують застарілі методи керування.

Ефективно керувати сучасним багатомоделюваним виробництвом „вручну“ неможливо, бо неможливо вирішувати всі необхідні задачі прийняття рішень евристичними методами, які є суб’єктивно залежними. Значно ефективнішими є автоматизовані системи керування виробничими процесами на базі інформаційних засобів. Таке керування дозволяє організувати виробництво таким чином, щоб воно відповідало вимогам міжнародних стандартів ISO 9001 і забезпечувало конкурентоздатність. Інформацію щодо стану верстатного парку і об’єктивні дані відносно потреби у ремонті чи заміні верстата надає технічний контролінг виробництва.

Те, що сьогодні розуміють під терміном „цифрова трансформація“ (digital transformation) для підприємства, означає, що цифрові технології не лише суттєво впливають на ефективність його роботи – вони докорінно змінюють його структуру, ділові процеси, принципи організації і методи управління. В підсумку, цифрова трансформація вже сьогодні визначає ринкові перспективи і цінність підприємств на ринках товарів і послуг масового попиту, зокрема й у електронній комерції. В зв’язку з цим для крупних компаній, що потрапили в зону дії цифрової економіки, особливого значення набуває якість і швидкість інформаційно-аналітичного супроводу корпоративного управління.

Передбачають різні версії бізнес-процесів, що є необхідним через ринок, стан якого змінюється. Нові процеси перевіряють стосовно того, яка саме версія найбільш придатна в поточній ситуації.

Щоб мати можливість приймати оптимальні чи, як мінімум, ефективні й доцільні рішення у бізнес-планах та технологічному реінжинірингу для конкретної галузі або

конкретного підприємства, розроблені й використовуються методи аналізу даних, які мають на меті прогнозувати майбутню поведінку об'єктів і суб'єктів. Методи ці об'єднують під назвою **(прогнозної) аналітики** (предикт – набір або послідовність параметрів чи сутностей, які впливають на прогнозовану подію). За допомогою технологій прогнозної аналітики, математичних алгоритмів і нейромереж, статистичних методів, розроблених алгоритмів інтелектуального аналізу даних виявляють приховані закономірності та виконується аналіз даних, що є фундаментом прийняття рішень у бізнес-планах та технологічному реінжинірингу для конкретної галузі або конкретного підприємства. Прогнозування може стосуватися оптимізації бізнес-процесів (і цим займається ряд компаній, наприклад, SoftServe Business Systems, <https://www.softservebs.com/solutions/prediktivnaya-analitika/> – виявлення неявних закономірностей; виконання сегментації товарів; здійснення ранжування клієнтів; побудову багатофакторного прогнозу продаж в довгостроковому і короткостроковому періодах; можливість побудови декількох моделей розвитку подій; пошук цільової аудиторії; побудови прогнозу змін в клієнтській базі; аналіз впливу різноманітних факторів, переважно ключових, на продажі з наступним прогнозуванням майбутнього впливу; побудова множини моделей прогнозу „що якщо“/„what if“; розрахунок впливу конкурентів на ціноутворення; прогнозування еластичності цін; аналітика промо-продаж; пошук маніпуляцій; прогнозування попиту в різних часових рамках; прогнозування виникнення нових товарних позицій; врахування сезонності, температурних режимів, погодних умов; врахування товарного заміщення, ефективності рекламного контенту). Прогнозна аналітика здатна з великим рівнем вірогідності оцінити потенціал будь-якого стартапу.

Предикативна аналітика зараз стала доступним інструментом для різного рівня бізнесу, забезпечуючи потреби бізнесу точним і цінним прогнозом. Це стосується й технологічного реінжинірингу.

Переваги й можливості предикативної (передбачувальної) аналітики:

- зниження ризиків;
- оптимізація ресурсів;

- підвищення ефективності компанії в умовах, коли інші учасники ринку терплять кризу або просто стабілізація ситуації в компанії;
- збільшення прибутку за рахунок максимального задоволення потреб клієнтів; підвищення конкурентоспроможності;
- оптимізація операційної діяльності;
- поліпшення і спрощення процесу прийняття рішень.

Один з недоліків предикативної аналітики – недостатнє врахування якісних змінювань, що відбуваються із об'єктами і суб'єктами, бо розрахункові характеристики отримані кількісно-імовірнісними методами. Взагалі предикативна аналітика передбачає обробку значних масивів даних, тобто вимагає відповідних інформаційних ресурсів та програмного забезпечення. Її основою є автоматичний пошук закономірностей, взаємозв'язків, аномалій між різними факторами. Вона дозволяє спрогнозувати значну кількість варіантів подій, тож можна мати кілька варіантів реагування залежно від умов, які змінюються. На основі виявлених закономірностей виконують прогнозне моделювання майбутніх процесів з використанням структурованих та неструктурованих даних.

Джерелами структурованих даних можуть бути, наприклад, будь-які довідкові бази даних, корпоративні транзакційні системи і інші дані, що мають чітку структуру. Неструктуровані (або слабоструктуровані) дані — дані, які нам принесла, в значній мірі, цифрова економіка. Вони не мають наперед визначеної структури, або вона не організована в установленому порядку. Типовий приклад таких даних – текстові дані соціальних медіа-контентів, які витягуються з використанням семантичного аналізу, що враховує емоційну складову, а потім використовуються в процесі побудови моделі.

Промисловість має свою специфіку. На особливості збирання інформації та обробку даних у промисловості впливає багато факторів. Наприклад, умови розташування датчиків вимагають постійного контролю, екстрена зупинка на ремонт зумовлює змінювання об'єму виходу готового продукту, тощо.

Щоб предикативний аналіз був успішним, рекомендується чітко дотримуватися наступних стадій:

- вибір цільових параметрів/подій;
- отримання даних з різних джерел;
- підготовка даних;
- створення предикативної моделі;
- оцінка моделі;
- впровадження моделі;
- моніторинг ефективності і постійне уточнення й добудова моделі.

Повністю універсальних моделей на ринку не існує, часто застосовують комбінацію моделей з орієнтацією на досвід подібних рішень у всьому світі. Орієнтовні терміни пілотного проекту складають 3-5 місяців:

- 2 тижні первинних зустрічей, формування цільових функцій;
- 1-2 місяці на підготовку первинних даних і формулювання критеріїв успішності проекту;
- 1-2 місяці на побудову моделі;
- 2 тижні на проведення випробувань, аналіз результату замовником.

Методи предикативної аналітики давно реалізовані у вигляді класів, функцій і алгоритмів. Для застосування на практиці таких методів можна не витратити час на програмування, а використовувати готові класи.

Серед наявних на ринку програмно-інструментальних засобів для предикативного аналізу, зокрема MATLAB та STATISTICA, слід відзначити окремо локалізовану в „хмарі“ IBM Planning Analytics, яка не потребує розгортання спеціальної ІТ-інфраструктури у замовника і зменшує його витрати, а також лідируючу хмарну платформу IBM Watson, яка є когнітивною системою, що здатна розуміти, робити висновки і вчитися. В даний час IBM Watson, в якій використані сучасні досягнення в області програмування, є когнітивною хмарною API-платформою, відкритою для розробок різних додатків, сервісів і процесів, в основі яких лежать більше за 50 різних технологій. За оцінкою IDC до 2019 року майже половина ІТ-бюджетів корпоративних структур буде приходиться саме на хмарну інфраструктуру.

Технологічне обладнання належить до складних динамічних систем (так само як, наприклад, і складні соціально-економічні системи). Умовою ефективності предикативного

моделювання подібних систем є визначення кількісних та якісних закономірностей, що притаманні цим системам (зауважте, для різних систем одного типу – різних закономірностей). Складність задачі посилюється тим, що вказані системи належать до слабоструктурованих, тобто отримати додаткові відомості про них можна лише із залученням експертів або будь-яких фахівців, що одразу вносить суб'єктивний фактор. Саме тому застосовують не окремі математичні методи, а комплекси когнітивних мереж та гібридні моделі з використанням теорії нечітких ігор, нечітких множин, нечіткої логіки, нейронні мережі, тощо [11].

Довідка

Когнітивна система, когнітивна структура (от лат. cognitio „пізнання“) – система пізнання (людини), що склалася в його свідомості в результаті становлення його характеру, виховання, навчання, спостереження і роздумів про навколишній світ. На основі цієї системи ставляться цілі і приймаються рішення про те, як треба діяти в тій чи іншій ситуації, щоб уникнути когнітивного дисонансу. В основі когнітивної системи лежить взаємодія мислення, свідомості, пам'яті і мови; носієм такої системи є мозок (людини).

Виділяють також штучні когнітивні системи (тобто небіологічні), властиві машинам з ознаками штучного інтелекту, що має когнітивну функцію, під якою розуміють „здатність зв'язувати події у часі, будувати інтерактивні просторово-часові моделі подій“.

Когнітивне моделювання – визначення, в тому числі із застосуванням комп'ютера, найбільш ефективних управлінських рішень і/або сценаріїв розвитку подій на основі виділення факторів, які кількісно і якісно характеризують ситуацію, що складається, а також оцінки взаємовпливу цих факторів. Як правило, когнітивне моделювання здійснюється в команді людей (керівників, менеджерів, експертів), що відповідають за розвиток деякої структури).

В останнє десятиріччя у вивченні складних систем були досягнуті значні успіхи завдяки застосуванню мережевого підходу. Вузлами відповідних мереж

беруться елементи модельованих складних систем, а зв'язки між вузлами описують взаємодію між елементами

Наприклад, аварійні ситуації через відмови обладнання порушують штатний режим роботи енергетичного устаткування. Сучасне рішення попередження подібних проблем – інтеграція системи віддаленого моніторингу та прогностики. Цифрова модель виробництва дозволяє виявити оптимальні параметри, за яких продуктивність буде максимальною і при цьому мінімізовані ризики, зокрема зупинки процесів, що відбуваються. Результат – підвищення безвідмовності роботи й економічна вигода за рахунок скорочення позапланових простоїв обладнання.

[<https://cyberleninka.ru/article/n/pervyy-v-rossii-kompleks-prediktivnoy-analitiki-dlya-energeticheskogo-i-promyshlennogo-oborudovaniya>].

Довідка

[7, <http://www.elitarium.ru/reinzhiniring-biznes-process-kompanija-sotrudniki-rukovodstvo-izmeneniya/>]

На процес реінжинірингу впливають такі фактори:

- 1. Мотивація проекту – ясно визначена й зафіксована, розуміння того, що результат викличе зміни в структурі компанії. Впевненість у необхідності реінжинірингу.*
- 2. Керівництво. Проект повинен виконуватися під керуванням керівників компанії; керівник, який очолює проект реінжинірингу, повинен мати великий авторитет і нести за нього відповідальність.*
- 3. Співробітники – повинні мати відповідні повноваження і здатні створити атмосферу співробітництва, розуміти проблеми, які заважають бізнесу, Досвід показує, що відносно просто пояснити новий спосіб роботи персоналу нижнього рівня, але людям, які займають посади менеджерів, набагато важче зрозуміти те, що пропонує нова компанія. Група, на яку слід звернути особливу увагу – менеджери середнього рівня. Американський дослідник Б. Віллох визначає три категорії менеджерів такого рівня:*

- „тигри“ – молоді кар’єристи, які хоча і беруть участь в проекті з реінжинірингу з ентузіазмом, мають тенденцію концентруватися на власних завданнях на шкоду загальним цілям проекту;
- „віслюки“ – найстаріші співробітники, які досягли піку кар’єри, які хочуть спокою і стабільності в компанії; вони можуть серйозно зашкодити проекту;
- „акули“ – співробітники, які розробили процедури та інструкції для керування операціями компанії; вони часто мають реальну силу в компанії і можуть створити величезні проблеми, саботуючи реальні зміни в житті компанії.

4. *Комунікації*: нові завдання компанії чітко сформульовані і зрозумілі кожному співробітнику

5. *Бюджет*. Проект повинен мати свій бюджет, особливо якщо планується інтенсивне використання ІТ. Часто помилково вважають, що реінжиніринг можливий на умовах самофінансування. Тому реінжиніринг потрібно розглядати як венчурний по характеру проект.

6. *Технологічна підтримка*. Для проведення робіт з реінжинірингу необхідна підтримка – відповідні методики та інструментальні засоби. Реінжиніринг зазвичай включає в себе побудову інформаційної системи для підтримки нового бізнесу.

7. *Консультації*. Експерти (консультанти) можуть надати істотну допомогу виконавцям, але вони повинні виконувати підтримуючу, а не керуючу роль, і не входити в штат компанії. Тому керівник проекту реінжинірингу повинен бути грамотним замовником послуг консультантів.

В [7] названо як типові помилки при здійсненні реінжинірингу наступне:

1. Для більшості компаній основною причиною невдач реінжинірингу є прагнення до часткових поліпшень замість радикальної перебудови процесів. Це найгрубіша помилка, хоча досить поширена. Не досягнувши бажаних результатів, фахівці все одно уникають радикальної перебудови процесів, починають застосовувати різноманітні методики, спрямовані на поліпшення діяльності компанії, але, як правило, результати їх не задовольняють. Консерватизм пояснюється тим, що існуючі процеси зрозумілі і підтримуються відповідною інфраструктурою. Тому здається,

що часткове поліпшення старих процесів – найбільш безболісний і безпечний шлях.

2. Несистемний підхід до оновлення. Компанії концентруються тільки на перепроєктуванні процесів, все інше ігнорують. Реінжиніринг викликає значні зміни в таких областях як проектування робіт, організаційні структури, системи управління та оцінювання.

3. Неправильна оцінка рівня корпоративної культури компанії. Для того щоб персонал успішно виконував перепроєктування процесів, він повинен мати спонукальні причини, причому не досить просто визначити новий процес, необхідно, щоб менеджери сформували і провели в життя нові системи цінностей і переконань. Прийняті в компанії принципи управління в певних випадках можуть не дозволити навіть почати реінжиніринг. Наприклад, демократичний досвід управління прийде в протиріччя з адміністративними методами реінжинірингу, які властиві природі перебудови управління фірмою.

4. Непослідовність освоєння новації. Полягає в передчасному завершенні реінжинірингу і обмеженій постановці завдання. Значні результати досягаються тільки при великих амбіціях керівництва компанії. Недоцільно спокушатися підвищенням ефективності роботи на 10-20 % без великих витрат і без перебудови, властивої реінжинірингу. Однак легкість ця уявна: удосконалення, як правило, ускладнюють існуючий процес, а їх нашарування роблять його малозрозумілим.

Досвід показує, що дуже часто компанії відмовляються від реінжинірингу при появі перших труднощів або, навпаки, згортають діяльність з реінжинірингу при досягненні перших успіхів.

Реінжиніринг буде неефективним, якщо область його дії обмежена або завдання поставлене занадто вузько. Реінжиніринг починається з визначення цілей, які повинні бути досягнуті, а не способів їх досягнення. Компанія визначає, який процес вона хоче перебудувати. Однак як тільки реінжиніринг починається, замість всього процесу розглядається лише якийсь його фрагмент, оскільки існуючі організаційні кордони не дозволяють охопити весь процес. Необхідно пам'ятати, що завдання реінжинірингу – не зміцнювати, а руйнувати існуючі організаційні кордони.

5. Нераціональний розподіл завдань з освоєння інновацій. Спроби здійснити реінжиніринг не зверху вниз, а знизу вгору, але його не можуть успішно завершити

менеджери нижнього і середнього рівня:

- менеджери цих рівнів не мають тієї широти поглядів на діяльність компанії, яка необхідна для реінжинірингу. Їхній досвід в основному обмежується знанням функцій, які вони виконують у своєму підрозділі. Вони, як правило, краще за інших розуміють вузькі проблеми свого підрозділу, але їм важко побачити процес в цілому і розпізнати його слабкі сторони. Менеджери середнього та нижнього рівня успішно здійснюють часткові поліпшення, але не реінжиніринг.
- бізнес-процеси неминуче перетинають організаційні кордони, тобто кордони підрозділів, тому менеджери нижнього і середнього рівня не мають достатнього авторитету для того, щоб наполягати на трансформації процесів. Менеджери середнього рівня зазвичай багато вкладають в існуючий спосіб виконання процесу, і їхнє майбутнє, викликане перебудовою процесу, може виявитися неочевидним. З цих причин менеджери середнього і нижнього рівня можуть не тільки не сприяти реінжинірингу, а й перешкоджати йому.

6. Недостатнє ресурсне забезпечення інновації. Істотне підвищення ефективності діяльності компанії, що є наслідком реінжинірингу, неможливе без значних інвестицій в програму його проведення.

Реінжиніринг не повинен проводитися на тлі інших програм і заходів. Якщо керівництво компанії не приділяє реінжинірингу основну увагу, то він приречений на невдачу. Компанія не повинна одночасно здійснювати реінжиніринг великої кількості процесів.

7. Планування моменту початку мотивації. Шанси на успішний реінжиніринг помітно знижуються, якщо відомо, що виконавчий директор компанії через рік або два йде у відставку (може не захотіти взяти на себе зобов'язання, які будуть обмежувати його наступника, спокуса більше піклуватися про особисті показники, а не про колективну роботу по успішному завершенню реінжинірингу).

8. Особистісні проблеми оновлення. Спроба провести реінжиніринг так, щоб догодити всім і не обмежити нічийх прав, не може привести до позитивного результату. В результаті його проведення одним співробітникам доводиться змінювати характер роботи, інші можуть її втратити, треті будуть відчувати себе некомфортно. Протидія

– це природна реакція на зміни, але не слід розглядати опір як першопричину невдач реінжинірингу, скоріш за все помилки причина в управлінні, яке не передбачило і не врахувало неминучий опір перетворенням.

Особливості формування проектів технологічного реінжинірингу

Сплановані дії по досягненню цілей компанії становлять собою **бізнес-план** (бізнес-процес) і являють низку кроків підприємства, що закінчуються створенням продукції, яка потрібна споживачу.

При розробці бізнес-плану реінжинірингу виконують кілька етапів:

1. Розробка картини майбутнього бізнесу (бачення майбутньої компанії), тобто того, як треба побудувати бізнес щоб досягти стратегічних цілей.
2. Аналіз існуючого бізнесу, тобто дослідження компанії та складання схем її роботи.
3. Розробка нового бізнесу: змінюють використовувані процеси чи створюють нові та змінюють чи створюють відповідні інформаційні системи, перевіряють отримані нові процеси (тестування).
4. Впровадження проекту нового бізнесу.

Такий самий план (тобто ті самі етапи) застосовують при технологічному реінжинірингу. Вказані етапи не обов'язково виконувати послідовно, можливе частково паралельне виконання з повторенням окремих етапів.

Проект технологічного реінжинірингу виробничих процесів призначений для здійснення корінних перетворень технологічної основи конкретного підприємства, тому його особливості залежать від чинного технічного рівня поставлених завдань. Кожне підприємство має свої індивідуальні відмінності. Це відноситься до обладнання, застосовуваних технологій, кадрового та інтелектуального потенціалу, менеджменту, умов роботи на ринку і т. д.

Етапи технологічного реінжинірингу:

1. Розробка бачення майбутньої компанії, здатної вбудуватися в конфігурацію міжнародних виробничих зв'язків. Визначається потреба в ресурсах відповідно до обраної стратегії і здійснюється розробка інноваційно-інвестиційної політики.

Образ майбутньої компанії повинен логічно вписуватися в умови кластеру і своє ринкове оточення і враховувати можливі коопераційні зв'язки, заздалегідь закладаючи передумови забезпечення міжгалузевого співробітництва та формування регіональних міжгалузевих зв'язків.

2. Проведення технологічного аудиту та аналіз бізнес-процесів. Технологічний аудит дозволяє оцінити реальний стан виробничої бази підприємства та її відповідність баченню майбутньої компанії. Аналіз бізнес-процесів повинен представити узагальнену картину особливостей організації виробництва і виявити структурні диспропорції.

3. Розробка структури, наближеної до бачення майбутньої компанії. Проектована структура повинна бути адаптована до умов роботи майбутньої компанії, мати всебічну інформацію про реальне позиціонування підприємства в ринковому оточенні, ресурсне забезпечення, потенційних партнерів і конкурентів. На цьому етапі здійснюється відбір фахівців, які будуть займатися реалізацією проекту технологічного реінжинірингу.

4. Розробка технологічної основи майбутньої компанії відповідно до бачення. Для цього на підприємстві створюється спеціальна структура, яка розроблює довгострокову технічну політику підприємства згідно очікуваних технологічних інновацій. в ринковому оточенні, включаючи (ІТ). На цьому етапі важливу роль відіграють інформаційні технології і мережа трансферу технологій, що дозволяють отримати об'єктивну інформацію щодо необхідного верстатного обладнання та відповідної інфраструктури. Технологічна основа формується згідно загальних технологічних платформ кластерів і є перепроєктуванням технологічних, виробничих і ділових процесів на діючому промисловому підприємстві з метою забезпечити поточні і перспективні ринкові переваги компанії.

Проект повинен мати свій бюджет, особливо якщо планується інтенсивне використання інформаційних технологій. Часто помилково вважають, що реінжиніринг можливий на умовах самофінансування. На думку фахівців, реінжиніринг потрібно розглядати як венчурний проект.

Довідка

венчурний бізнес (от англ. venture — ризикований [35]) – ризикований науково-технічний чи технологічний бізнес. Венчурний бізнес є похідним від науки, фундаментальної та прикладної, і з'явився на світ як вимога економічного розвитку в якості відсутньої ланки між наукою і виробництвом.

У країнах, що розвиваються створювався державний фонд. Він здійснював інвестиції в приватні венчурні фонди. Останні здійснювали інвестиції в венчурні проекти. В якості співвласників в приватні фонди за рахунок пільгового фінансування залучалися венчурні підприємці з передових країн. На відміну від класичних інвестицій (які передбачають повернення коштів), в модель венчурного фінансування закладена висока ймовірність втрати вкладів в кожну конкретну компанію. При цьому прибутковість досягається за рахунок високої віддачі від найбільш вдалих вкладень. Венчурний капітал, як правило, асоціюється з інноваційними компаніями.

Для більшості компаній основною причиною невдач реінжинірингу є прагнення до часткових покращень замість радикальної перебудови процесів. Саме цим шляхом пройшли практично усі машинобудівні підприємства, створюючи і захищаючи програми реструктуризації на початку 2000-х років.

Об'єктом нашого зацікавлення є не просто модернізація виробництва, а створення сучасного автоматизованого виробництва з широким використанням інновацій та інформаційних технологій.

При впровадженні автоматизації враховують тенденції розвитку підприємств:

- Мала серійність виробництва (часте змінювання номенклатури продукції) передбачає забезпечення реконфігурованості обладнання і виробництва в цілому.
- Комплексність технічних рішень, тобто не локальні рішення щодо заміни застарілого обладнання (кілька одиниць – 1-3), а організація заміни обладнання окремих ділянок (5-20 одиниць).
- Широке впровадження наукоємних технологій (технологія обробки + сучасне обладнання і оснащення + інструмент = гарантовані висока якість, енергоефективність, ресурсозбереження).
- Запровадження мехатронних систем, що забезпечує багатофункціональність і

компактність обладнання при одночасному підвищенні якості обробки та .

- Створення організацій, що надаватимуть експертно-інженерні послуги (технологічне обґрунтування проектних рішень модернізації, промисловий маркетинг, оцінка інвестиційних ризиків у реінжиніринг підприємств тощо).
- Оновлення й модернізація виробничих інфраструктур машинобудівного і військово-промислового комплексу (портфель замовлень, цільові програми, (зокрема за бюджетні інвестиції))
- Компактність виробничої структури і глобалізовані коопераційні зв'язки підприємств.

Реалізація технічної сторони автоматизації принципова ясна – роботизація технологічних процесів, мехатронізація верстатних обробних комплексів, комп'ютеризація управління і засоби контролінгу основних і допоміжних засобів оснащення виробництв у всіх переділах машинобудування (заготівельних, обробних, складальних, засобів тестування, логістичних). Інформатизація технічної підготовки виробництва та управління виробничими та бізнес-процесами здійснюється на основі сучасних комп'ютерних засобів і спеціалізованих ІТ-технологій.

Одна з проблем створення автоматизованого виробництва – формування планів технічного переозброєння підприємств з оновленням верстатного парку (під інвестиції різного статусу, найчастіше державні і приватні ресурси). Для вирішення цієї проблеми застосовують наукоємні методики проведення технологічного аудиту, експертних оцінок, техніко-економічного обґрунтування нововведень та стратегічного аналізу. Витрати на цій стадії відносно невеликі, але ризики й ціна помилок високі, бо закладається майбутня структура виробництва на значний час, її конкурентоздатність і визначаються параметри інвестицій. На цій стадії інформаційні технології грають одну з головних ролей, бо лише такі засоби дозволяють отримати „прозорий“ план технічного переозброєння підприємства, який підтверджено „портфелем замовлень“, що є залежним від держзамовлень, ринкової кон'юнктури та прогнозів. Використовують, зокрема, імітаційне моделювання виробничих процесів підприємства.

Досвід показує, що формування таких планів не доцільно доручати своїм фахівцям, що перебувають у полоні стереотипів, які сформувалися за час роботи на даному

підприємстві, до того може додатися недостатнє володіння системними знаннями та спеціальними методиками сучасного реінжинірингу для пошуку оптимального варіанту. Як наслідок, можемо отримати модернізацію часткову, яка стосується окремих локальних проблем і пропонує фрагментарний розв'язок. При тому причиною не є навіть обмеженість коштів. Реновація верстатного парку визначає основні напрямки оновлення підприємства і саме вона є найбільш ресурсо- і наукоємною задачею. План технічного переозброєння охоплює не лише суто виробничі процеси, а й інші види діяльності підприємства (рис. 2.2, [29]).

Підприємства купують вартісне закордонне обладнання, але воно використовується неефективно чи не за цільовим призначенням, тобто даремно витрачають неабиякі гроші. Створюють технопарки, які практично не функціонують чи в крайньому разі не так, як планувалося. Тобто цілком зрозуміло, що модернізація підприємств повинна бути плановою, системною, інноваційною і, безперечно, з обов'язковим впровадженням. При вдосконаленні бізнесу основний засіб – стратегічне керування і початковою точкою є існуючий процес, а при реінжинірингу – інформаційні технології, початкова точка відсутня (розробка з „чистого аркушу“). Мало придбати потрібну техніку, її треба впровадити у виробництво, забезпечити засобами автоматизації та відповідними кадрами, інженерно-сервісним обслуговуванням тощо. Цього досягти можна єдиним шляхом – формувати об'єктивні інноваційні плани технічного переозброєння або проекти модернізації для високотехнологічних підприємств з використанням послуг експертно-інжинірингових компаній, які вже з'явилися на ринку України, але наявний дефіцит досвідчених інженерних кадрів, зокрема, експертів-технологів, які здатні розроблювати проекти технологічного реінжинірингу. Обладнання постачають дистриб'ютори, які можуть виконати лише окремі розробки (так звана „лоскутна“ (рос.) модернізація) Має значення також наявність незалежної експертизи і аудиту. Лунають пропозиції щодо створення спеціалізованої експертної структури для моніторингу, аудиту і експертизи ключових підприємств.



Первична господарча діяльність

Стратегічні фактори успіху	Оцінка									
	погано			посередньо				добре		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Постачання										
2. Виробництво										
3. Збут										
4. Фінанси										
5. Персонал										
6. Технології										
7. Інформаційна										
8. Організаційна										
9. Культура										
10. Маркетинг										

Позначено: — — власне підприємство; # ---- # – основний конкурент.

Рис. 2.2. Перелік напрямків діяльності підприємства, які визначають комплексне планування його технологічного переозброєння [29].

Однією з умов ефективного технічного переозброєння є системоутворююча роль держави, що, на жаль, відсутнє в Україні. Наслідок – безсистемність.

Виробничий аудит та інженерна експертиза з імітаційним моделюванням логістичних потоків відповідають на питання:

Які верстати підлягають заміні в першу чергу?

- Яка значимість конкретного верстатомісця в виробничих потоках підприємства?*
- За якими критеріями потрібно оцінювати пріоритетність заміни обладнання?*
- Як „розширити“ вузьке місце в виробництві?*
- Який рівень автоматизації виробництва застосувати?*
- Як спланувати за термінами заміну верстатів, щоб не лише мінімізувати втрати, але й зберегти на період реновації ефективність виробництва?*
- Наскільки ефективно використані інвестиції на оновлення верстатного парку?*
- Як скласти обґрунтований план технічного переозброєння?*
- Хто має право і здатен об'єктивно підготувати бізнес-план реінжинірингу під інвестиції, що надаються державою?*

Для розробки плану технічного переозброєння необхідно виконати низку експрес-проектів: маркетинговий, інжиніринговий, експертний. Експертна оцінка діяльності підприємства і пов'язаної із ним інфраструктури надають дані для імітаційного моделювання [30] виробничих процесів та відповідних взаємозв'язків, яке дозволяє оцінити вплив вхідних параметрів виробництва на його вихідні показники. Перш ніж приймати рішення щодо оновлення верстатного парку, треба подбати про правильну організацію інфраструктури і керування підприємством, перш ніж обирати верстати та інше обладнання, треба зайнятися технологією виробництва. Така низка задач потребує підготовки кадрів на основі креативних освітніх технологій із спеціалізованими практиками і тренінгами, що поки що відсутнє в Україні.

Питання для повторення та контролю знань

1. Інжиніринг. Типи інжинірингових послуги. Методи виконання інжинірингового проекту.
2. Реінжиніринг: умови доцільності, методи (зокрема, бенчмаркінг).
3. Ознаки постіндустріального бізнесу.
4. Технологічний реінжиніринг.
5. Питання, які розглядає виробничий аудит
6. Тенденції розвитку підприємства, що їх враховують при впровадженні автоматизації.
7. Напрямки діяльності підприємства, які визначають комплексне планування його технологічного переозброєння.:

8. Предикативна аналітика: сутність, переваги й можливості, недоліки, стадії виконання, застосування Когнітивне моделювання.
9. Фактори, які впливають на процес реінжинірингу, типові помилки.
10. Етапи технологічного реінжинірингу.
11. Тенденції розвитку підприємств, які враховують при впровадженні автоматизації

3 Основні принципи побудови технологічних процесів АВС

В основі створення автоматизованих систем виробництва лежать технологічні процеси, які повинні забезпечити ефективність виробництва: високу продуктивність, задану якість, надійність. Тобто заздалегідь передбачається впровадження прогресивних високопродуктивних способів обробки й складання, бо саме на базі цих процесів здійснюється проектування автоматизованих технологічних процесів (ТП).

Під розробкою технологічного процесу мають на увазі вибір його структури (метод отримання заготовки, технологічні бази та послідовність обробки поверхонь, склад технологічного обладнання), параметрів обробки (режим обробки, розміри для налагодження, періодів стійкості інструментів тощо). З точки зору вибору обладнання нас цікавить структура технологічного процесу. Критерієм при порівнюванні варіантів технологічних процесів є вартість виготовлення деталі (у сукупності, а не окремо заготовки, окремо обробки).

Особливість розробки ТП автоматизованого виробництва:

- всі операції виконуються в межах однієї АВС (напівфабрикати не передаються в інші підрозділи, тобто передбачається обладнання із широкими технологічними можливостями);

- всі елементи розглядають комплексно – завантаження-вивантаження виробів, їхнє базування й закріплення, обробку (не лише механічну, але й обробку тиском, термообробку, складання тощо), контроль, міжопераційне транспортування й складування та ін.

Особливість ТП автоматизованого виробництва та складання – два класи процесів:

а) – перший клас – безпосередньо обробка й складання, для яких необхідно забезпечити строгу взаємну орієнтацію деталей і інструменту під час робочого процесу;

б) – другий клас – види обробки, які не вимагають строгої орієнтації деталі (термообробка, сушка, окраска та ін.)

- вимоги до гнучкості й автоматизації вимагають аналізу об'єкта виробництва, комплексної розробки маршрутної і операційної технології і доведення до рівня підготовки керуючих програм для обладнання (гнучкість виробництва забезпечується груповою технологією);

- широка номенклатура виробів зумовлює багатоваріантність рішень, вимагає раціонального поєднання типових і індивідуальних рішень, умова ефективності – створювати й використовувати відповідні бази даних і застосовувати інформаційні технології (подібні бази даних створюють завдяки стандартизації та уніфікації виробів, обладнання і самих технологічних процесів).

Необхідні умови для забезпечення виконання всіх операцій в межах однієї АВС:

- забезпечення технологічності виробів, розробка уніфікованих методів обробки й контролю;

- типове обладнання із збільшеними технологічними можливостями;

- максимально можливе поєднання операцій для зменшення їхньої кількості та зменшення переустановлень при обробці;

- принцип „малолюдної“ технології: автоматизація в межах всього циклу обробки, тобто стабілізація відхилень вхідних технологічних параметрів (заготовок, інструментів, верстатів, оснащення), використання гнучких адаптивних систем керування ТП;

- розробка ТП, які не потребують додаткового налагоджування на робочих позиціях;

- застосування так званої активно-керованої технології, тобто такої, що корегується на основі робочої інформації про хід ТП. Корегувати можливо як технологічні параметри, що сформовані при підготовці програми керування, так і вихідні параметри технологічної підготовки виробництва (ТПП);

Для реалізації треба мати алгоритми адаптивного керування ТП, методи статистичної корекції бази даних, на основі яких створюють АВС, які самонавчаються.

- принцип оптимальності передбачає прийняття рішень на кожному етапі ТПП і керування ТП за спільним критерієм оптимальності, що дозволяє отримати і реалізувати на всіх етапах найбільш ефективно, однозначне і взаємопов'язане рішення;

Слід згадати як ознаки також інформаційну забезпеченість, безпаперову документацію тощо.

Часто на виготовлення деталі витрачається час, що значно перевищує час фактичної обробки. В середньому 90-95 % від часу виробництва припадає на безрезультатне „вилежування“ деталі у цеху, 25-30 % загальної вартості виробництва припадає саме на це. За умови скорочення даремного часу „вилежування“ на 20 % скорочується час виробництва на 18 % без того, щоб зробити більш жорсткими норми обробки на верстатах [2]. Для скорочення марного часу у механічному цеху існують наступні шляхи:

- обґрунтоване встановлення пріоритетності проходження деталей при обробці;
- групування заказів чи деталей (за можливості).

У звичайному цеху приблизно 20 % заказів утворюють 80 % проблем у керуванні, тому раціональним є вилучити „безпроблемні“ деталі та виготовити їх за груповою технологією. Але для цього треба мати досить гнучке обладнання і пристосування.

Розрізняють

- **типові ТП** об'єднують схожі за конфігурацією й технологічним особливостям групи деталей, основою типізації є правила обробки окремих елементарних поверхонь і правила черговості обробки цих поверхонь, тобто виготовлення за однаковими ТП, які є сучасними й забезпечують найвищі продуктивність, економічність та якість. Типові ТП застосовують у великосерійному й масовому виробництвах;

В типізації існують три напрями:

- сам ТП є основою класифікації, тобто без зв'язку з виробництвом;
- типізація на основі класифікації деталей, тобто для реальних деталей;
- комбінована типізація, яка передбачає коригування типових ТП для конкретних деталей, призводить в окремих випадках до змінювання конструкції деталей.

Типові ТП розроблюють для конкретних виробничих умов (оперативні типові ТП) та для перспективного розвитку виробництва (перспективні типові ТП). Типові ТП дозволяють уникнути розробок, які повторюються, при розробці робочих ТП. Ефективно при створенні баз даних та використанні інформаційних технологій.

- **групові технології** об'єднують деталі у групи за спільними ознаками (рос. – общность) оброблюваних поверхонь та їхніх поєднань (рос. – сочетаний), тобто за спільністю використовуваного обладнання, тобто у групу можуть входити заготовки

різної конфігурації і навіть різних типів. Поняття групи є ширшим за поняття типу (який використовують для типових технологічних процесів), тому групові методи обробки використовують для обробки широкої номенклатури деталей, тобто для дрібно- і середньосерійного виробництва.

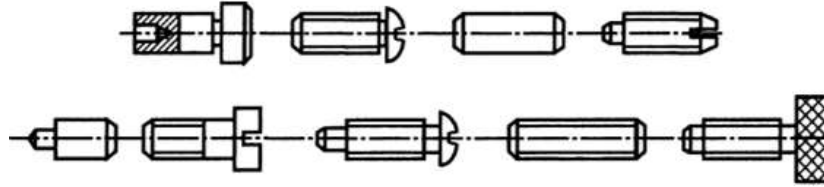


Рис. 3.1. Приклади деталей, що обробляються по одному груповому ГП [1].

Застосування групової технології доцільно на підприємствах, що мають у програмі більш за 1000 деталей, які оброблюються малими партіями, які повторюються. Час обробки може скоротитися до 3-5 днів замість 60. За досвідом розвинутих країн, впровадження групової технології вимагає 3-х місяців. У одиничному та дрібносерійному виробництві у групи об'єднують до 60-80 деталей [2].

Деталі класифікують за комбінацією поверхонь, наприклад, вали з комбінацією гладких циліндричних поверхонь, певними габаритними розмірами (близькі за розміром деталі можна оброблювати на одному й тому ж обладнанні у одних і тих самих чи однотипних пристосуваннях), враховують точність, шорсткість, однорідність матеріалу тощо.

При класифікації деталей по групах їх кодують (застосовують цифри, букви, їхні комбінації). Код складається з 5-12 знаків, а при введенні до коду конструктивних особливостей та матеріалу – до 30-ти і більше.

В кожній групі за критерієм максимуму операцій обирають типового представника, штучно додають поверхні, які можуть бути у простіших деталей, а у типової відсутні (тобто створюють комплексну деталь), і здійснюють орієнтовне нормування операцій та розрахунок завантаженості верстата по кожній з операцій на групу виробів з врахуванням річного випуску.

Зараз групові процеси розроблюють для обробки на токарних автоматах, агрегатних та багатоопераційних верстатах (обробних центрах).

Групові технології підвищують ефективність не лише виробництва, але й конструювання. Наприклад, легше знайти креслення подібної деталі за наявності

кодування, яке містить конструктивні ознаки (зараз часто скоріше спроектувати нову деталь, ніж знайти подібну в архівах).

Групова технологія дозволяє:

- скоротити час налагодження верстатів та загальний час виробництва, обсяг паперових робіт;
- скоротити обсяг незавершеного виробництва та запаси на складі, строки доставки заказів замовнику;
- підвищити коефіцієнт використання верстатів, ефективність керування виробництвом та його гнучкість;
- покращити умови праці, культуру виробництва;
- ефективніше використовувати робочу силу та виконувати проектні роботи із застосуванням типових рішень;
- ефективніше використовувати капітальні вклади.

Типізація ТП і групова технологія – основні шляхи уніфікації технологій, що підвищує ефективність виробництва: зменшуються витрати та трудомісткість підготовки виробництва, забезпечується максимальне завантаження верстатів (верстатів з ЧПК – у 2,4 рази [1]), можливість створення комплексної системи прогресивних типових ТП (модулів) і спеціалізованого обладнання (на 30-35 % знизиться трудомісткість розробки ТП та у 3-4 рази строки проектування нового обладнання [1]).

Забезпечення технологічності конструкцій виробів є одним з найважливіших етапів технологічної підготовки автоматизованого виробництва. Конструкція вважається технологічною, якщо для його виготовлення й експлуатації необхідні мінімальні витрати матеріалів, часу і коштів. Оцінка технологічності здійснюється окремо за кількісними та якісними показниками, для окремих деталей та складальних одиниць.

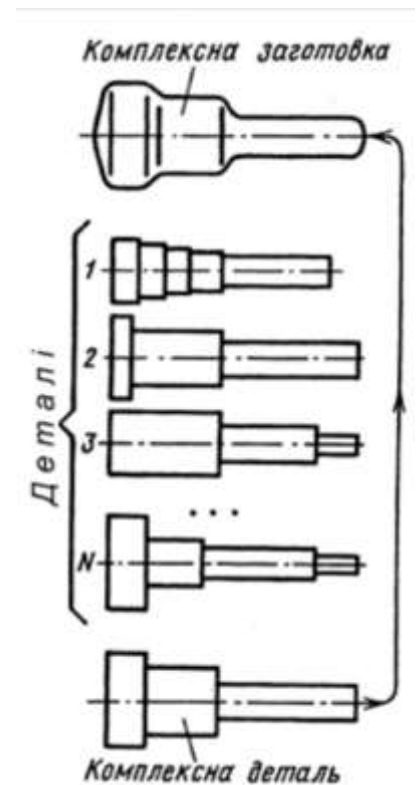


Рис. 3.2 Схема утворення комплексної заготовки ступінчастого валу з однією стороною розташування ступенів [1].

Запорука надійності АВ – максимальне наближення форми й розмірів заготовки до параметрів готової деталі, тобто забезпечення мінімальних припусків.

Вимоги до деталей, обробка яких здійснюється в умовах АВ:

- проста форма, яка складається із стандартних поверхонь;
- максимальний коефіцієнт використання матеріалу.

Для деталей, які входять до складальних одиниць, окрім того вимогою є найпростіші елементи орієнтації та стандартні з'єднання.

Виконання вказаних умов дозволяє застосовувати для виготовлення та складання типові обладнання й уніфіковані засоби автоматизації допоміжних операцій (наприклад, схвати ПР).

Вимоги до організації механічної обробки в автоматизованих ВС з можливістю переналагодження.

Особливість: комплексний підхід – детальний розгляд окрім операцій обробки з усіма можливими відхиленнями також допоміжних процесів (транспортування виробів, контроль, випробування, складування, упакування, тощо). Наприклад, розробляють спеціальні чи універсальні пристрої, зокрема й супутникові. Такий підхід забезпечує швидкий перехід з одного виробу на інший.

Розробка ТП для верстатів з ЧПК має певну специфіку:

- робота за автоматичним замкненим циклом;
- збільшення частки машинного часу до 80 % (у верстатів з ручним управлінням – біля 20 %);
- інтенсифікація процесів;
- висока концентрація операцій (обробка до п'яти поверхонь на позиції);
- можливість виконання на одному верстаті різних технологічних операцій
- автоматична програмована заміна інструментів (в магазині багатоцільових верстатів фрезерної групи може бути більш за 100 інструментів);
- автоматичне завантаження, розвантаження, обробка, контроль, транспортування;
- можливість коригування УП й швидкого переналагоджування;
- використання стандартних циклів (наприклад, при свердлінні);

- можливість стикування з організаційною структурою АСУ ТП, реалізація централізованого і локального (автономного) управління всім технологічним комплексом.

В процесі проектування послідовно вирішують ряд специфічних задач.

1. Аналіз вихідних даних (службове призначення деталі, її конструктивні особливості: габарити, вага і матеріал заготовки; конфігурація, вид оброблюваних поверхонь, параметри, вимоги з точності, якості, твердості поверхонь; річна програма випуску). Визначають основні технологічні задачі.

2. Аналіз та забезпечення технологічності конструкції деталі, яка в умовах АВ визначає ефективність, надійність, продуктивність, безпеку на всіх стадіях виготовлення (операції завантаження–розвантаження, встановлення, закріплення, транспортування, контролю). Технологічна конструкція має при виготовленні й експлуатації деталі мінімальні витрати матеріалу, часу та коштів.

Типові приклади забезпечення технологічності конструкції деталі: розташування оброблюваних отворів на одному рівні, виключення отворів чи поверхонь, які розташовані з нахилом, виключення концентраторів напружень, зменшення вильотів фрези при фрезеруванні, розташування шпонкових пазів з одного боку деталі, раціональна (розрахункова) кількість та розміри ребер жорсткості, тощо.

3. Розрахунок такту випуску (встановлена кількість за умови високого коефіцієнту завантаження верстатів).

4. Вибір баз (з умови єдиних та постійних конструкторських, технологічних і вимірювальних баз) та проектування маршруту обробки заготовок.

5. Розробка операційної технології відповідно до груп поверхонь, які оброблюють з одного встановлення. Обирають верстат, автоматичне пристосування для закріплення заготовки, ріжучий інструмент, робот або інший пристрій для завантаження.

6. Розрахунок припусків на механічну обробку.

7. Розрахунок режимів різання та норм часу.

8. Розрахунок очікуваної похибки обробки.

9. Підготовка керуючої програми.

10. Вибір критеріїв оптимальності й техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту.

Цей типовий для автоматизованого виробництва порядок дій при використанні комп'ютерних технологій значним чином змінився. Системи програмування, призначені для підготовки керуючих програм для обробки на верстатах з ЧПК, розроблені провідними фірмами, передбачають визначення ряду технологічних параметрів, пропонують заздалегідь розроблені стандартні цикли для ряду операцій, тобто практично вилучені пункти 4-8.

Корпусні деталі найчастіше є відливками з алюмінієвих, іноді – сталевих чи магнієвих сплавів. Можливо також виготовлення з поковок. У відлитих корпусних деталях, які за звичай є досить точними, оброблюють зовнішні поверхні, за якими відбувається стикування з іншими деталями та вузлами. До цих поверхонь в більшості випадків є хороший доступ для обробляючих інструментів. Іноді поверхні стикування є уступами криволінійної (циліндричної) чи прямокутної форми. У корпусних деталях, що виготовлені з поковок, оброблюють зовнішні поверхні. Корпусні деталі мають велику кількість з'єднувальних каналів (гладких або ступінчатих наскрізних чи глухих отворів), іноді доволі складної форми, канавок прямокутного чи фасонного профілю, отворів з різьбою для кріплення. Якщо є отвори, за якими здійснюється стикування з іншими деталями при складанні, зростають вимоги до відхилень взаємного розташування поверхонь. До різьбових отворів ставляться підвищені вимоги щодо відхилень від співвісності та перпендикулярності середнього діаметру різьби до осі основного отвору.

Технічні вимоги до корпусних деталей [39]:

1. Точність геометричної форми плоских базуючих поверхонь (прямолінійність поверхні у заданому напрямку на певній довжині та площинність поверхні у межах габаритів). Для поверхонь з габаритним розміром до 500 мм відхилення від площинності й паралельності 0,01-0,07 мм, для відповідальних корпусів – 0,002-0,005 мм.
2. Відхилення відносного куту повороту плоских базуючих поверхонь. Граничні відхилення від паралельності та перпендикулярності однієї плоскої поверхні відносно іншої 0,0315/200-0,1/200, для корпусів підвищеної точності 0,003\200-0,01/200.
3. Відхилення відстані між двома паралельними площинами – 0,02-0,5 мм, для деталей підвищеної точності – 0,005-0,01 мм.

4. Відхилення діаметрів і форми отворів: для отворів, які є базою під підшипники – 6-11 квалітети, некруглість у поперечному перерізі або конусність чи зігнутість у поздовжньому в межах $1/2-1/5$ припуску на діаметр отвору.

5. Відхилення відносного кутового положення осей отворів: відхилення від паралельності й перпендикулярності осей відносно пласких поверхонь $0,01/200-0,15/200$, осі одного отвору відносно осі іншого – $0,005/200-0,1/200$.

6. Відхилення відстані від осей головних отворів до базуючої площини для більшості деталей $0,02-0,5$ мм. Відхилення відстаней між осями головних отворів $0,01-0,15$ мм. Відхилення від співвісності отворів $0,002-0,05$ мм.

7. Шорсткість пласких базуючих поверхонь $Ra = 2,5-0,63$ мкм, головних отворів – $Ra = 1,25-0,16$ мкм, для відповідальних деталей – $Ra < 0,08$ мкм.

Технологічний процес обробки різанням корпусних деталей зумовлюється конструктивним виконанням, геометричними формою та розмірами, маси, типу заготовки, складності технічних вимог, характеристик виробництва

Маршрутна технологія процесу виготовлення корпусної деталі містить наступні типові технологічні операції:

- лиття під тиском (в форми);
- зачистка виливки від облою і литників;
- фрезерна обробка (в першу чергу – чорнова та чистова обробка пласких поверхонь або площини й двох отворів, що є технологічними базами, в подальшому – обробка інших зовнішніх поверхонь);
- обробка отворів (інструмент: свердла, зенкери, різці, розточувальні головки, розточувальні пластинки, розвертки, з метою концентрації переходів та скорочення машинного й допоміжного часу – комбінований інструмент, дозволяє також суміщувати різні види обробки (свердління, розточування, підрізання торців, розгортання та чорнову й чистову обробку) (рис. 3.3);

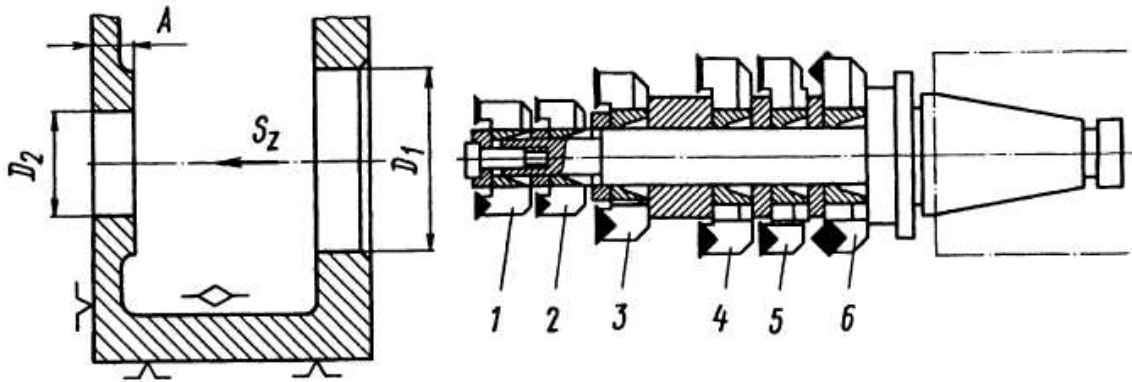


Рис. 3.3 Схема обробки двох основних отворів комбінованим інструментом:

1, 2 – різцеві блоки для чорнової і чистової обробки отвору відповідно;
3 – різцевий блок для підрізання торцю; 4, 5 – різцеві блоки для чорнової і чистової обробки отворів відповідно; 6 – різець для обробки фаски [39].

- різьбонарізна обробка;

Наприклад, свердління з наступним різьбонарізуванням може виконуватись на багатоцільовому верстаті із змінними багатошпindelними головками (рис. 3.4, [39]). На поворотній головці 1 розташовані багатошпindelні головки 3, призначені для обробки певних заготовок. В позиції 4 здійснюється обробка деталі, встановленої на робочому столі 5 верстата, в позиції 2 – автоматична заміна головки. Для обробки отворів з одного боку корпусу потрібні дві головки: на одній розташовано свердла, на другій – мітчики для нарізування різі. Такі верстати можуть входити у склад ГВС чи використовуватись як окреме обладнання.

- викінчувальна обробка поверхонь і головних отворів (викінчувальна обробка отворів (6-7 квалітет) – тонке розточування, шліфування, зокрема планетарне, хонінгування, пластичне деформування з використанням різних розкаток, іноді притирання, особливо важливо забезпечити необхідну прямолінійність осі отвору і точність його відносного положення);

Між чорною та чистою обробками можуть передбачатися природне чи штучне старіння для усунення внутрішніх напружень

- контроль геометричних розмірів и шорсткості поверхонь.

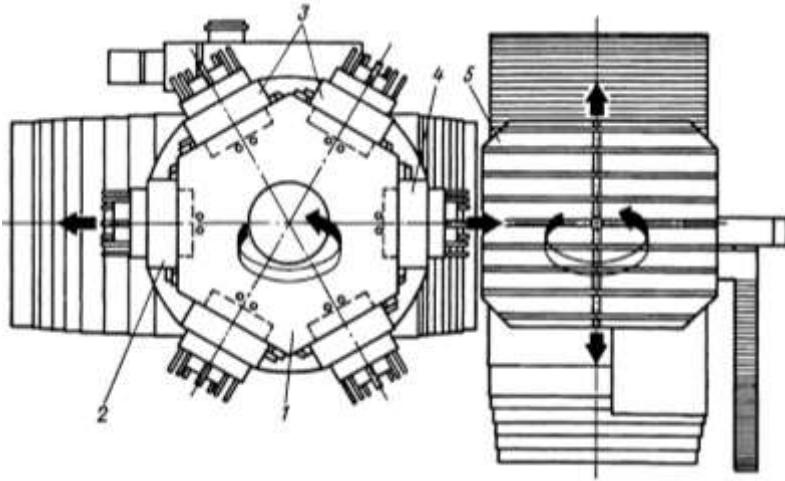


Рис. 3.4 Багатоцільовий верстат із змінними багатошпindelними головками [39].

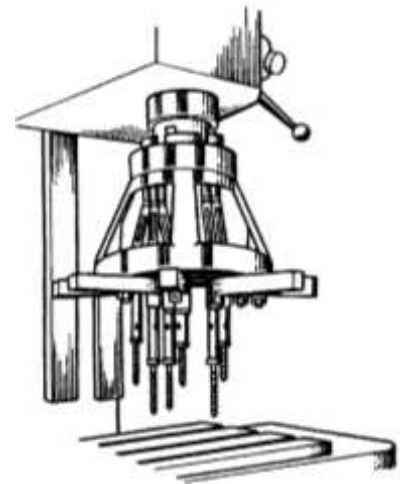


Рис. 3.5 Багатошпindelна головка, яка переналагоджується [39].

Зазвичай цими етапами охоплюється обробка різанням будь-яких корпусних деталей. Для автоматичних ліній, які здатні переналагоджуватися, чи гнучких виробничих систем відмінності суто організаційні.

Суттєвим питанням є вибір технологічних баз та послідовності обробки. Технологічні бази обирають аналізом функціонального призначення поверхонь деталей шляхом встановлення розмірних зв'язків, які визначають точність положення одних поверхонь відносно інших. Таким чином можна визначити поверхні, відносно яких задано більшість інших, та ті, щодо яких встановлено жорсткіші вимоги. Для виконання подібного аналізу використовують графи зв'язку поверхонь деталей [39]. Аналіз дозволяє визначити потрібні припуски на міжопераційні розміри.

Для більшості операцій в якості технологічних баз слід обирати поверхні, від яких задано розташування більшості інших поверхонь.

При обробці корпусних деталей перевагу мають багатоопераційні верстати з ЧПК. При зростанні серійності випуску корпусних деталей їх оброблюють:

- на АЛ, які переналагоджуються;
- на агрегатних верстатах;
- на модулях із змінними агрегатними головками;
- обробних центрах із застосуванням комбінованого інструменту та спеціальних пристосувань.

На рис. 3,6 та 3.7 наведено приклад верстатів, що дозволяють реалізувати

автоматичний цикл обробки. На ГВС заготовка за незмінної схеми базування оброблюється на одному-двох ГВМ, які мають всі необхідні інструменти.

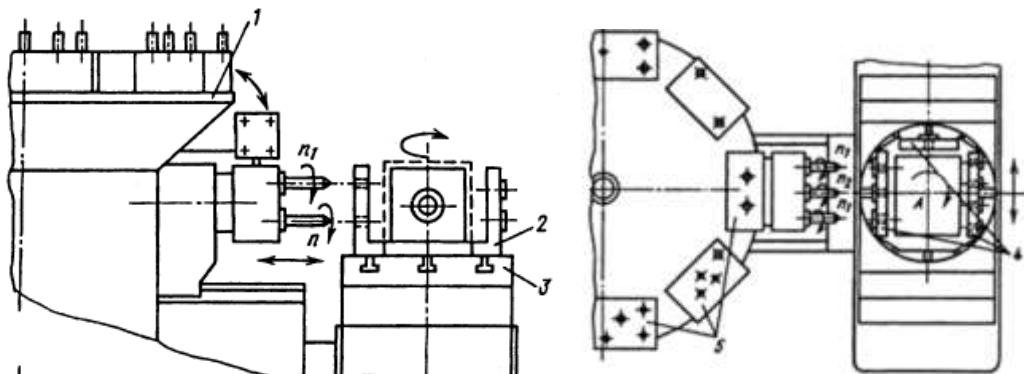


Рис. 3.6 Верстат з ЧПК мод. ХПА4 з автоматичною зміною багатшпindelних головок та здатністю до переналагодження. Позначено: 1 – магазин із змінними шпindelними коробками; 2 – пристосування-супутник; 3 – поворотний стіл; 4 – вузли спрямування інструментів; 5 – змінні шпindelні коробки [39].

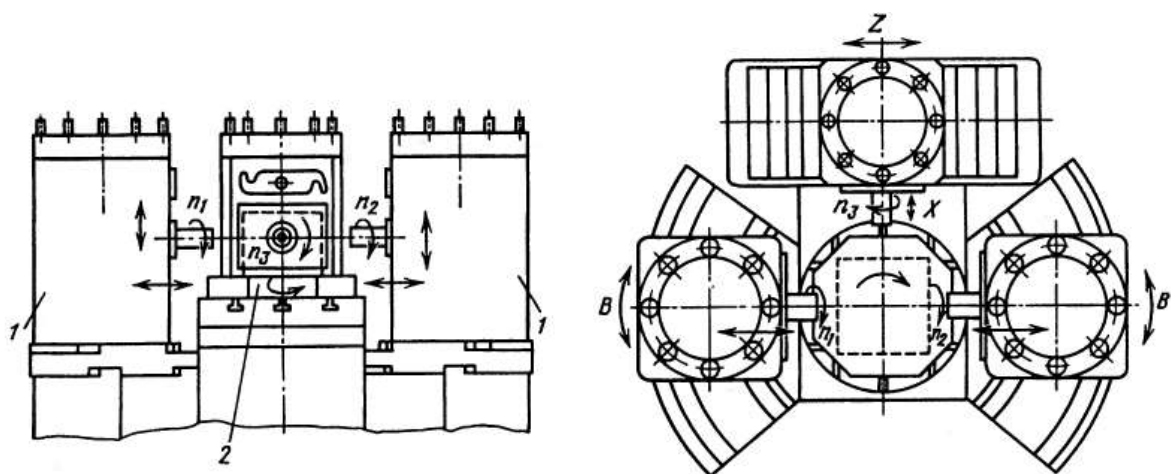


Рис. 3.7 Верстат з ЧПК тристійковий мод. АГП 630-400.

Позначено: 1 – стійки; 2 – пристосування супутники [39].

На АЛ заготовка з однією й тією ж схемою базування переміщується з позиції на позицію, на кожній з яких застосовується свій інструмент. Кількість інструментів (переходів) визначається з умов синхронності та надійності. Бажано забезпечити:

- мінімальну кількість замін інструментів і поворотів стола з деталлю, особливо при обробці точних отворів з малими допусками на розташування (мінімальне змінювання відносного положення деталі й інструменту);

- обробку базових поверхонь за одне встановлення (виключається похибка встановлення);
- вибір послідовності чорнових переходів з умови зменшення $t_{доп}$, послідовність напівчистових та чистових переходів – з умови зменшення кількості змінювань положення інструменту й деталі у площині, що є перпендикулярною до осі обробки, послідовність переходів для обробки точних поверхонь – з умови зменшення сумарної похибки.

Точність корпусних деталей, яку отримують при обробці площин різними способами [39].

Таблиця 3.1

Точність корпусних деталей при обробці площин різними способами

Обробка	R_a мкм	Степінь точності	Точність кутових розмірів відносно установочної бази, мм		Квалітет
			Відхилення від паралельності	Відхилення від перпендикулярності	
Фрезерування торцевою фрезою:					
чорнове	6,3-12,5	9-12	0,08	0,12	12-14
чистове	3,2-6,3	6-8	0,05	0,07	10-11
тонке	0,8-1,6	4-5	0,03	0,03	8-9(7)
Стругання:					
чорнове	12,5-25	9-11	0,07	0,1	12-14
чистове	3.2-6.3	7-8	0,04	0,06	11-13
тонке	0,8-1,6	5-6	0,02	0,02	8-10(7)
Торцеве точіння:					
чорнове	6,3-12,5	9-12	0,1		14-15
чистове	3,2-5	7-8	0,05	-	11-13
тонке	0,8-1,6	5-6	0.03	-	8-10(7)

Протягування:					
напівчистове	63	9-10	0,07	0,08	8-9
чистове	0,8-32	7-8	0,04	0,05	7-8
отделочное	0,2-0,4	5-6	0,02	0,02	7
Плоске шліфування:					
напівчистове	3,2	7-8	0,040	0,06	8-11
чистове	0,8-1,6	5-6	0,020	0,03	6-8
тонке	0,2-0,4 (0,1)	3-4	0,007	0,01	6-7

Відхилення вказані на довжині 300 мм.

Примітка. В дужках вказані досяжні значення параметрів.

Довідка

Умовно корпусні деталі поділяють на три групи складності:

1 – складні деталі, що мають більш за 6 оброблюваних площин, які при обробці повертаються навколо двох осей, та більш за 50 отворів, з яких 10 оброблюються по 9-му й 7-му квалітетам, точність міжосьових відстаней $\pm 0,1$ мм; допуск на контури не більш за $\pm 0,1$ мм, шорсткість $Ra = 2,5$ мкм;

2 – деталі, що мають від трьох до п'яти площин, що оброблюються, і повертаються при обробці навколо двох осей, і від 15 до 50 отворів (з них два-три обробляються по 9-му і 7-му квалітетам; точність міжосьових відстаней $\pm 0,3$ мм); допуск на розміри контурів, що обробляються не більше $\pm 0,3$ мм; $Ra = 2,5$ мкм;

3 – деталі, що мають отвори з точністю не вище Н11 і повертаються при обробці навколо однієї осі.

Завантажувати багатоцільові верстати доцільніше здійснювати деталями першої і другої груп; при недовантаженні можна доповнювати і деталями третьої групи.

Найбільш доцільно використовувати заготовки, розміри яких максимально відповідають об'єму технологічної (робочої) зони верстата (У приладобудуванні кількість деталей з габаритними розмірами, що не перевищують $250 \times 250 \times 250$ мм, складає понад 50 %, а у верстатобудуванні деталі з габаритними розмірами не більше

400×400×400 мм – біля 60%. Найефективнішою є обробка однотипних матеріалів, хоча на багатоцільових верстатах можна оброблювати досить широку групу матеріалів.

Призматичні плоскі і складні деталі можуть бути розділені на групи по видам базувальних поверхонь, числу, типу, розташуванню оброблюваних поверхонь і отворів. Це дає можливість використовувати стандартні елементи базування, кріпильного оснащення, різальні і допоміжні інструменти. Практично на верстатах деталі обробляють з кількох боків, часто з проміжними перевстановленнями. В результаті майже всі зовнішні поверхні деталі використовують як базові, або як опорні. Інколи доводиться використовувати як базувальні і внутрішні поверхні. За даними аналізу корпусних деталей установлено, що 18 % із них потребують обробки лише з одного боку, 32 % деталей необхідно повертати навколо однієї осі, що дозволяє обробляти від двох до чотирьох сторін. Решта 50 % деталей потребують обробки з п'яти-шести сторін, для чого необхідно обертання деталі навколо двох осей

Найпростіший випадок – це розташування оброблюваних площин та отворів на зовнішніх стінках деталі, але для розміщення деталі важливо врахувати яку частину стінки становлять оброблювані ділянки й як вони розташовані, бо, наприклад, можна отримати подовження інструменту, що знизить продуктивність і точність обробки. Обробка ускладнюється за наявності внутрішніх вибірок, канавок, отворів, площин.

Класифікація основних видів оброблюваних елементів дозволяє розробити і використовувати стандартні цикли обробки.

Наприклад, отвори в деталях можуть бути наскрізні, глухі, глибокі і внутрішні. Наскрізні отвори мають вільний вихід із матеріалу. В плоских деталях наскрізні отвори, як правило, обробляються з будь-якого боку. Глухі отвори не мають виходу і обробляються в упор, або мають обмежений вихід. Глибокими звичайно вважають отвори, довжина яких більше ніж в 4 рази перевищують діаметр. Для обробки внутрішніх отворів потрібне попереднє введення інструмента в деталь і виведення після закінчення обробки.

Важливою характеристикою отвору є його точність. Для корпусних деталей біля 10% отворів виготовляють по Н6, більше 50 % – по Н7, 30% – по Н9 і 10% – по Н10 або Н11. Велика кількість отворів – різьбові, причому із них переважають

отвори з різьбою розміром до М16. Діаметри отворів рідко перевищують 200 мм. Обробка великої номенклатури отворів потребує використання значної кількості різальних інструментів, що часто перевищує частоту зміни магазину.

Площини деталей, що обробляються в залежності від інструмента, що використовується, можна розділити на три групи: площини великої площі з шириною фрезерування більше діаметра фрези; площини малої ширини, тобто меншої за діаметр фрези; площини, для обробки яких потрібен спеціальний інструмент. Площини можна обробляти як за один, так і за декілька проходів. Точні площини при установлюванні деталі бажано дещо завишати над рештою поверхонь.

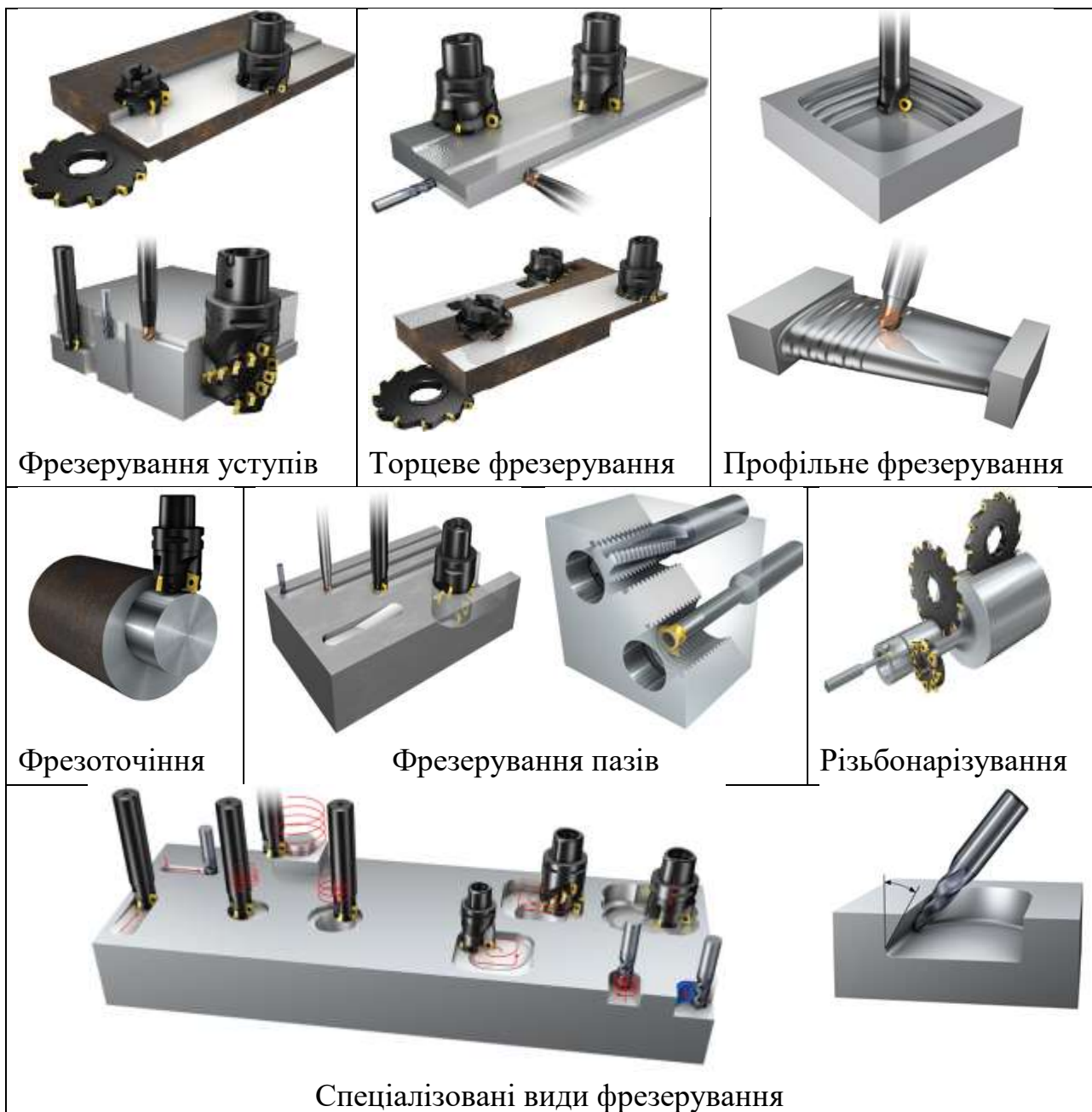


Рис. 3.8 Технологічні операції фрезерування [13].

Одні й ті самі поверхні можуть оброблюватися різними типами інструментів (рис. 3.8). Наприклад, фрезерування уступів може виконуватись торцевою та периферійною частиною фрези, складеними фрезами з СМП і кутом в плані 90°, цільними кінцевими фрезами, пазовими фрезами тощо, а для торцевого фрезерування найчастіше застосовують фрези з головним кутом в плані 45°, але можуть застосовуватися і фрези з круглими пластинами, дискові тристоронні, кінцеві фрези.

Оброблювані пази або канавки можуть мати різну геометрію, різну форму й розміри, бути відкритими або закритими. У загальному випадку вибір інструменту обумовлений шириною і глибиною паза, а іноді і його довжиною. На операціях оброблення пазів, як правило, перевагу перед кінцевими фрезами мають тристоронні дискові фрези, які є ефективними при обробці довгих і глибоких пазів, особливо на горизонтальних верстатах. А для фрезерних верстатів з вертикальним розташуванням шпинделя, які отримали широке поширення останнім часом, найкращим рішенням для обробки пазів є кінцеві і довгокромкові фрези.

Фрезерування різьби на необертюваних заготовках є гарною альтернативою різьбообробці мітчиком і навіть може замінити операцію нарізування різьби токарним різцем. Фрези CoroMill дозволяють нарізати різьблення максимально близько до уступу або до дна отвору [13].

Деталі типу тіл обертання утворені поверхнями, які мають спільну ось обертання, і однією із вимог обробки є забезпечення співвісності поверхонь та точного розташування торців відносно осі деталі. Деталь розглядають як сукупність основних поверхонь (циліндричних, конічних, з криволінійними твірними, неглибоких канавок) та додаткових (канавки на внутрішніх та зовнішніх поверхнях, різьбові поверхні). 85-90 % всього припуску на обробку видаляють при обробці основних поверхонь. Таким чином, превалює токарна обробка. Характерні деталі: вали, шпинделі, фланці.

До валів зазвичай висувають такі вимоги: 1) точність сполучених циліндричних поверхонь по 6...8-му квалітетам з параметрами шорсткості поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм і $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм; 2) допуск на циліндричність і круглість шийок під підшипники приблизно 0,25 ... 0,5 допуску на діаметр; 3) допуск на радіальне биття шийок під

зубчасті колеса щодо шийок під підшипники приблизно 0,25 ... 0,5 допуску на діаметр; 4) допуск на радіальне биття шийок під зубчасті колеса щодо шийок під підшипники 0,01 ... 0,03 мм; 5) допуск на співвісність шийок під підшипники 0,01 ... 0,02 мм; 6) допуск на симетричність бічних сторін шпонкових канавок і зубців шліцьових поверхонь щодо загальної осі підшипникових шийок 0,03 ... 0,05 мм.

До валів зазвичай висувають такі вимоги: 1) точність сполучених циліндричних поверхонь по 6 ... 8-му квалітетами з параметрами шорсткості поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм і $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм; 2) допуск на циліндричність і круглість шийок під підшипники приблизно 0,25 ... 0,5 допуску на діаметр; 3) допуск на радіальне биття шийок під зубчасті колеса щодо шийок під підшипники приблизно 0,25 ... 0,5 допуску на діаметр; 4) допуск на радіальне биття шийок під зубчасті колеса щодо шийок під підшипники 0,01 ... 0,03 мм; 5) допуск на співвісність шийок під підшипники 0,01 ... 0,02 мм; 6) допуск на симетричність бічних сторін шпонкових канавок і зубів шліцьових поверхонь щодо загальної осі підшипникових шийок 0,03 ... 0,05 мм [39].

Обробку деталей-тіл обертання здійснюють переважно на токарних верстатах з ЧПК та гнучких модулях на їх основі. Виконання вимог забезпечується встановленням деталі на верстаті (відповідно, базуванням) та порядком обробки:

- обробка співвісних поверхонь з одного встановлення;
- обробка за два встановлення спочатку зовнішніх, а потім внутрішніх поверхонь з базуванням деталі по зовнішній поверхні;
- обробка за два встановлення спочатку внутрішньої, а потім зовнішньої поверхні з базуванням по зовнішній поверхні (обробка від отвору).

При обробці значних серій деталей типу тіл обертання наявні деякі особливості:

- застосування інструментальних наладок послідовної і паралельної дії;
- оптимізація (мінімізація) траєкторій руху різального інструмента;
- використання комбінованого і осьового розмірного інструмента (зенкери, розгортки).

Розробка технологічних процесів обробки валу використовують типові процеси, створені на основі класифікації валів.

За однобічного розташування ступенів валу і його довжині до 120 мм деталі

виготовляють з прутка на револьверних верстатах чи токарних автоматах (до відрізання виконують всі чорнові й чистові переходи).

При довжині ступінчастого валу більш за 120 мм його виготовляють із заготовок, отриманих з прутка, або штампованих. Доцільно використовувати комплексні заготовки, які перед подальшою обробкою піддають виправленню (рос. – правка) та термообробці для поліпшення оброблюваності й зняття напружень

Маршрут обробки:

- почергова або одночасна обробка торців заготовки;
- свердління у торцях центрових отворів (виконують на центрувальних, центрувально-підрізних, фрезерувально-центрувальних та різного типу універсальних верстатах, на двобічних торцефрезерувальних і двобічних центрувальних автоматах), шліфування центрових отворів, зокрема, після термообробки (забезпечує $Ra \leq 0,63$, відхилення від круглості не більш за $1 \dots 3$ мкм, від прямолінійності не більш за $4 \dots 6$ мкм);
- попереднє обточування заготовки;
- чистове обточування заготовки;
- попереднє шліфування шийок;
- фрезерування шпонкових пазів і шліців ;
- свердління отворів (якщо передбачені кресленням);
- нарізування різі;
- термообробка;
- попереднє і викінчувальне шліфування шийок;
- контроль.

Маршрут обробки нежорстких валів містить додатково операції точіння й шліфування шийки під люнет.

Обробка може здійснюватися з послідовним чи паралельно-послідовним виконанням переходів. Навіть при незначному завантаженні (але не менш за 10%) суміщення переходів та застосування верстатів для комплексної обробки в багатьох випадках є раціональним. До того ж двобічні верстати забезпечують точніше розташування торців і центрових отворів.

Призначення фланців: обмеження осьового переміщення валу, який встановлено на підшипниках (за рахунок створення натягу чи гарантованого зазору із зовнішнім кільцем підшипника) або ущільнення, якщо виконано як кришку.

Технічні вимоги до фланців: точність отворів по 7 ... 8-му квалітетами (поля допусків Н6, Н7, js7, К7 і інші під підшипники); точність зовнішніх поверхонь, якими базуються фланці, 6-8-й квалітети (h6, k6 і ін.); параметр шорсткості $R_a = 1,25 \dots 2,5$ мкм; допуск на циліндричний і круглість поверхонь під підшипники 0,01 ... 0,02 мм; допуск на співвісність внутрішніх і зовнішніх циліндричних поверхонь 0,01 ... 0,03 мм; допуск на торцеве биття (допуск перпендикулярності торця) щодо осі отвору (зовнішній циліндричний поверхні) 0,03 ... 0,05 мм [39].

Технологічний процес обробки фланців розроблюється на базі типових процесів.

Таблиця 3.2.

Типові технологічні процеси (операції) обробки співвісних отворів [39].

Елемент, що обробляється або технічна умова	Квалітет точності	R_a , мм	Степінь точності	Технологічний процес обробки
Отвори діаметром до 30 мм в суцільному матеріалі	11 і грубіше	25 и грубіше	-	Свердлування або розточування
	10 и грубіше	2.5 и грубіше	-	Свердлування и розточування або зенкерування
	8-9	6,3-1,6	-	Свердлування, розточування і розгортання
	7	1,6-0,4	-	Свердлування, зенкерування (розточування), двократне розгортання або свердлування, розточування і внутрішнє шліфування (загартованих деталей)

Отвори діаметром понад 30 мм. відлиті або штамповані	10 и грубіше	12,5 и грубіше	-	Розточування або зенкерування
	9	3,2	-	Двократне розточування або зенкерування
	8	1,6	-	Двократне зенкерування або розточування і однократне розгортання. Зенкерування і протягування. Протягування.
	7	0,8-0,3	-	Чорнове зенкерування (розточування), чистове зенкерування (розточування), двократне розгортання. Зенкерування і протягування. Протягування без попередньої обробки. Чорнове розточування з наступним внутрішнім шліфуванням.
Забезпечити співвісність отвору і зовнішньої поверхні, перпендикулярність торця	10	12,5 і грубіше	-	З однієї установки розточування або зенкерування отвору і обточування зовнішньої поверхні і торця.
Те ж	8-9	3,2-1,6	-	З однієї установки розточування отвору з наступним розгортанням.
	9-10	3,2-1,6		
••	7	0,8-0,4	5-7	Остаточне точіння зовнішньої поверхні і торця. Шліфування з однієї установки отвору, а зовнішньої поверхні і торця – після токарної обробки
	8	0,4-0,3	-	
••		7	0,8-0,4	-
	0,4-0,3		5-7	
	6	0,8-0,4		

Враховуючи високу вартість верстатного обладнання з ЧПК, його широкі технологічні можливості та сучасні конструкції лезових різальних інструментів, визначення режимів різання повинно передбачати вирішення оптимізаційних задач. Для визначення складових сили різання для лезових видів оброблення доцільно використовувати питому силу різання, як це роблять практично всі передові

інструментальні фірми, наприклад, SECO, Sandvik Coromant, Hoffman Group та інші, для визначення фізичних характеристик лезового оброблення.

Важливим є наступний нюанс. Традиційно як критерій оптимізації для розрахунку режимів різання використовували мінімізацію витрат на оброблення, тобто визначали економічний період стійкості різальних інструментів. Для верстатів з ЧПК й багатоцільових через значну вартість обладнання (тобто й вартість хвилини роботи верстата) критерієм оптимізації є найбільша продуктивність оброблення, що стало можливим за умови автоматичної заміни інструментів. При обробленні невеликої партії деталей період стійкості повинен забезпечувати її повне оброблення, тож в сучасних обробних центрах та багатоцільових верстатах рекомендований період стійкості для токарних різців складає $T_{np}=15$ хв, для свердел, які оснащені змінними багатограними пластинами $T_{np}=30$ хв, для фрез $T_{np}=20-30$ хв.

Дослідженнями [16] процесів механічного оброблення різанням встановлено, що зменшення витрат на різальні інструменти на 30% зменшує витрати на оброблення лише на 1%. Збільшення стійкості різального інструменту на 50% зменшує витрати на оброблення також на 1%. А зростання продуктивності оброблення на 20% (зменшення основного часу оброблення) забезпечує зменшення витрат на оброблення на 15%.

З огляду на все вище наведене, зрозумілим є те, що обґрунтований вибір інструментів та обладнання для обробки невеликих партій деталей є задачею нетривіальною та такою, що погано піддається формалізації. Отож задача вимагає розв'язку хоча б для конкретних умов і обмежень. Отримані з вказаного розв'язку рекомендації дадуть також можливість визначитись з придбанням у разі потреби нового обладнання, яке може бути використано у багатомономенклатурному виробництві.

Використання пристосувань в умовах автоматизованого виробництва

Одна з умов ефективного використання можливостей АВС є використання пристосувань, що відповідають не лише традиційним вимогам – точності й жорсткості, а й забезпечувати:

- базування і закріплення широкої номенклатури виробів за допомогою простих затискних елементів;
- точну орієнтацію у координатній системі верстата;

– вільний доступ інструмента до всіх оброблюваних поверхонь.

Для встановлення деталей застосовують

- а) автоматизовані стаціонарні пристосування (найчастіше модульні);
- б) пристосування-супутники.

Пристосування-супутники (палети) використовують як для встановлення заготовок для обробки, так і для транспортування їх від операції до операції згідно з технологічним процесом без перевстановлення. Подібні системи у широкому асортименті пропонує, наприклад, фірма EROWA.

Прикладом сучасної системи встановлення й затиску призматичних та корпусних деталей на багатоцільових верстатах є система високоточних модульних лещат із необмеженими можливостями застосування, що їх випускає фірма Gerardi (Італія). Модульні лещата випускають у широкій гамі типорозмірів, конструктивних реалізацій і можливостей. Ознаками цих лещат є швидкість затиску, компактність, тривале збереження точності, можливість різної комплектації та швидка реконфігурація (рис. 3.9), зокрема, можливість вертикального встановлення затискних систем (рис.3.10) та встановлення на карусельній палеті (рис. 3.11), що дозволяє у межах одного й того ж робочого циклу обробити деталь не лише з фронтального боку, а й з бічних сторін.

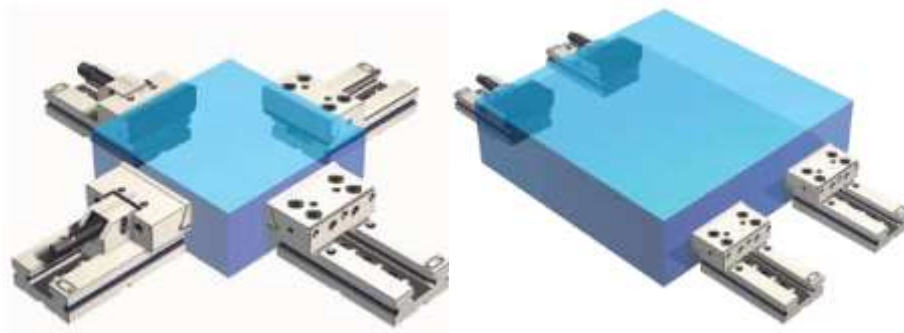


Рис. 3.9 Приклади застосування модульних елементів [12].

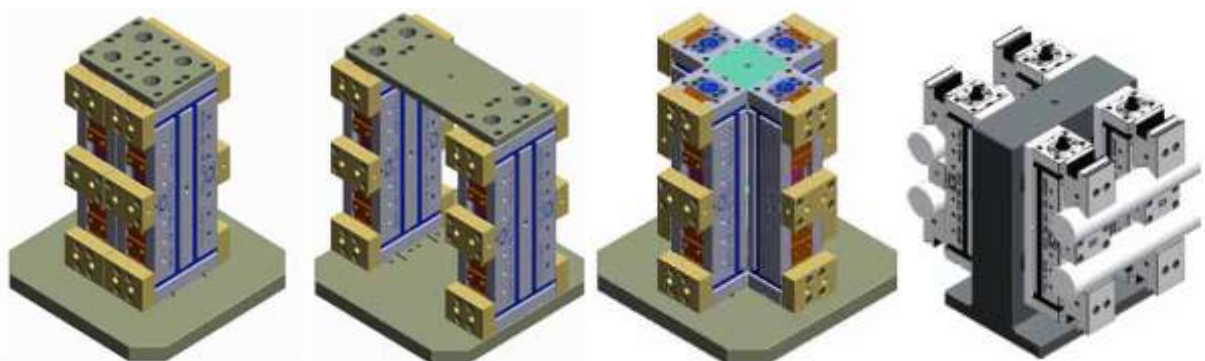


Рис. 3.10 Приклади реконфігурації вертикальної затискної системи [12].



Рис. 3.11 Горизонтальні затискні системи [12].



Рис. 3.12 Модульна система ZERO POINT [12].



Може встановлюватись одна деталь або група деталей (відповідно, одномісні та багатомісні пристосування). Придатні для обробки корпусних деталей, плит, важелів, шатунів і навіть деталей у формі тіл обертання. Пристосування забезпечує правильну орієнтацію виробів при переміщенні між робочими позиціями

Пристосування-супутник складається з двох частин: нижня є нормалізованою й має елементи для базування й фіксації пристосування на верстаті, а верхня є змінною і пристосованою для встановлення певної деталі (тобто спеціальною).

Наслідком застосування пристосування-супутника є

- збільшення похибки базування виробів (необхідно врахувати при налагодженні обладнання);
- ускладнення транспортної системи;
- збільшення площі, яку потребує транспортна система.

Затискні системи можуть виконуватися модульними (рис. 3.12).

Палетні системи та модульні системи затиску таких виробників, як HAAS, SYSTEM 3R, LANG, EROWA, SCHUNK, GRESSEL, PAROTEC, TRIAG широко представлені у верстатах провідних фірм.

Все, що було наведено стосовно принципів побудови технологічних процесів, стосується традиційних технологій.

Комп'ютерізація, використання 3D-моделей зумовили появу спочатку 3D-принтерів і технологій швидкого прототайпінгу (прототипування), що пізніше розвинулись у адитивні технології, які концентрували найсучасніші знання.

ASTM International (American Society for Testing and Materials), яка займається розробкою технічних стандартів для матеріалів, виробів, систем та послуг у стандарті F2792.1549323-1 визначило адитивні технології як процес об'єднання матеріалу з метою створення об'єкту за даними 3D-моделі, як правило, шар за шаром, на відміну від виробничих технологій, які вилучають матеріал. Рекомендовані два терміни Additive Manufacturing (AM), Additive Fabrication (AF), а також рівнозначні за змістом – Additive Processes, Additive Techniques, Additive Layer Manufacturing, Layer Manufacturing та Freeform Fabrication. Всі їх можна перекласти як адитивні технології або технології пошарового синтезу. Термін „Rapid Prototyping“ (RPтехнології) або „швидке прототипування“ рекомендовано не застосовувати, бо відображує лише частку адитивних технологій і на даний час вже не домінуючу. Натомість терміни „3D-друк“, „3D-принтер“, „3D-принтинг“, „виращування“ приймають як синоніми.

Адитивні технології (Additive Manufacturing: від слова адитивність – додавання) – це формування деталі пошаровим нарощуванням матеріалу й синтез об'єкту з використанням комп'ютерних 3D-технологій (моделювання із застосуванням 3D-друку на принтері). Є концентрацією передових знань з металургії, лазерної техніки, вакуумної техніки, оптики, електроніки, систем керування, вимірювальної техніки, механіки, тощо.

Передбачається, що кожна технологічна операція виконується у цифровій CAD/CAM/CAE-системі, тобто це є реальним переходом до „безпаперових» технологій, які не потребують традиційних креслень.

Переваги:

- Виготовлення деталей з геометрією будь якої складності, що залишає далеко позаду можливості традиційних методів.
- Оптимізація таких параметрів виробів, як точність і міцність (в т.ч. керування фізико-механічними властивостями продукту), а також зменшення маси за рахунок створення надтонких стінок, внутрішніх каналів і біонічних структур. (максимальний коефіцієнт використання матеріалу), зменшення кількості етапів виробництва;
- Зменшення виробничих витрат (немає необхідності використовувати дороге оснащення, а в окремих випадках – механічну обробку).

- Зниження ризиків і помилок проектування, в том числі за рахунок МОЖЛИВОСТІ ЗМІНИ КОНСТРУКЦІЇ на пізніших етапах проектування.
- Можливість інтеграції в автоматизовані виробничі системи.
- Технології тривимірного друку, сканування й моделювання дозволяє швидше виводити продукцію на ринок, тобто підвищує конкурентоздатність машинобудівних підприємства.

Існує фразеологізм авіабудівників „buy-to-fly ratio“ – „відношення того, що придбано, до того, що полетіло“ [32], тобто характеристика реального корисного виходу із придбаних складових. За різними даними це співвідношення складає 15:1 (можливо навіть до 20:1) для складних деталей, а у разі застосування адитивних технологій показник становить (1,5-2,0):

Використання:

1. Функціональне тестування і прототипування.
2. Виготовлення технічних прототипів для відпрацювання конструкції виробів.
3. Здійснення технологічних експериментів.
4. Перевірка виробів на ергономічність.
5. Створення майстер-моделей для виливання, в том числі по моделях, що виплавляються або випалюються.
6. Швидке виготовлення оснащення.
7. Виробництво формують елементів прес-форм для відливання термопластів і легких матеріалів.
8. Виготовлення функціональних деталей для різноманітних агрегатів і вузлів.
9. Створення складних конструкцій, в тому числі суцільних, які раніше складались із багатьох елементів, на базі 3D-сканування:
10. Оптимізація контролю якості виготовлення деталей складної форми;
11. Реверс-інжиніринг (зворотний інжиніринг)

Як приклад оптимізації контролю якості на виробництві можна назвати використання автоматизованої системи, яка містить компактний 6-тикоординатний

універсальний робот („робот-рука“), ручний 3D-сканер, відповідне програмне забезпечення (розроблено у Росії, <https://blog.iqb.ru/automated-scanning-system>). Робот керує 3D-сканером по заданій програмі, без участі оператора, виконуючи оцифрування деталі. Потім дані 3D-сканування автоматично обробляються програмним забезпеченням CAD-модель порівнюється з одержаним скануванням виробу, і надається готовий звіт.

Переваги:

- система адаптована для роботи безпосередньо на виробництві і може бути інтегрована в різноманітні комплекси автоматизації виробництва
- контроль сотень виробів різної геометрії протягом робочого дня.
- значно підвищити автоматизацію вимірювання;
- забезпечити виявлення браку на ранніх стадіях виробництва;
- гарантувати високу точність вимірювань (до 30 мікрометрів);
- відсутність зміщення точності вимірів незалежно від часу роботи в автономному режимі.

Використовуючи найновіші технології лазерного 3D-сканування і програмне забезпечення 3D CAD, можна в короткі строки з максимально ефективним результатом здійснити реверс-інжиніринг

Розглянемо, як це діє на прикладі єгипетської компанії Promech Engineering, що надає послуги по зворотному проектуванню. Спеціалісти Promech обробляють дані 3D-сканування і створюють твердотільні CAD-моделі, які можна редагувати, сумісні з програмним забезпеченням CAD замовника. Одержані цифрові дані (полігональна сітка) перетворюються в CAD-файл, з допомогою якого можна змінити форму і топологію моделі у відповідності з задумом (приклади на сайті). Наприклад, виробник комплектного обладнання в Єгипті поставив задачу локалізувати один з продуктів General Motors, який передбачалось виробляти тут же, в Єгипті. Більша частина даних САПР була відсутня, але були наявні оригінальні деталі. Моделювання поверхонь класу А, дотримання умов виробництва і точність – такими були основні вимоги замовника.

Технологія 3D-сканування використовується в різних секторах економіки, включаючи автомобільну промисловість, авіацію, машинобудування, кораблебудування, ювелірну справу, медицину. Сучасні 3D-сканери дозволяють значно скоротити час і затрати при вирішенні задач контролю геометрії і реверс-інжинірингу. 3D-моделювання для обробки даних 3D-сканування і підготовки моделей до 3D-друку ефективно виконується з допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

С кожним роком використання АМ-технологій зростає в геометричній прогресії. В машинобудуванні „вирощування“ деталей із металу стало дуже популярним. Такі деталі вирізняються легкістю, міцністю. Ще однією важливою позитивною рисою є швидкість виготовлення. Через це вони стають все більш затребуваними. Об'єми використання таких виробів збільшуються. Створюються нові моделі принтерів, які перестають бути розкішшю, а стають необхідністю, тим більше вони весь час здешевлюються.

Аддитивні технології постійно вдосконалюються, виходять на нові рівні, які дозволяють „вирощувати“ все складніші вироби точніше, швидше, дешевше.

Стримуючі фактори впровадження АМ-технологій:

- висока вартість обладнання і матеріалів;
- складно інтегрувати у традиційні технології (адитивні технології сьогодні не можуть витіснити чи замінити класичні технології, хоча за прогнозами невдовзі замінять традиційні процеси у 30–50 % випадків, є єдино можливим способом виготовлення складних деталей невеликого розміру.);
- вивчені недостатньо;
- недостатньо спеціалістів.

Розрізняють:

Методи: формування шару; фіксація шару.

Модельні матеріали: сипкі; полімерні; металопорошкові.

Основна технологія (ключова): лазерна, нелазерна.

Підведення енергії для фіксації шару: тепловий вплив, опромінення ультрафіолетовим або видимим світлом, фіксація в'язучою речовиною, тощо.

Основні види технологій:

Технологія „методи формування шару“ поділяються на два види: Bed Deposition и Direct Deposition.

„Bed Deposition“ передбачає наявність певної поверхні-платформи („bed“), на якій спочатку формують і вирівнюють шар матеріалу, а потім у цьому шарі вибірково фіксують (переводять у твердий стан – сплавляють чи склеюють при обробці лазером) застосований матеріал (порошок), а частина його лишається незмінною. По закінченні платформа переміщується вертикально на крок і процес повторюється. Так триває до повної побудови моделі. Називають лазерним селективним спіканням або селективним синтезом (SLS – Selective Laser Sintering), якщо використано лазер (як джерело нагріву, а не ультрафіолетового випромінювання як це є у лазерній стереолітографії).

Пряме осаджування (Direct Deposition). Іншими словами, це означає, що енергія спрямовується і осаджується матеріал в конкретні точки, на місце виготовлення деталі. В цьому методі нема платформи „Bed“, куди насипається порошок, а будівельний матеріал подається безпосередньо в те місце де виготовляється деталь і куди подається енергія для затвердіння.

ASTM International розділила адитивні технології на сім категорій [32, https://spravochnick.ru/mashinostroenie/additivnye_tehnologii_v_mashinostroenii/]:

1. Екструзія матеріалу (Material Extrusion). Через екструдер видавлюється матеріал для виготовлення виробу і пошарово наноситься на виготовлювану деталь.
2. Розбризування матеріалу (Material Jetting). Видаткового матеріалу розбризується пошарово на деталь або наноситься струменем.
3. Розбризування з'єднувального матеріалу (Binder Jetting). Вже не видатковий матеріал, а з'єднувальний матеріал розбризується або пошарово наноситься струменем.
4. Листове ламінування (Sheet Lamination). Листові матеріали для виготовлення пошарово наносяться на виріб.
5. Фотополімеризація в ванні (Vat Photopolymerization). У ємності пошарово тверднуть смоли, що фотополімерізуються.

6. Сплавлювання порошку (Powder Bed Fusion). Спочатку формується шар, потім в ньому розплавляється або спікається матеріал, який використовується для виготовлення деталей.
7. Осадження спрямованою енергією (Directed Energy Deposition). Видатковий матеріал подається прямо в те місце, куди здійснюється подача енергія.

Довідка

До категорії **Material Extrusion** належать дві технології: *MJS* и *FDM*.

MJS (*Multiphase Jet Solidification*). Екструдер, який підігрівається, подає суміш для виготовлення, яка складається з пластифікатора і металевого порошку в пастоподібному вигляді на місце виготовлення деталі. Потім сиру „green“ - модель для спікання поміщають до печі.

FDM (*Fused Deposition Modeling*). До екструдера підводиться полімерна нитка, вона розплавлюється і вкладається на місце перетину майбутньої моделі.

Material Jetting також має дві технології. Обидві технології використовують по два матеріали. Один для виготовлення деталі, інший для підтримування частин, що нависають. Як матеріал для виготовлення використовується фотополімерна смола, а як матеріал для підтримування – полімер, який змивається гарячою водою після закінчення створення деталі. Відмінність в тому, що в одному методі ще використовують фрезерну головку принтера для механічної обробки моделі, для видалення надлишків моделюючих і підтримуючих матеріалів. Обидві технології частіше використовуються в стоматології і в ювелірному виробництві, де використовують воскові моделі майбутніх виробів.

Binder Jetting – це струминна технологія. На робочу поверхню вприскується з'єднувальний реагент замість матеріалу для побудови. Так створюються синтез-форми з піску або моделі для литва.

Sheet Lamination. Для створення виробу береться фольга, папір або полімерна плівка. Пласти зварюються ультразвуком, залишки видаляються фрезею.

Vat Photopolymerization. Як матеріал для виготовлення використовуються полімерні рідкі смоли.

***Powder Bed Fusion.** Для виготовлення застосовуються теплові елементи: ТЭН, лазер, електронні промені та ін.*

***Directed Energy Deposition.** Передбачається одночасне використання матеріалу для виготовлення і теплової енергії.*

Зупинимось докладніше на сутності зворотного інжинірингу, який в сучасних умовах також потребує комп'ютеризації і може здійснюватися із використанням АМ-технологій [<http://glavconstructor.ru/services/revers-engineering/>]. На увазі мається так звана „зворотна розробка“ (зворотне проектування, реверс-інжиніринг; від англ. reverse engineering) – дослідження деякого готового пристрою або програми, а також документації на нього з метою зрозуміти принцип його роботи: наприклад, щоб виявити недокументовані можливості, зробити зміни або відтворити пристрій, програму або інший об'єкт з аналогічними функціями, але без прямого копіювання, копіювання різноманітних механізмів і машин по готовому зразку без фактичної розробки (мається на увазі відтворення конструкторської документації, за якою можна виготовити аналогічний виріб). Розрізняють зворотне проектування виробів та виготовлення креслення за зразком деталі. Реверс деталі – це зняття розмірів ручним способом або з допомогою 3D-сканування, створення 3D моделі і розробка креслення, тобто це спосіб одержання тривимірних даних в електронній формі із фізичних моделей або продуктів..

Реверс виробу – творчий процес, що передбачає, окрім реверса всіх деталей виробу, також розуміння технологій, принципу дії механізму, використання конструкторської кмітливості, досвіду, уміння поєднувати усі частини механізму так, щоб досягти заданих характеристик роботи виробу. Реверс-інжиніринг складного механізму – це практично розробка виробу з нуля, з врахуванням деякого спрощення задачі завдяки тому, що деякі технічні рішення можна побачити в готовому виробі.

Сфери застосування:

- відновлення втраченої технічної документації;
- перевірка відповідності виробу конструкторській документації;
- ремонт технологічного оснащення;

- контроль геометрії, оцінка степеню зношування вузлів і кріпильних виробів;
- виробництво запасних частин при відсутності оригінальної документації на виріб, зворотний інжиніринг, зворотне проектування вузлів, виробів, механізмів;
- копіювання виробу по готовому зразку для відтворення конструкторської документації, по якій надалі можна виготовити аналогічний виріб.

Застосовується звичайно у випадку, якщо розробник оригінального об'єкта не надав інформацію про структуру і спосіб створення (виробництва) об'єкта. Дозволяє з мінімальними затратами відтворити вдалу конструкцію, але є випадки копіювання і невдалих машин. Є компанії, що займаються саме зворотним інжинірингом на замовлення [http://fitnik.tech/ru/services/design/reverse_engineering]

Особливості механізмів, які ускладнюють зворотний інжиніринг відносно них:

1. Наукоємність

2. Наявність великої кількості різних систем – електричної, гідравлічної, пневматичної, магнітної та ін.

По кожній із цих систем потрібен окремий спеціаліст, і виходить, що дана робота може бути виконана тільки колективом конструкторів, що відразу впливає на вартість розробки.

3. Накопичування похибок при копіюванні деталей.

Похибка з'являється при найточніших способах вимірювання. 3D сканування дасть похибку біля 30-100 мікрометрів, ручне забезпечення розмірів за рахунок людського фактора може призвести до трохи більших похибок. При великій кількості деталей похибка накопичується, що у підсумку відбивається на функціях виробу.

4. Авторські права

Існує ще суттєвий фактор зворотного інжинірингу – порушення авторських прав правовласника. Вироби, що копіюються, зазвичай, мають зареєстровану торгову марку або торговий знак, в них можуть бути застосовані запатентовані вузли або технології ноу-хау. Пряме копіювання може призвести надалі до проблем з законом. Тому при зворотному інжинірингу прагнуть не використовувати пряме

копіювання і розробляти нові вироби на основі аналогів, впроваджуючи в них вдосконалення і уникаючи запатентованих вузлів.

Довідка

- Радянська вантажівка АМО-3 був практично повною копією американської вантажівки „AutoCar-SA“.
- Радянський мотор „Москва“ для човна був практично повною копією дуже вдалого американського мотора *ScottAtWater*.
- Приклад невдалого вибору прототипу для зворотної розробки – радянський мотор „Вихрь“ для човна, копія німецького мотора *Koenig*.
- Радянський літак Ту-4, за винятком двигунів, є майже точною копією американського Boeing B-29 Superfortress.
- Практично всі бензинові двигуни, встановлені на мотоблоках, генераторах і інших малогабаритних машинах китайського виробництва – копії японських моторів Honda GX.
- Знамениті японські АКПП *Aisin A130* і *A140* – децю доопрацьовані неліцензійні копії АКПП *Chrysler 1940-1950-х* років, які вироблялись американською компанією на заводах в Японії після Другої світової війни.
- Перші китайські позашляховики *Admiral*, Great Wall та інші – неліцензійні практично точні копії позашляховика Toyota Hilux Surf.

У військовій промисловості

- Німецькі каністри для бензину – в британських і американських військах помітили, що німці мали дуже зручні каністри. Вони скопіювали ці каністри, і ті одержали назву *Jerry cans* (от слова „*gerrys*“ – от „*Germans*“) [12].
- Туполев Ту-4 – декілька американських бомбардувальників B-29 при здійсненні вильотів в Японію здійснили вимушену посадку в СРСР. Радянські військові, які не мали подібних стратегічних бомбардувальників, вирішили скопіювати B-29. Через кілька років вони розробили Ту-4, практично його повну копію [14]. В той же час двигуни, озброєння і радіоелектронне обладнання Ту-4 не було копіями відповідних систем B-29.

- Тепловоз ТЭ1 – в 1945 році тепловоз RSD-1 (Д^а) (поставлявся в СРСР по ленд-лізу) привів літерний поїзд Сталіна на Потсдамську конференцію. Сталін високо оцінив цей локомотив, тому в 1947 році почався випуск радянської копії американського тепловоза — ТЭ1. Незважаючи на деякі відмінності в розмірах і окремому обладнанні, ТЭ1 виявився практично ідентичним Д^а^{[151]???}. Усі нинішні російські маневрові тепловози – потомки американського тепловоза.
- Міномети – німці в роки війни успішно скопіювали радянські трофейні 120 мм міномети, які взяли собі на озброєння під назвою Granatwerfer 42.
- Автомат Калашникова — нещодавно керівництво ОАО „Ижмаш“ заявило, що біля половини всіх АК у світі – „контрафактні“ (тобто, такі, що виробляються без ліцензії і передачі технологій), через що Росія недоотримує біля мільярда доларів щороку. В той же час, патентні обмеження (якщо такі були наявні) на технології і технічні рішення втратили свою силу[16].
- Американський гранатомет PSRL-1^[en] – це неліцензійна модернізована копія радянського РПГ-7.

Питання для повторення та контролю знань

1. Особливості розробки технологічних процесів автоматизованого виробництва.
2. Специфіка розробки технологічних процесів для верстатів з ЧПК.
3. Умови для забезпечення виконання всіх операцій в межах однієї автоматизованої виробничої системи.
4. Шляхи й наслідки уніфікації технологій обробки.
5. Напрямки типізації технологічних процесів.
6. Групові технології: доцільність, реалізація.
7. Особливості обробки, технічні вимоги та маршрутна технологія процесу виготовлення корпусних деталей.
8. Деталі типу тіл обертання: технічні вимоги та маршрутна технологія процесу обертання
9. Використання пристосувань в умовах автоматизованого виробництва.
10. Палетні та модульні системи затиску оброблюваної деталі.
11. Переваги виконання технологічної операції у цифровій CAD/CAM/CAE-системі
12. Адитивні технології (Additive Manufacturing): області використання
13. Технології 3D-сканування: області використання.

4 Принципи створення автоматизованих виробничих систем

Для машинобудівного виробництва сьогодні характерні як значне ускладнення самого виробництва, так і рішення принципово нових задач у плануванні, організації та керуванні.

Характерною ознакою сучасного виробництва є

1. – підготовка виробництва з потрібними властивостями традиційними методами, орієнтованими на матеріальні перебудови існуючого виробництва, стає неможливою, низька серійність та часта зміна виробів, при тому час життєвого циклу проектів може бути досить малим, зумовлює неможливість здійснювати фізичну перебудову існуючого виробництва для їхньої реалізації, індивідуалізація замовлень зумовлює зростання трудоемності технологічної підготовки й відносне зменшення трудоемності самого виробництва ;

2. – зростання вимог до продуктивності, особливо в дрібносерійному і середньосерійному виробництві;

Наслідок: протиріччя між гнучкістю (мобільністю, тобто мінімальна тривалість і частота переналагоджень) та продуктивністю.

Шлях: для скорочення витрат і часу на підготовку виробництва – створення ГВС з раціональним складом виробничих систем (з використанням технологічних модулів, комп'ютеризованих багатокоординатних верстатів та промислових роботів), транспортно-завантажувальних операцій та керування, що дозволяє виготовляти вироби у будь-якому порядку й варіювати їхній випуск згідно з виробничою програмою. Це вимагає одночасно з розвитком систем керування і програмного забезпечення прогресивних конструкторських рішень при реалізації технічних систем. Наприклад, в роботизації відбувся переворот – від транспортно-завантажувальних роботів перейшли до технологічних, змінилися конструкції роботів (поворотні ланки, електромеханічні приводи тощо).

3. – змінювання характеру роботи персоналу – зростає питома вага інтелектуальної праці і відповідної кваліфікації персоналу. Для підвищення ефективності інженерної праці в сфері проектування:

- систематизація процесу проектування;

- комплексна автоматизація нетворчих функцій, що піддаються формалізації;
- розробка імітаційних моделей для приймання рішень в умовах повної або часткової невизначеності;
- підготовка евристичних алгоритмів для якісного розв'язку складних задач проектування в умовах певних обмежень;

4. – формування сфери інформаційних технологій інжинірингу, ринку інформаційних послуг (перетворюються у самостійну галузь, яка має пріоритетне значення для розвитку машинобудування);

5. – наука стає самостійним елементом виробництва: зростає виробництво наукоємних виробів, розробки ґрунтуються на фундаментальних дослідженнях, а не на емпіричному підході до створення нових виробів;

6. – реструктуризація підприємств на основі ринкових законів економіки, забезпечення конкурентоздатності продукції, тобто оперативне реагування виробництва на змінювання попиту, скорочення строків випуску та забезпечення якості (конкуренція стає важливим фактором розвитку підприємства). Корпоративні прагнення зумовлюють створення віртуальних підприємств;

7. – розвиток кооперації між підприємствами, розширення ринків збуту вимагає створення єдиної інформаційної бази;

Для виготовлення виробів в якості основного технологічного обладнання можна використовувати: ливарні машини і установки (наприклад, для лиття під тиском); молоти і преси для кування та об'ємного штампування; штампи і преси для листового штампування; прокатні стани; металорізальні верстати; верстати для електрофізичної, електрохімічної і лазерної обробки; обладнання для обробки поверхневим пластичним деформуванням; для термообробки (печі, ванни, нагрівальні і гартівні установки); для нанесення покриттів (наприклад, гальванічні ванни, фарбувальні камери); складальне обладнання (наприклад, складальні автомати і промислові роботи).

Так як найбільш поширеним методом виготовлення виробів в машинобудуванні є обробка різанням, то найбільше застосування знаходять металорізальні верстати, а останнім часом поширюється застосування адитивних технологій.

Залежно від галузі і типу виробництва, автоматизовані виробничі системи (АВС) створюють на базі різного устаткування: універсального, агрегатного, спеціального та спеціалізованого, автоматів, напівавтоматів, обробних центрів, верстатів з ЧПК, об'єднаного гнучкими або жорсткими транспортними пристроями. Для серійного і дрібносерійного виробництва характерне застосування автоматизованих систем з універсальних і агрегатних верстатів, обробних центрів, верстатів з ЧПК з гнучким зв'язком, яка передбачає наявність міжопераційних накопичувачів. Для великосерійного і масового виробництва характерне створення автоматичних ліній (АЛ) зі спеціальних і спеціалізованих верстатів, об'єднаних жорстким зв'язком (встановлюється при великій диференціації технологічного процесу, високій надійності обладнання). Для цих типів виробництва характерне також застосування роторних ліній, які складаються з обертових агрегатів (роторів), що виконують робочі і транспортні операції відповідно на робочих і транспортних роторах. Роторні лінії бувають з жорстким і з гнучким (з накопичувачами) зв'язком між роторами.

Довідка

Визначити тип виробництва можна за коефіцієнтом, який визначає скільки операцій передбачено для виконання в межах ділянки, цеху, тощо (на одному робочому місці):

$K_{on} = n_{on} / M$, де n_{on} – кількість різних операцій, що повинні виконуватися; M – кількість робочих місць відповідно ділянки, лінії чи цеху. Рекомендовані наступні значення: для одиничного виробництва – > 40 ; для дрібносерійного – $> 20 \dots \leq 40$; для середньосерійного – $> 10 \dots \leq 20$; для великосерійного – $> 1 \dots \leq 10$; для масового виробництва – 1 .

Рівні автоматизації

Рівень	Обладнання й функції робітника	Ознаки	Переваги
Перший	Верстати з ЧПК. Виконання переходів без безпосередньої участі людини Функції робітника: встановлення заготовок на верстат або в завантажувальний пристрій, зняття заготовок, активний контроль обробки і стану обладнання, зміна інструменту, налагодження та підналагодження устаткування, видалення відходів в межах робочого місця	Автоматизований цикл обробки виробу, управління послідовністю і характером рухів робочого інструмента для отримання заданої форми, розмірів і якісних характеристик оброблюваної деталі	Оптимальне управління, зростання продуктивності праці, істотне підвищення якості продукції
Другий	Створення РТК на базі верстатів з ЧПК. Автоматизація встановлення і зняття деталей з верстата, тобто завантаження устаткування, зокрема із застосуванням промислових роботів	Роботи в якості завантажувальних пристроїв відрізняються великою універсальністю і швидкістю переналагоджування.	Багатоверстатне обслуговування за участі людини чи робота
Третій	Верстати з ЧПК, обробні центри, РТК	Автоматизований контроль за станом інструменту і своєчасною його заміною (за фактичним станом інструменту і його зносом), якості оброблених виробів (розмірів, чистоти поверхні, якості виробу після термічних, дифузійних, хімічних та інших процесів), стану верстатів і устаткування, видаленням стружки та інших відходів виробництва; контроль і підналагоджування технологічних процесів	Адаптивне управління.

Четвертий	Гнучкі виробничі модулі, гнучкі виробничі ланки (рос. – ячейка), комп'ютеризовані багатокординатні верстати	Автоматичне переналагодження обладнання. Застосування таких інструментів, оснастки і пристосувань, методів завдання режимів обробки і циклів виробництва, завантажувальних пристроїв і контрольних систем, які придатні до автоматичного переналагодження обладнання.	Економія часу, підвищення гнучкості обладнання. Збільшується зона обслуговування одним робітником
П'ятий	Гнучкі виробничі системи (ГВС) – кероване засобами обчислювальної техніки технологічне обладнання (з використанням технологій мікроелектроніки), що складається з різних поєднань гнучких виробничих модулів і/або гнучких виробничих осередків, автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва і системи забезпечення функціонування, яка здатна до автоматизованого переналагодження при зміні програми виробництва виробів, різновиди яких обмежені технологічними можливостями обладнання	Містить автоматизовані пристрої програмного керування та забезпечення автоматизованого технологічного процесу. Виконує багаторазові цикли.	Функціонує автономно. Може вбудовуватись у систему більш високого рівня.

Характеризується:

- ступень автоматизації або механізації праці: визначається як відношення чисельності робітників, зайнятих автоматизованою або механізованою працею до загальної чисельності промислово-виробничого персоналу.

- коефіцієнт рівня автоматизації праці: визначається за обсягом витрат автоматизованого праці в загальній трудомісткості підприємства.

Високі темпи технічного прогресу вимагають такого технічного оснащення виробництва, яке могло б встигати за технічним прогресом, тобто мати високу мобільність (можливість випуску широкої номенклатури і типів деталей і виробів). Отже треба забезпечити переналагодження обладнання в умовах багатноменклатурних виробництва, що можливо за рахунок побудови АВС за модульно-агрегатним принципом, коли і основне, і допоміжне обладнання komponують з типових модулів, агрегатів, механізмів та ін. Прикладами такого обладнання є агрегатні верстати, автоматизовані поточкові лінії з агрегатних верстатів, промислові роботи блоково-модульних конструкцій.

Звісно, в умовах автоматизованого виробництва переналагодження виробничих систем також повинне відбуватися автоматично, тобто необхідно мати гнучкі виробничі системи (ГВС), які мають можливість такого переналагоджування при виробництві виробів довільної номенклатури відповідно до технічних характеристик застосування обладнання та інструментів. При цьому необхідно забезпечити тривалість роботи 24 год на добу та не менш за 8000 год на рік. ГВС містить елементи, які поєднано автоматизованою системою керування виробництвом та транспортно-складською автоматизованою системою. Це можуть бути виробничий модуль (ВМ), автоматична лінія (АЛ), автоматизовані ділянка (АД) чи цех (АЦ). ВМ містить, окрім одиниці технологічного обладнання, автоматизовані пристрої програмного керування та забезпечення автоматизованого технологічного процесу і функціонує автономно. Виконує багаторазові цикли, може вбудовуватись у систему більш високого рівня. В якості безпосередньо обробного обладнання може використовуватись верстат з ЧПК або обробний центр (ОЦ), комп'ютеризовані багатокоординатні верстати й промислові роботи або інші засоби їхнього обслуговування. Саме на це обладнання спрямовані інновації: нові конструктивні рішення, зокрема із використанням технологій мікроелектроніки, нові технології (наприклад, адитивні), нові матеріали (в першу чергу неметалеві, на основі композитів), комп'ютерні пристрої й інформаційні технології.

Розвиток безлюдних технологій вимагає створення нетрадиційних технологій (наприклад, надточне пресування, порошкові технології, тощо), використання композитних матеріалів, які потребують мінімальної обробки різанням.

В подальшій перспективі – створення на базі ЕОМ інтегрованих заводів, що потребують для обслуговування дуже незначної кількості людей і можуть працювати цілодобово й без зупинок (більшу частину часу в режимі безлюдної технології), випускати будь-яку продукцію, будь-якими партіями, в будь-який час.

На наступному етапі автоматизації повинні бути створені безвідмовні робочі машини, які самовідновлюються, виробничі системи й заводи на базі штучного інтелекту. Автоматичний завод є об'єктом інноваційних технологій і техніки, потребує значних інвестицій і пов'язаний з економічними ризиками.

До основного технологічного обладнання – складових ГВС (верстатів з ЧПК і ОЦ) ставлять вимоги:

1. обробка в автоматичному режимі значної номенклатури деталей при максимальній концентрації операцій на окремих одиницях обладнання, що дозволяє скоротити кількість обладнання і число переустановлень, поліпшити якість обробки і зменшити тривалість виробничого циклу (раціональна диференціація й концентрація операцій);
2. можливість швидкого переналадження обладнання, пристроїв накопичення і орієнтації при зміні предметів виробництва;
3. компоновочне і програмне стикування основного обладнання з транспортно-складськими і вимірювальними системами;
4. завантаження заготовок і вивантаження готових виробів з технологічного обладнання;
5. контроль і корекція режимів ТП відповідно до встановленого критерієм оптимізації;
6. контроль геометричних розмірів оброблюваних деталей і відповідна корекція для досягнення заданих розмірів;
7. діагностика стану інструментів;
8. заміна інструмента в разі поломки або зношення;

9. збір і видалення відходів за межі технологічного обладнання;

10. контроль наявності, витрат, інших параметрів технологічних середовищ (наприклад, змащувально-охолоджуючих рідин);

11. пошук несправностей (діагностика) вузлів верстата і системи управління;

12. можливість централізованого і локального (автономного) управління, здійснення зв'язку з верхнім рівнем управління з передачі керуючих впливів і облікової інформації, адаптація до інваріантної (базової) структури управління виробництвом

Для виробничих систем майбутнього є необхідним:

1. Відмова від диференціації обробки деталей та складання виробів – обробка й складання в одну операцію, на одному верстаті, що виконує комплекс робіт і здійснює безперервний процес, чи одній складальній системі.

2. Розробка уніфікованих проектів робочих місць з використанням спільної елементної й конструктивної бази для всіх підсистем підприємства (обробка, управління, контроль, транспортування, тощо)

3. Інформатизація процесів виробництва та інтеграція виробництва й керування в загальну комп'ютеризовану виробничу систему, застосування імітаційного моделювання для випробування і дослідження виробів і виробничих процесів.

Одночасно відбувається комп'ютерний супровід всього життєвого циклу створення і експлуатації технічної системи. В обробних центрах, високоточному обладнанні все більше використовуються інформаційно-комунікаційні технології на базі автоматизованих систем управління проектуванням, підготовкою виробництва, виготовленням, маркетингом і збутом

Характерною особливістю сучасного обладнання є перенесення функціонального навантаження з механічних вузлів на інтелектуальні (електронні, комп'ютерні) компоненти. Частка механічної частини в сучасному машинобудуванні скоротилася з 70% на початку 90-х років до 25-30% в даний час.

Автоматизація, впроваджена у виробничий процес, має наступні наслідки:

1. Скорочення термінів виробництва і випуску кінцевих виробів.

2. Підвищення якості та вибір адекватної системи менеджменту ISO 9000 („Just in Time“; „бережливе“ виробництво (Lean manufacturing); „теорія обмежень“ (Theory of Constraint); „шість сигм“ (Six Sigma) і ін.).

3. Підвищення фондовіддачі та виконання заданих параметрів виробничого ритму шляхом диспетчеризації технологічних процесів.

4. Зниження залежності вихідних показників виробництва від кваліфікації кадрів і суб'єктів управління (як мета – це відсутність ручної праці і впровадження експертно-формалізованих форм підтримки прийняття рішень).

5. Забезпечення „прозорості“ виробництва і ефективного управління ним за рахунок застосування засобів і методів, що відповідають рівню його складності, масштабу і типу.

Елементи циклу обробки (команди, інформація про розміри, про вибір інструменту, про параметри режиму різання тощо) подаються автоматично відповідно до заданої програми, тому не залежать від дій оператора і його помилки не впливають на якість обробки. Використання ОЦ зменшує вимоги до кваліфікації робітника, яка була умовою якісної обробки складних поверхонь на універсальних верстатах.

ВМ може вбудовуватись у систему більш високого рівня (рис. 4.1). Кілька елементарних модулів з локальними системами керування можуть бути об'єднані і мати спільну систему вимірювання, забезпечення інструментом, завантаження-розвантаження і, відповідно, групове керування, тобто утворювати виробничу ланку (рис. 4.2) (ВЛ, рос. – производственная ячейка).

Кілька ВМ та ВЛ, розташовані у послідовності технологічних операцій, можуть утворювати гнучку автоматизовану лінію (АЛ) (рис. 4.3). При обробці деталей на автоматичних лініях – безперервно діючих комплексах взаємозв'язаного обладнання і систем керування – необхідно забезпечувати тимчасову синхронізацію операцій і переходів.

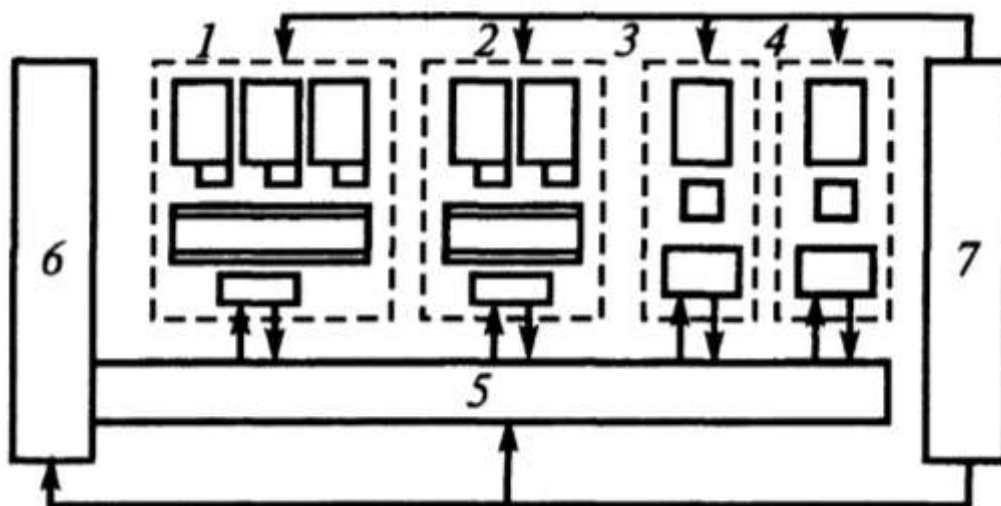
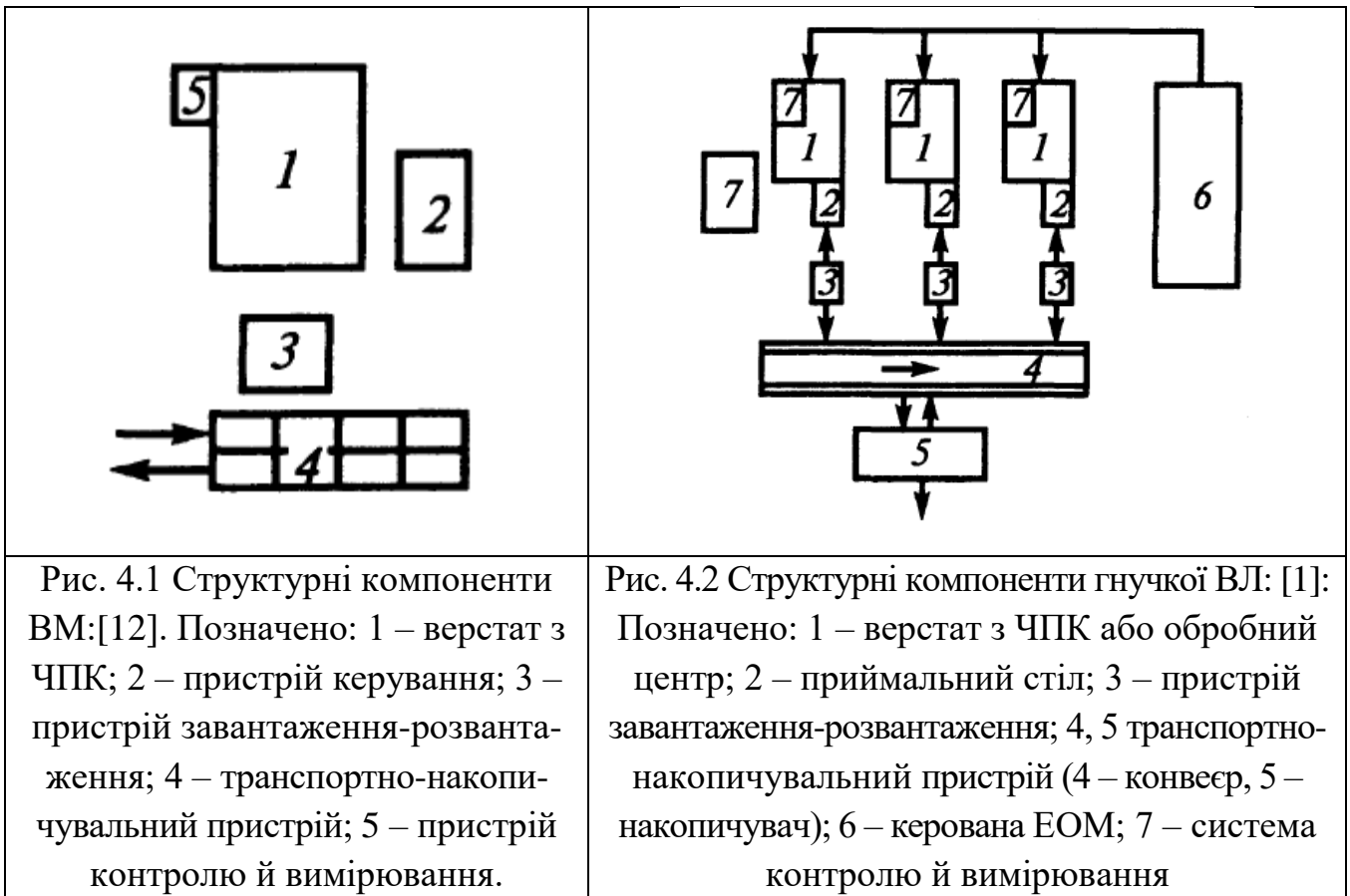


Рис. 4.3 Структурні компоненти гнучкої АЛ [1]. Позначено:
1, 2 – виробничі ланки; 3, 4 – виробничі модулі;
5 – транспортна система; 6 – склад; 7 – керуюча ЕОМ.

Автоматизована ділянка (АД) з можливістю перенастроювання дозволяє змінювати послідовність використання технологічного обладнання.

Тобто кожна структурна одиниця гнучких систем є функціонально незалежною, має свою локальну систему керування, що дозволяє їй функціонувати індивідуально або разом з іншим технологічним обладнанням в складі, наприклад, АД чи АЦ (автоматизованого цеху), що мають спільну автоматизовану систему керування, яка орієнтована на виготовлення виробів заданої номенклатури. До речі, можуть входити й окремі неавтоматизовані ділянки.

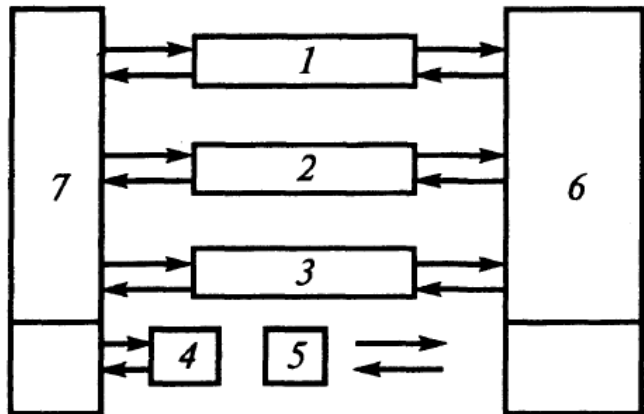


Рис. 4.4. Структурні компоненти АД [1]
Позначено: 1-3 – АЛ; 4 – ВЛ; 5 – ВМ;
6 – склад; 7 – керуюча ЕОМ

В систему забезпечення функціонування ГВС входять підсистеми [39]:

- автоматизована транспортно-складська система (АТСС);
- автоматизована система управління технологічними процесами (АСУ ТП);
- автоматизована система інструментального забезпечення (АСІЗ);
- система автоматизованого контролю (САК);
- автоматизована система видалення відходів (АСВВ);
- автоматизована система наукових досліджень (АСНД);
- система автоматизованого проектування (САПР);
- автоматизована система підготовки виробництва (АСТПВ);
- автоматизована система управління (АСУ) – охоплює всі рівні управління, зокрема й вищий рівень – керування виробничими одиницями (лініями й ділянками) згідно із заданим планом виробництва.

При цьому підсистеми АСУ, АСНД, САПР і АСТПВ є зовнішніми по відношенню до ВЛ, реалізують інформаційне забезпечення на вході ГВС з використанням відповідних баз даних (БД). Так АСУ забезпечує планування завантаження ВЛ за номенклатурою і якістю виробів, призначених до випуску в

певні періоди часу, і планування підготовки виробництва для ГВС; АСНД і САПР – автоматизоване проектування з випуском технічної та програмної документації; АСТПВ здійснює автоматизовані розробки технологічної документації, проектування засобів технологічного оснащення і випуск конструкторської документації на оснащення, розробку керуючих програм для ГВМ, ГВС; АСВ — автоматизоване випробування виробів.

Вибір обладнання автоматизованого виробництва

Вибір технічних засобів для автоматизованого виробництва (АВ) визначає структуру, компонування, технологічні можливості, експлуатаційні витрати та інші показники виробництва.

Проблема: виготовляють значну кількість різних деталей, які потребують для кожної деталі окремо різного обладнання і в різній кількості (залежно від матеріалів, якості, складності і розмірів оброблюваної деталі).

Вихідна інформація для вибору обладнання і ПР – відомості про оброблювані деталі і умови їх виготовлення: деталі повинні бути подібні за габаритними розмірами, масою, конфігурацією, конструктивними елементами, вимогами до точності і якості оброблених поверхонь тощо, їхня обробка повинна бути повністю закінчена (без специфічних операцій, наприклад, термообробка, викінчувальна обробка тощо, для виконання яких треба переривати маршрут обробки), повинні використовуватись подібні інструменти та оснащення, зокрема подібні поверхні для базування, що дозволяє використати подібні пристосування й захватні пристрої роботів. Завантаженість обладнання передбачає роботу у дві або три зміни.

Обирають:

- типи потрібного обладнання, пристосувань, ПР;
- характер і маршрут транспортування деталей;
- компоновку автоматизованого виробництва;
- здійснюють розрахунок місткості автоматизованого складу, числа супутників, оптимізацію просторового розташування обладнання.

Автоматизовані виробничі системи належать до великих технічних систем, які мають значну кількість взаємопов'язаних об'єктів (зокрема інформаційно пов'язаних) і характеризуються випадковими впливами в процесі експлуатації. Структурно-

компонувальне рішення є багатоваріантним, тому застосовують імітаційне моделювання з використанням відповідного програмного забезпечення і отримують основні характеристики різних компонок з врахуванням виробничих випадковостей.

Наступним етапом є перевірка технологічних процесів всіх деталей, що повинні оброблюватися в системі. Починають з технологічного процесу на деталь, яка має найбільшу кількість оброблених поверхонь.

Розрізняють два типи виробничих ділянок: для виготовлення деталей типу тіл обертання та корпусних деталей. Вони принципово різняться компоновками, обробним та допоміжним обладнанням. Наприклад, деталі типу тіл обертання не закріплюють у пристосуваннях-супутниках, вони обертаються при обробці.

Автоматизовані ділянки для обробки тіл обертання містять: токарні верстати з ЧПК, інші верстати (фрезерні, свердлильні, зубообробні тощо) – згідно з технологічним маршрутом. Сумістити токарну обробку з фрезеруванням, свердлінням, розточуванням можна при використанні токарних багатоопераційних верстатів. Заготовки розташовують на призмах чи у пазах у накопичувачах без жорсткого закріплення. Для завантаження-розвантаження заготовок/деталей застосовують промислові роботи.

Автоматизовані ділянки для обробки корпусних деталей в основному складаються з багатоопераційних верстатів з ЧПК типу „оброблювальний центр“, об'єднаних системою автоматичної транспортування деталей з автоматизованим складом. В автоматизованих ділянках також використовують координатно-вимірвальні, мийні машини та інше додаткове обладнання.

При великій програмі випуску деталей в АВ використовують верстати з ЧПК зі змінними багатошпindelних головками. Такі верстати збирають з комплексу уніфікованих вузлів, що включає станину, силовий стіл, привод головного руху, магазин змінних багатошпindelних головок. Багатошпindelні головки містять кілька інструментів, які за одну робочу подачу одночасно роблять обробку деталі.

Корпусні деталі в основному закріплюються в одномісних або багатомісних пристосуваннях-супутниках і транспортуються за допомогою рольгангів або конвеєрів між верстатами і автоматичним складом. Промислові роботи для транспортування корпусних деталей використовують рідко, тільки у випадках, коли корпусні деталі мають невеликі габаритні розміри і розвинені бази.

Пристосування-супутники мають форму прямокутної плити, на верхній частині якої закріплюються оброблювані деталі, а нижня частина має спеціальні пази

і отвори для базування на накопичувачах, транспортних засобах або робочих столах верстатів. Таким чином, пристосування-супутники мають функцію не тільки верстатних пристосувань, але і пристосувань для транспортування і зберігання деталей на складі.

Для виготовлення значної кількості однакових деталей (можуть відрізнятись масштабним фактором, матеріалами та якістю) застосовують високопродуктивні напівавтомати, автомати, автоматичні лінії, цехи-автомати і навіть заводи-автомати, які тривалий час працюють без переналагодження.

Однак таких деталей в машинобудуванні відносно небагато (20-25%). Більша ж частина деталей виготовляється в середньосерійному і дрібносерійному виробництві в невеликих кількостях (кілька сотень або навіть кілька десятків штук). При цьому відмінність між цими деталями (розміри, форма, матеріал, точність обробки) дуже значна. Тому до металорізальних верстатів ставиться вимога широкоуніверсальності і високої мобільності. До появи верстатів з ЧПК автоматизація управління таких верстатів була проблемною. У багатьох випадках доводилося жертвувати продуктивністю цих верстатів з метою отримання більшої мобільності.

На рис. 4.5 наведено приблизний розподіл в машинобудуванні номенклатури виготовлених деталей [1].



Рис. 4.5 Загальна структура деталей, які виготовляють на верстатах з ЧПК.

Особливості верстатів, пов'язані із специфікою деталей

Довгі деталі при їх виготовленні на токарних верстатах з ЧПУ потребують задню бабку для підтримки другого кінця деталі, а іноді ще й люнет. Часто такі деталі вимагають тільки токарного оброблення (обточування різних діаметрів, зокрема й криволінійних поверхонь, точіння канавок, фасок, підрізування торців, та ін.) і оброблюються на центрових верстатах.

У тих випадках, коли на таких деталях необхідно обробляти ще шпонкові пази, свердлити отвори, фрезерувати поверхні, потрібна їхня додаткова обробка на свердлильному і фрезерному верстатах.

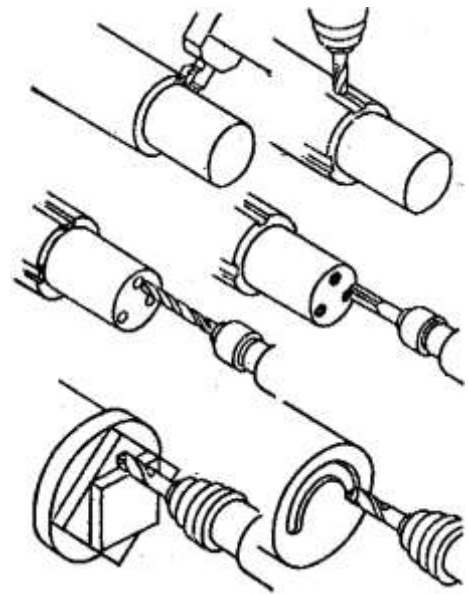


Рис. 4.6 Операції, які можна виконувати на токарних обробних центрах.

Короткі деталі (типу валиків, фланців, штуцерів та ін.). Можуть

а) – потребувати лише токарної обробки, але з необхідністю обробки криволінійних поверхонь і центральних отворів з однієї сторони (тобто обробка внутрішніх поверхонь). У цьому випадку на токарному верстаті з ЧПК проводиться повна обробка, в тому числі свердління і розточування центральних отворів необертним інструментом, встановленим в задній бабці або револьверної голівці. Тут проблемою є обробка криволінійних поверхонь, коли потрібно переміщення ріжучого інструменту одночасно по двох координатах (X і Z) за певною траєкторією (рис. 4.7, а). Використовують патронні верстати, токарно-карусельні (великі заготовки при співвідношенні висоти й діаметра 0,3-0,5), пруткові автомати (довжина прутка до 3 м), токарно-револьверні верстати (збільшується кількість встановлених інструментів).

б) – вимагають крім токарного оброблення, свердління отворів не тільки по центру, але і по колу, свердління поперечних отворів, фрезерування шпонкових пазів і шестигранників і ін. (рис. 4.7, б).

При цьому потрібна обробка з двох сторін (за два установи). У цьому випадку також потрібна обробка або на декількох верстатах (токарному, свердлильному, фрезерному), або необхідно мати на токарному верстаті з ЧПК можливість повороту на певний фіксований кут шпинделя із заготовкою за координатою C і встановлення в револьверній голівці верстата обертових інструментів (свердла, фрези), а для обробки з двох сторін на одному верстаті мати крім основного шпинделя ще й протишпиндель. Сучасний варіант вирішення цієї задачі – токарно-фрезерні обробні центри з кількома револьверними головками.

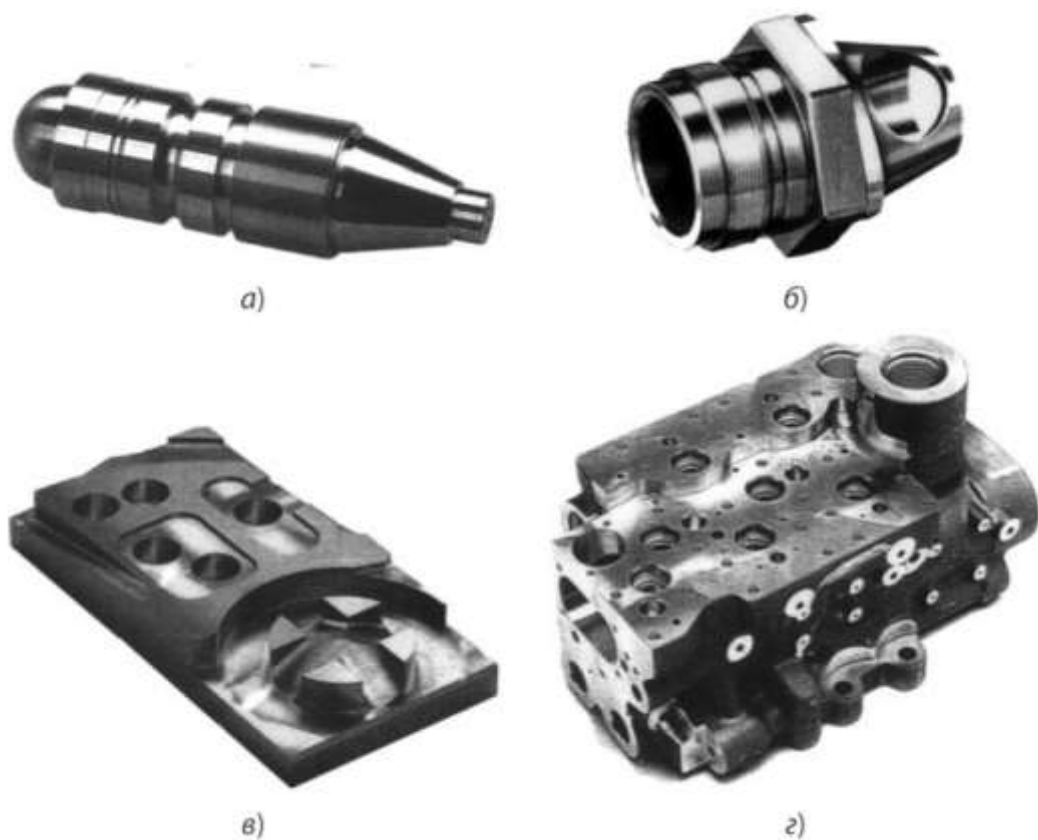


Рис. 4.7 Типові деталі, що виготовляються на токарних верстатах з ЧПУ (а і б) і на багатоцільових верстатах (в і г) з вертикальним і горизонтальним компонуванням шпинделя.

Фланцеві (плоскі) деталі оброблюють на свердлильних, фрезерних і координатно-розточувальних верстатах з вертикальним шпинделем з можливістю одночасного переміщення столу, супорту і шпиндельної бабки з інструментом (координати X, Y, Z). Обробка заготовки проводиться в більшості випадків з одного

боку, але великою кількістю різноманітних різальних інструментів (рис. 4.7, в). При обробці дуже складних об'ємних деталей з криволінійним профілем потрібно керувати одночасно за трьома координатами, а в окремих випадках – за чотирма і навіть за п'ятьма координатами; тоді додатково необхідно застосовувати поворотний стіл, іноді і два столи, і мати можливість повертати шпиндель (або шпиндельну бабку) на певний кут.

До появи верстатів з ЧПК виготовлення таких деталей було дуже трудомістким і здійснювалося на різних універсальних верстатах з керуванням ними вручну операторами високої кваліфікації.

Корпусні деталі (рис. 4.7, г). Їх особливістю є необхідність обробки великої кількості отворів і площин, розташованих практично з усіх боків деталі. У цьому випадку найчастіше необхідно застосовувати верстати з горизонтальним розташуванням шпинделя і з поворотним столом, що дозволяє обробляти деталь з чотирьох боків. Виготовлення таких деталей вимагає застосування великої кількості різних різучих інструментів і можливості суміщення на одному верстаті і чорнової, і чистової обробки. При виготовленні таких деталей на верстаті з вертикальним шпинделем застосовуються два столи: поворотний (на 360 °) і з можливістю нахилу (в межах до 180 °).

Площини фрезерують торцевими і кінцевими фрезами. Обробку відкритих площин кінцевими фрезами виконують в тому випадку, коли вони використовуються ще й для обробки інших поверхонь (пазів, уступів), щоб зменшити номенклатуру застосовуваних інструментів. Для обробки отворів великого діаметру в корпусних деталях на верстатах з ЧПК застосовують кругове фрезерування (раніше отвори оброблялися тільки розточування): продуктивність вище, ніж при розточуванні. Особливо доцільно застосовувати круговий фрезерування для попередньої обробки в литих заготовках (для зняття чорнового припуску).

Назва „багатоопераційні верстати“ (БЦ, багатоцільові, рус. – многоцелевые) відображає технологічну універсальність, можливість обробки деталей інструментами різних видів на відміну від звичайних операційних верстатів з ЧПК, що працюють

інструментами одного типу. Термін, оброблювальний центр в звичайному уявленні відповідає швидше поняттю комплексу устаткування (подібно до поняття „Обчислювальний центр“), ніж одному верстату, проте цей термін відображає тенденцію централізації обробки на одному верстаті. Різні назви свідчать про наявність різних поглядів на багатоопераційні верстати. У цих поглядах є **дві протилежні думки**:

1) багатоопераційні верстати – чергове удосконалення верстатів з ЧПК, що полягає в оснащенні їх магазином інструментів, чим досягається одна з модифікацій фрезерних, розточувальних і свердлувальних верстатів;

2) багатоопераційні верстати – якісно нове явище в металорізальних верстатах, що відображає сучасні тенденції розвитку верстатобудування.

Багатоопераційні верстати складніші і дорожчі за звичайні верстати з ЧПК, але завдяки високій концентрації обробки, підвищеній продуктивності (один такий верстат замінює до 5-8 звичайних верстатів) швидко окупаються в серійному виробництві.

Підвищення продуктивності на БЦ досягається не за рахунок одночасної обробки різними інструментами кількох поверхонь одночасно як це може бути на традиційних агрегатних верстатах, багатошпindelних верстатах-автоматах, а за рахунок різкого скорочення непродуктивних втрат часу на холості ходи й переналагодження. На традиційних верстатах частка машинного часу не перевищує 18-20 % у загальному часі обробки, на верстатах з ЧПК ця частка зросла до 45-50 %, а на БЦ – до 70-75 %. Стабільність розмірів деталей, оброблених на БЦ, дозволяє скоротити кількість контрольних операцій на 50-70 %.

Багатоопераційні верстати оснащуються двома або більше змінними столами. Поки на одному столі ведеться обробка чергової заготовки, з другого столу знімається готова деталь і на її місце встановлюється наступна заготовка. Таким чином, відбувається поєднання ручного і машинного часу. А для того, щоб ввести нову заготовку в робочу зону після обробки попередньої, потрібно всього лише кілька секунд.

Простота налагодження і переналагодження багатоопераційних верстатів, а також виключення складної і дорогої технологічної оснастки (шаблонів, копіїв, кондукторів, спеціальних пристосувань і т. п.) створюють сприятливі умови для

застосування таких верстатів в дрібносерійному і дослідному виробництвах, особливо в тих випадках, коли є можливість підготовки керуючих програм за допомогою ЕОМ.

Багатоопераційні верстати придатні для виготовлення будь-яких деталей, однак висока вартість робить нерентабельним їх використання при виробництві простих деталей. Чим складніше деталь, чим більше переходів і операцій містить технологічний процес, тим ефективніше застосування цих верстатів.

Обробні центри й багатоцільові верстати можуть бути:

- горизонтальні – призначені переважно для фрезерування великих заготовок та порожнин, поширений тип верстатів для тристоронніх дискових фрез. Як правило, мають чотири рухомих осі та доступ до заготовки за трьома з них. Компоновка забезпечує ергономічну й економічну систему зміни палет з деталями.
- Вертикальні:
 1. невеликі, компактні, для високошвидкісної обробки невеликих деталей
 2. великі для обробки масивних, великогабаритних деталей, для деталей гігантського розміру – верстати колонного типу. Забезпечують більшу стабільність процесу за рахунок відсутності переміщень деталі.

Більшість сучасних високошвидкісних багатоцільових верстатів мають мотор-шпинделі і, відповідно, безступінчасте регулювання швидкості головного руху: тобто на високих швидкостях забезпечується невеликий момент, а на низьких оборотах – невисока потужність. Саме тому високошвидкісні верстати не придатні для чорнової обробки фрезами великого діаметра.

Вищенаведене визначає сучасні тенденції вибору методу фрезерування: швидкісна обробка з незначними навантаженнями фрезами невеликого діаметра, з невеликими глибинами різання і великими подачами на зуб. За необхідності забезпечення високої потужності на низьких оборотах приводи головного руху можуть бути оснащені редуктором, що дозволить виконувати на даному обладнанні як чистові, так і чорнові операції.

Виконання важких фрезерних операцій потребує більшого розміру шпинделя, в той час як високошвидкісне фрезерування, при якому немає необхідності у передачі високого моменту, доцільніше здійснювати на верстатах з невеликим розміром шпинделя.

Розмір шпинделя визначає можливий максимальний діаметр фрези і глибину різання, з якою можна вести обробку на даному верстаті.

У додатку Д1 наведено компоновки токарних багатоцільових верстатів.

Довідка

Компоновки верстатів розрізняються розміщенням шпинделя в просторі, взаємним розташуванням основних вузлів, типом і розміщенням пристрою автоматичної зміни інструментів, типом пристрою для автоматичної зміни деталей, видом сполучення основних вузлів (основи, колони, шпиндельні бабки, столи).

Основні компоновки вертикальних багатоцільових верстатів приведені на рис. 4.8. Зазвичай нерухомим елементом компоновки є колона. Компоновки, згідно рис. 4.8, а, б, відрізняються тим, що колона 3 і стіл 1 розташовані на загальній основі, тобто на плиті 4, шпиндельна бабка 2 переміщається у вертикальному напрямі. У верстатах, виготовлених по схемах на рис. 4.8, в, г, рух передається колоні. У компоновках на рис. 4.8, д колона і стіл розташовані на загальній основі; відносно жорсткості і технологічності цей варіант краще першого. У компоновці на рис. 4.8, е колона і стіл стикаються по вертикальній площині. Цей варіант найбільш зручний для створення гнучкої модульної системи

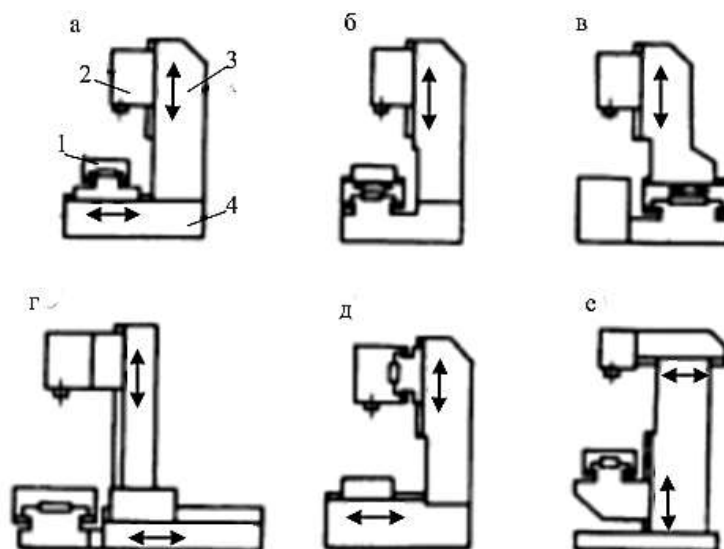


Рис. 4.8 – Компоновки вертикальних багатоцільових верстатів

Компоновки горизонтальних багатоцільових верстатів різноманітніші (рис. 4.9). Широко поширені верстати з хрестовим столом, який виконує позиціювання оброблюваної деталі, і шпindelною бабкою, що переміщається у вертикальному напрямі (рис. 4.9, а, б). Зустрічаються компоновки з одно-координатним і двокоординатним переміщенням колони (рис. 4.9, в, г, д, е та інші). Компоновки, в яких поперечний рух здійснює шпindelна бабка (рис. 4.9, ж, з), дозволяють відносно просто вирішувати питання прибирання стружки і захисту направляючих. Зустрічаються компоновки, аналогічні універсальним фрезерним верстатам (рис. 4.9, і). У верстатах із столом, робоча поверхня якого розташована вертикально (рис. 4.9, к, л, м, н, о), забезпечено безперешкодне відведення стружки і охолоджуючої рідини. Такі ж переваги компоновки (рис. 4.9, п), в якій оброблювані деталі закріплюються на горизонтальній площині столу, оберненій вниз. У компоновці на рис. 4.9, р передбачений поворотний стіл, робоча площина якого може займати два горизонтальних і вертикальних положення, завдяки чому забезпечуються зручність установки деталі і можливість її обробки з п'яти сторін.

Верстати з хрестовим столом менш металоємні, проте у разі застосування подовженого столу виникають труднощі в забезпеченні точності траєкторій його переміщення. На верстатах із столом і стійкою, що здійснюють рух тільки по одній координаті, легко досягти необхідної точності, гак як стіл не має консольних ділянок і взаємний вплив переміщень по різних координатах зникає. Верстати з хрестовою стійкою найбільш зручні для вбудовування в гнучкі виробничі системи, оскільки при нерухомому столі відносно просто забезпечити збір і відведення стружки, його стиковку з пристроєм автоматичної зміни оброблюваних деталей.

Типова компоновка горизонтального багатоопераційного верстата показана на рис. 4.10.

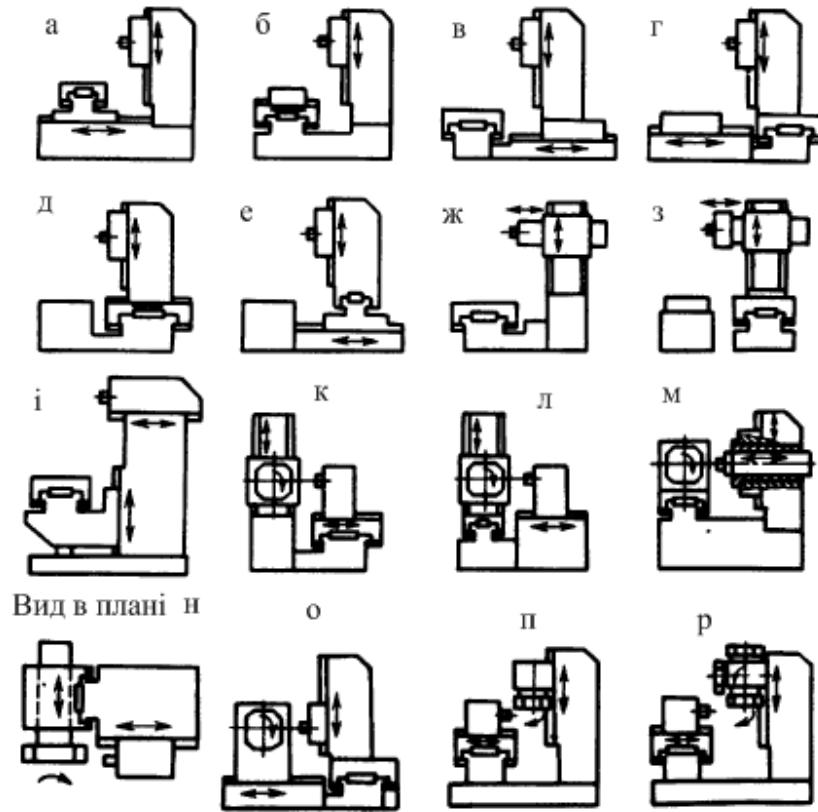


Рис. 4.9 – Компоновки горизонтальних багатоцільових верстатів

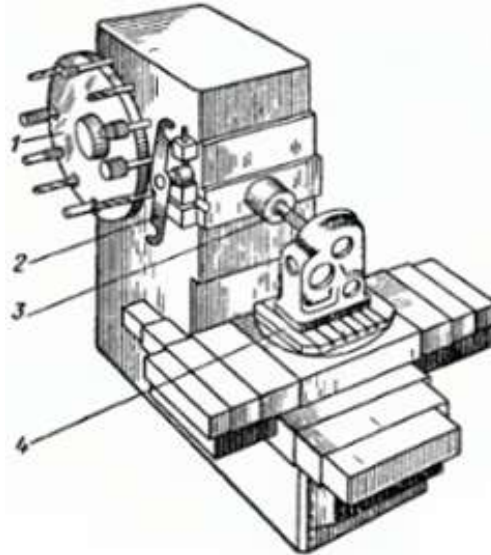


Рис. 4.10 – Компоновка горизонтального багатоопераційного верстата:
1 – магазин, 2 – автооператор, 3 – шпиндель, 4 – поворотний стіл.

Основні конструктивні особливості багатоопераційних верстатів зводяться до наступного.

1. Верстати виготовляють зазвичай в одношпindelному виконання або з шпindelною револьверною головкою, у якій шпindelі працюють по черзі. У

випадках, коли верстати виготовляють з двома шпинделями, один призначається для важких, а інший – для легких робіт.

2. Автоматична зміна інструментів здійснюється за допомогою індексування револьверної шпиндельної головки або автоматичного розвантаження і завантаження шпинделя оправками з інструментами з магазинів за допомогою автооператорів. Ємкість магазинів у верстатах складає 12-100 інструментів і більш. Зміна інструментів займає всього декілька секунд.

3. Для послідовної обробки деталей з різних сторін верстати забезпечують прецизійними поворотними столами, що індексуються через кут в 90° або здатними повертатися на різні кути, задані програмним управлінням.

4. Для поєднання часу установки нових заготовок з основним часом роботи верстати оснащують додатковими завантажувальними позиціями і спеціальними автоматичними пристроями, внаслідок чого час зміни заготовок знижується до декількох десятків секунд.

5. Верстати обладнані позиційними або безперервними (контурними) системами числового програмного управління, на яке покладається автоматичне управління всіма переміщеннями вузлів верстата, зміною інструментів і заготовок, поворотом столу з оброблюваною деталлю, автоматична зміна частоти обертання шпинделя і швидкості подачі і деякі інші технологічні команди управління.

6. Для можливості безперебійного виконання точних складних і тривалих за часом сукупних операцій обробки конструкцію верстата розробляють з урахуванням досягнення максимальної надійності і підвищеної точності. На багатьох багатоопераційних верстатах досягнута точність позиціювання 0,01-0,02мм, а на особливо точних – 0,005мм.

На сьогоднішній день при використанні модульного принципу побудови верстатів з ЧПК існує два напрямки: перший напрямок – це виробництво різних модифікацій верстата з ЧПК на основі однієї його базової моделі і самостійно розроблених цією ж фірмою ряду різних уніфікованих основних вузлів і механізмів (рис. 3.5, а). Іншим прикладом є багатоцільові верстати з ЧПУ з горизонтальною компоновкою

шпинделя фірми Graffenstaden (Франція), різні модифікації яких можна створювати з гами модулів, розроблених і виготовлених даною фірмою (рис. 3.5, б).

У міру збільшення централізованої розробки і виготовлення все більшої різноманітності уніфікованих і нормалізованих вузлів і механізмів верстатів з ЧПК спеціалізованими фірмами більш перспективним стає другий напрямок використання модульного принципу, коли при розробці та виготовленні конкретних верстатів з ЧПК в максимальному ступені застосовуються готові модулі більшості вузлів і механізмів верстатів з ЧПК.

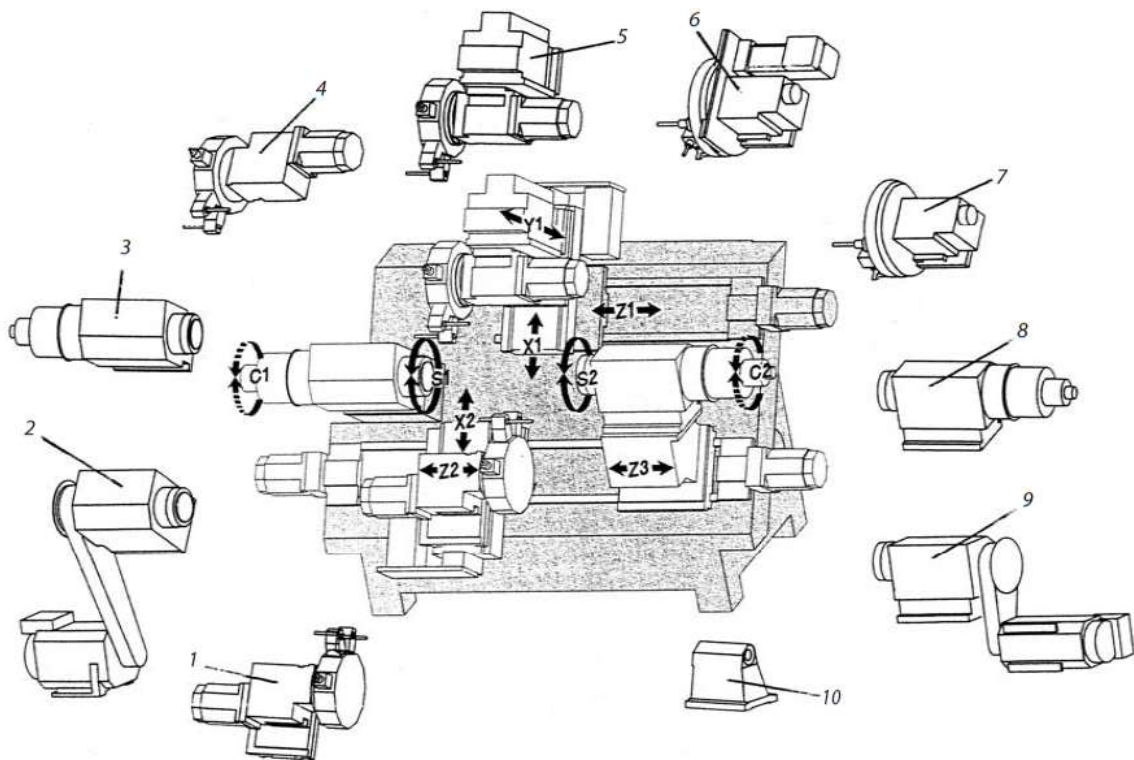
Застосування модульного принципу побудови верстатів з ЧПК за першим і, особливо, за другим напрямом дозволяє:

- скоротити час розробки, проектування і виготовлення верстатів для обробки встановленої номенклатури заготовок з отриманням заданих технічних і технологічних характеристик;
- знизити вартість металорізальних верстатів. Створені на модульному принципі верстати не мають надлишкових функцій, тому вони економічніші за верстати з універсальними можливостями;
- збільшити надійність роботи верстата за рахунок відпрацьованих конструкцій модулів, що входять у його склад, і найбільшої відповідності даної конструкції модулів виконуваному завданню;
- підвищити точність верстата. Фірма, яка професійно займається випуском конкретного модуля, якісніше, швидше і дешевше виготовить даний модуль;
- підвищити гнучкість (здатність верстатів до переналаджування) за рахунок можливості швидшого компонування верстату за наявності готових вузлів і механізмів;
- поліпшити умови експлуатації та ремонтпридатність за рахунок зменшення різноманітності конструкцій модулів і складових їх елементів порівняно з верстатами, які не мають модульної конструкції.

На рис. 4.11 показано застосування модульного принципу. Позначено:

а): 1 – супорт з нижньою револьверною головкою; 2 і 3 – варіанти виконання приводу головного руху; 4-7 – варіанти супорта з верхньою револьверною головкою; 8-9 – варіанти виконання протишпинделя; 10 – задня бабка;

б): 1 – основна плита; 2 – пересувна основа з ділильним столом; 3 – вбудований поворотний стіл; 4 – двохосьовий поворотний стіл; 5 – подовжена станина; 6 - двостороння станина; 7 і 8 – салазки на подовжену і двосторонню станини; 9, 10 та 11 – стойки з ходом відповідно 1000, 1500-2000, 650-800-1000 мм; 12 – механізм перемикання магазинів; 13 – інструментальний магазин; 14 – накопичувач магазинів; 15 – рейковий шлях для магазинів; 16 – візок для магазинів; 17 – шпindelний блок для ЕД потужністю 15 л.с.; 18, 19, 20 – гільзи шпинделя, відповідно для великої, середньої і малої швидкостей; 21 – шпindelний блок для ЕД потужністю 30 л.с; 22, 23, 24 – гільзи шпинделя, відповідно для великої, середньої і малої швидкостей; 25 і 26 – фреза і борштанга великого діаметра; 27, 28, 29, 30, 31, 32 і 33 – відповідно багатошпindelна і протяжна головки, головка з токарними різцями, пазофрезерна, кутова і фрезерна головки; 34 – універсальний піддон; 35 – трубка; 36 – балка; 37 – кутове пристосування; 38 – ділильний стіл.



а)

Рис. 4.11а Модульний принцип побудови верстатів з ЧПУ:

а – токарного багатоцільового верстата з ЧПУ фірми Schaublin (Швейцарія) [1].

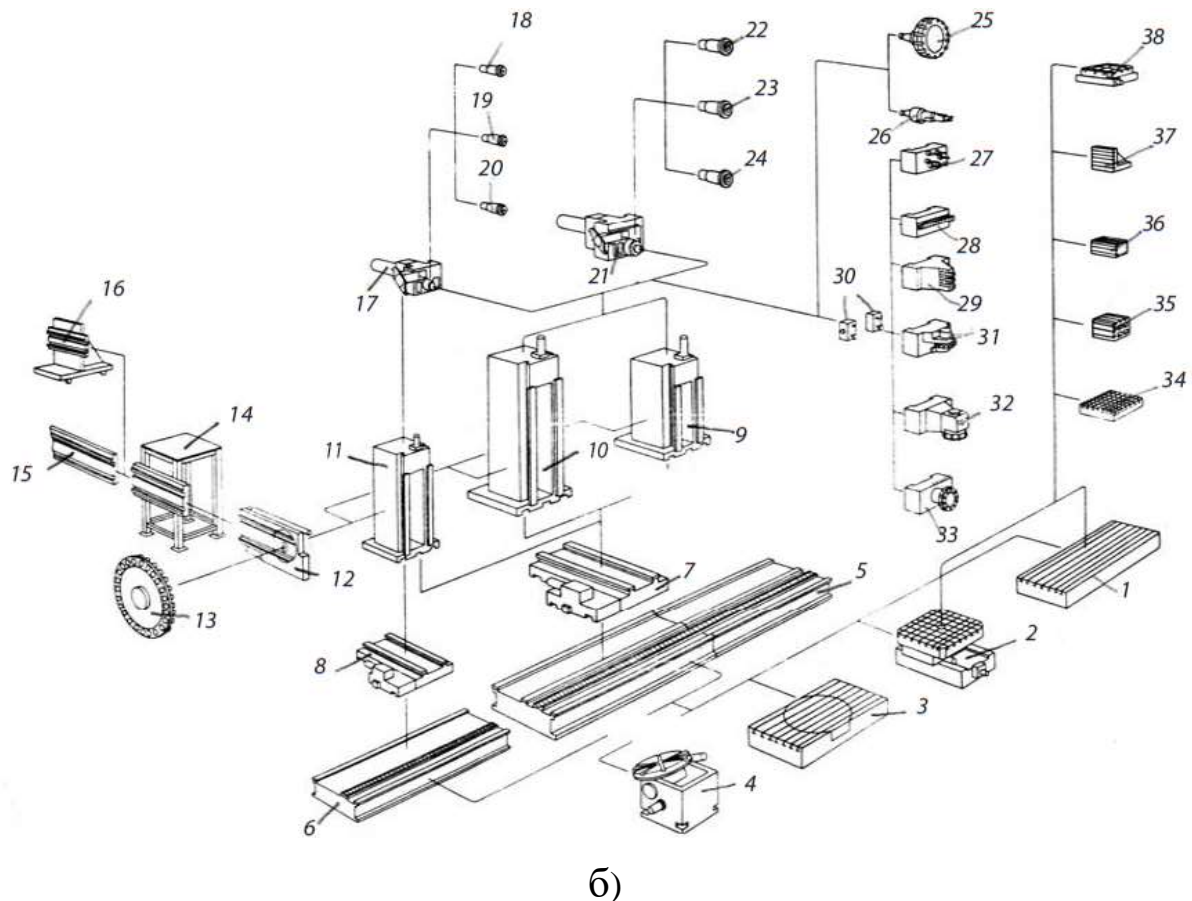


Рис. 4.11б Модульний принцип побудови верстатів з ЧПУ:

б – багатоцільового верстата з ЧПУ фірми Graffenstaden (Франція) [1].

Одним з найважливіших напрямків сучасного технічного прогресу є роботизація. Інтеграція верстатів типу обробний центр з промисловими роботами (ПР) і комп'ютером дозволила створити гнучкі виробничі системи. Визнаний лідер в цій галузі – Японія, на яку припадає 60% світового парку промислових роботів. Далі слідують США, Німеччина, Франція, Італія, Великобританія і Швеція. Виробництво ПР неухильно зростає. За період з 1982 року по 2013 загальний парк ПР виріс з 26,9 тис. одиниць до 1 500 000 одиниць з урахуванням застарілих і знятих з виробництва. Тільки за період з 2010 по 2013 роки щорічний приріст парку ПР склав в середньому 147000 на рік. В машинобудуванні зосереджено 75% цього парку. В 2012 році 70% продажів від усього світового споживання промислових роботів розподілилися між п'ятьма країнами: Японія, Німеччина, США, Китай і Південна Корея.

Важливим напрямом технічної політики, зокрема й держави, є широке використання інформаційних технологій та створення високопродуктивного й високоефективного виробництва, яке має можливість швидкого переналагодження при переході з одного типу виробу на інший, тобто створення гнучких виробничих систем (ГВС) та верстатних комплексів із відкритою архітектурою, тобто із здатністю до реконфігурації.

Отже є тенденція до зменшення партій, до індивідуалізації виробів. Це означає в умовах адаптації до нових тенденцій Індустрії 4.0 змінювання вимог як до обладнання, так і до навичок спеціалістів та взаємодії зацікавлених осіб. Виробники повинні:

- випускати малі партії чи одиничні вироби за собівартістю великих партій за повної автоматизації;
- оптимізація виробництва: як виробничих процесів і складу обладнання (реалізація високих технологій, так і споживання енергії та сировини, а також дій співробітників незалежно від їхнього досвіду (стандартизація дій: наприклад, майже всі компанії застосовують стандартні керуючі програми для обладнання);
- діагностика стану механізмів, контроль виробів з метою забезпечення виконання виробничих задач та обслуговування і ремонту без порушення виробничого процесу.

Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки, інформаційних технологій та програмного забезпечення (у різних галузях існують САПР) дозволяють комп'ютеризувати фактично будь-який вид діяльності людини, який пов'язаний з обробкою інформації

Учасники виробничого процесу та їхня взаємодія показані на рис. 4.12.

Традиційному типу виробничих структур властиве:

- відсутність підкреслено-виразної технологічної спеціалізації машинобудівних виробництв (предметна спеціалізація по підприємствам властива галузі);
- розпорошеність технологічних ресурсів;
- недостатні чи, навпаки, надлишкові потужності ВС;
- відсутність необхідної гнучкості при переході до випуску іншої продукції (вимагається докорінна перебудова із залученням значних коштів, що в цілому складно реалізувати).

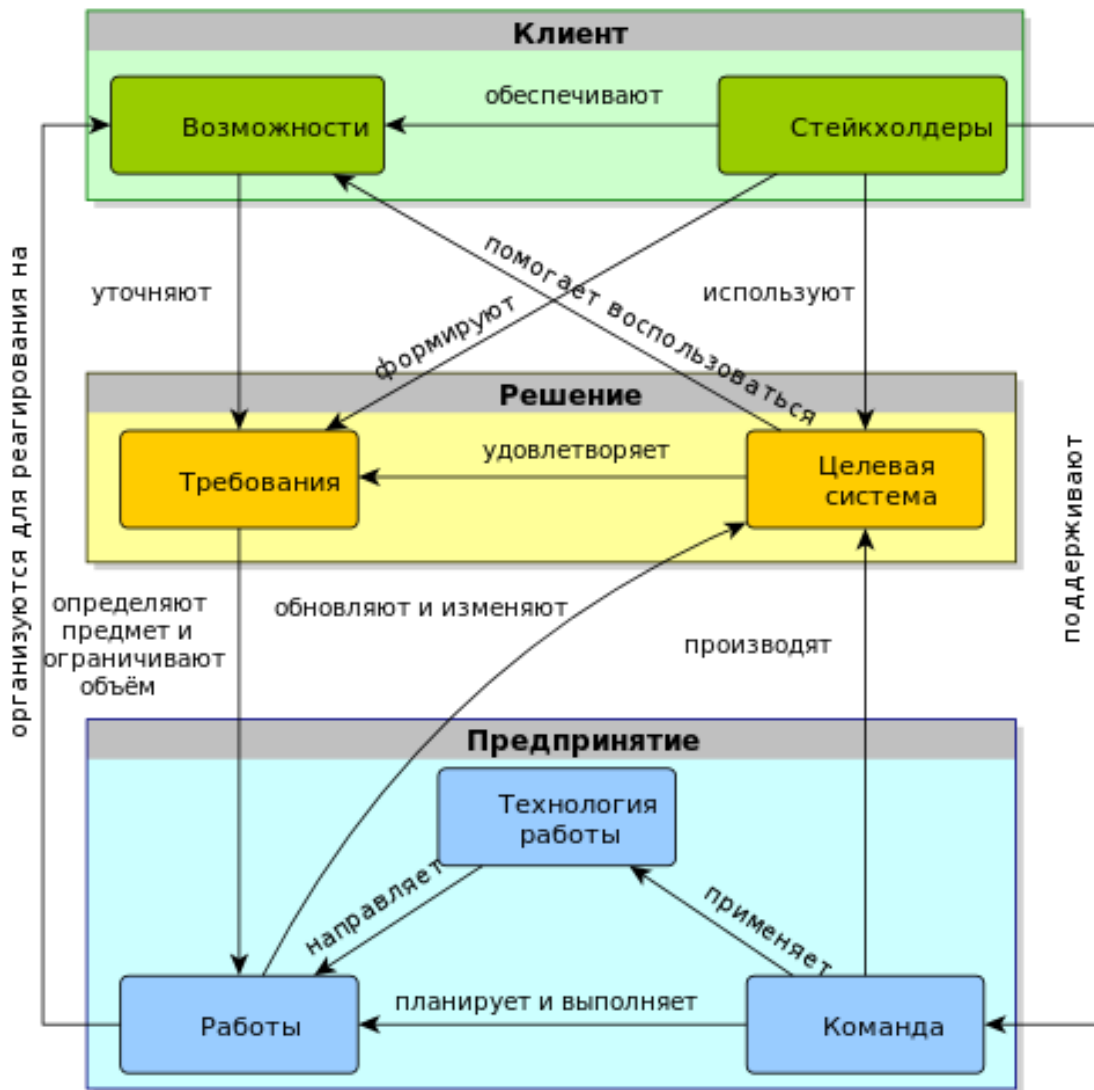


Рис. 4.12 Взаємодія основних осіб та об'єктів [OMG Essence 2014]

Складність сучасних технологій потребує концентрації фінансового і інтелектуального капіталу. В одній країні неможливо створити весь технологічний ланцюжок. Тому розробка і виробництво сучасного наукоємного продукту призвело до створення транснаціональних корпорацій-монополістів.

Будь-який виробник повинен передбачати створення і використання комплексних систем автоматизованого проектування й виготовлення виробів: конструювання, технологічне проектування, підготовка програм керування для обладнання (яке повинно бути розраховано на це), виготовлення деталей, складання вузлів та машин, пакування, транспортування готової продукції.

Система автоматизації проектування технологічних процесів перш за все повинна забезпечити гнучкість, тобто швидкий перехід на нові технологічні процеси в разі, якщо змінюються умови забезпечення якості оброблюваних деталей (точність, якість поверхні тощо) або продуктивності. Якщо змінюються конструктивні параметри, то переналадження на інші якісні й кількісні параметри повинно здійснюватися в обмежені строки і з мінімальними витратами.

Останнім часом швидкість проектних розробок перевищує швидкість перебудови промислових підрозділів. Поява ринку проектних послуг конструкторських бюро вимагає наявності виробничих систем, які можуть ці проекти реалізувати у короткі строки. Життєвий цикл проекту може бути досить коротким і тому здійснити фізичну модернізацію обладнання неможливо. До того ж може бути необхідним одночасне виготовлення деякої кількості деталей різної номенклатури. Тобто обладнання повинно бути об'єктно-орієнтованим та багатооб'єктним. Щоб вирішити задачу без трудомісткої матеріальної перебудови обладнання, а то і підприємства, треба знайти новий підхід, яким виявилось залучення до виробництва існуючого обладнання, що не завантажено на 100 %, в межах фонду їхнього вільного часу або створення віртуального підприємства, коли виготовлення виробів розподілено в просторі й часі серед різних проектних організацій і підприємств.

Реалізувати таку ідею можна в рамках концепції CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support – Підтримка Життєвого Циклу Виробів). Під цією назвою розуміють комп'ютеризацію промислового виробництва на базі уніфікації й стандартизації промислової продукції, широкого узгодження вимог та залучення постачальників інструментальних засобів. Таким чином треба забезпечити стандартну структуру проектної, технологічної й експлуатаційної документації та стандартні мови її представлення (тож є припустимим використовувати неоднакові CAD/CAM системи. Впровадження CALS-технологій визначається можливостями інформаційних технологій. На вході CALS-технологія пов'язана із замовленнями, а на виході – з готовою продукцією, вона інтегрується з CAE/CAD/CAM системами та перетинається з PDM (Product Data Manager).

Зростання конкуренції зумовило прагнення зниження витрат на виробництво продукції, зокрема це призвело до перенесення найбільш витратних видів виробництва у країни, що розвиваються, тобто мають дешеві ресурси, мінімальні податки та невисокі трансакційні витрати.

Довідка:

Трансакційні витрати (англ. transaction cost) — витрати, які виникають в зв'язку із укладанням контрактів. Виділяють:

- *витрати збору й обробки інформації,*
- *витрати проведення перемовин та прийняття рішень,*
- *витрати контролю,*
- *витрати юридичного захисту виконання контракту*

Характерне також зростання спеціалізації, кооперація машинобудівних підприємств, посилення ролі великих бізнес-структур, які створюються на загальних технологічних платформах із застосуванням інноваційних реінжинірингових схем реконструкції виробництв.

Ефективності виробництва у машинобудуванні сприяє використання інформаційних технологій, робототехніки, верстатів з ЧПК, систем керування виробничими об'єктами і виробництвом в цілому.

Стоїть задача сформувати ВС із заданими властивостями без матеріальних витрат.

Одним з напрямків вирішення проблеми є організація віртуальних виробничих систем з метою використання реально існуючих виробництв, що мають технологічне обладнання, але територіально та організаційно не поєднані. Інформація про структуру подібної системи зберігається в пам'яті сервера. Матеріальні перебудови відсутні. Матеріальною основою такої виробничої системи є сукупність технологічного обладнання, яке не обов'язково знаходиться на одному підприємстві, в межах фонду їхнього вільного часу. Організація віртуальної системи базується на технологічному змістові проекту, який реалізують. Створюється вона у взаємозв'язку прямих та

зворотних зв'язків інформаційних потоків. Система керування функціонує без залучення людини. Система створюється на період життєвого циклу.

Зараз тенденція створення віртуальних виробничих систем має подальший розвиток. Створення технологічного забезпечення обладнання з ЧПК для виготовлення виробів може бути рознесено у часі і просторі між багатьма проектними організаціями і промисловими підприємствами.

На сучасному світовому ринку зростає конкуренція, що примушує виробників перейматися конкурентоздатністю їхньої продукції. Існують традиційні способи її забезпечення: підвищення якості, надійності, ефективності, розширення технологічних можливостей і, звісно, зменшення собівартості. Сьогодні актуальними стали:

1. швидкість реакції на потреби ринку; Умови: доступність актуальної документації і простота її обробки; зниження тимчасових і матеріальних витрат на навчання персоналу і експлуатацію обладнання в разі необхідності адаптації його до нової продукції;
2. зниження витрат на експлуатацію, ремонт і утилізацію;
3. забезпечення простоти і зручності експлуатації і обслуговування.

Останнім часом швидкість організаційних перебудов в проектних організаціях істотно випереджає швидкість перебудови на промислових підприємствах, посилюється конкуренція. Все це гостро ставить питання розробки методів забезпечення швидкої перебудови та адаптації ВС для виконання створюваних проектів, причому виконання таких проектів має передбачати виготовлення деталей широкої номенклатури різної кількості. Вироби з великим обсягом випуску також доцільно починати виготовляти на гнучкому виробництві, починаючи з малих програм Це дозволить «довести» конструкцію виробу, відпрацювати технологічність оригінальних деталей, прискорить терміни впровадження і нарощування обсягу випуску.

Поява ринку проектних послуг конструкторських бюро висуває вимогу формування ВС, здатних реалізувати проекти, що розробляються в короткі терміни при забезпеченні заданих параметрів.

У ряді галузь машинобудування стратегічним напрямом є безпосередньо перехід від підприємств інсорсінгового типу (підприємств повного технологічного циклу, що

включають ланцюжок «заготівельне виробництво – механообработка – агрегування – складання – „польове“ випробування“) до **аутсорсингу** – до промислового складання виробів з комплектуючих, що їх одержують від зарубіжних постачальників. У цьому випадку „проекткування“ інновацій зводиться до копіювання зразків техніки, що діють у лідерів ринку і «вбиває» креативну складову процесу проектування. особливо у 2000-2010 р.р. в автомобілебудуванні).

Інсорсинг - це заводи повного технологічного циклу. Їхніми перевагами за звичай вважають наступне [<https://helpiks.org/8-27014.html>]:

- спеціалізація у вузькій предметній області, що зумовлює ефект масштабу, і, як наслідок зниження витрат
- підвищення якості та надійності виконання технологічних переділів, тому що при вирішенні подібних завдань компанії-інсорсери вже накопичили великий досвід і можуть використовувати новітні технології та висококваліфікований персонал;
- економія на транспортуванні (наприклад, автокомпонентів);
- при передачі на аутсорсинг декількох важливих технологічних переділів виникає ризик витоку інформації і появи нового конкурента; втрата контролю над «ноу-хау», винаходами і т.д.;
- необхідність створювати наукові школи технологів, конструкторів, проектувальників;
- компанія, при відмові від послуг аутсорсера або його банкрутства, може зіткнутися з необхідністю почати самостійно виконувати технологічні процеси, які раніше були на аутсорсера, в відсутності необхідних знань і досвіду через тривале користування послугами чужих фахівців замість навчання своїх.

Перевагою аутсорсингової концепції розвитку є:

- швидке наближення до лідерів ринку за якістю і конкурентоспроможністю (але з різким зростанням трансакційних витрат);
- можливість вибору постачальників комплектуючих, а не жорстка прив'язка до власних виробників (але з втратою доданої вартості);

- приєднання до світових брендів (але з деградацією власних наукових шкіл конструкторів і технологів);
- перехід на освоєні виробничі платформи (але з втратою власних)

Питання для повторення та контролю знань

1. Ознаки сучасного виробництва
2. Як і навіщо визначають тип виробництва
3. Рівні автоматизації: обладнання й функції робітника, ознаки, переваги
4. ГВС: вимоги, принципи вибору складових елементів
5. Наслідки автоматизації, впровадженої у виробничий процес.
6. Вибір обладнання автоматизованого виробництва. Охарактеризувати обладнання, що використовується
7. Багатоопераційні верстати: особливості, переваги, компоновки, наслідки застосування модульного принципу
8. Основні конструктивні особливості багатоопераційних верстатів.
9. Структурні компоненти гнучких виробничих модулів, ланок, автоматичних ліній, автоматизованих ділянок.
10. Підсистеми, що забезпечують функціонування ГВС.
11. Вибір технічних засобів для автоматизованого виробництва
12. Учасники виробничого процесу та їхня взаємодія. Традиційний та сучасний тип виробничих структур.
13. Впровадження CALS-технологій: сутність та умови.
14. Віртуальні виробничі системи.
15. Порівняти аутсорсинг та інсорсинг за перевагами й негативними наслідками

5 Системи керування в автоматичному виробництві.

Функціонування верстатів залежить від його структури й алгоритму керування. Структура верстата визначає зв'язок між робочими органами, допоміжними механізмами і пристроями та склад системи керування. Алгоритм керування задає системі керування послідовність виконання функцій керування верстатом. Згідно з алгоритмом функціонування верстата складається керуюча програма, що містить

- технологічні команди: керування переміщеннями робочих органів із заданими швидкостями на задану відстань
- циклові: забезпечують цикл оброки – перемикання швидкостей, вибір та зміну інструменту, зміну супутників із заготовками, подача МОР, контроль точності обробки і т. ін.
- службові або логічні: забезпечують, щоб верстат правильно відпрацьовував всі команди.

За функціональним призначенням:

- Керування автоматичними циклами обробки, які повторюються (наприклад, обробний центр, що виконує в процесі обробки токарні, свердлильні, фрезерувальні операції). Як пристрій керування можуть використовуватися програмовані контролери.
- Керування автоматичними циклами обробки, які змінюються (циклове керування, СЦПУ). Задають у вигляді індивідуальних для кожного циклу матеріальних моделей-аналогів (копіри, кулачки, системи упорів, тощо)
- Числове програмне керування (з використанням цифрової обробки дискретної керуючої інформації)

Створення програмного забезпечення ЧПК займає до 85% трудовитрат на розробку всієї системи. Розвинене програмне забезпечення дозволяє розроблювати технологічні програми обробки складних поверхонь (зокрема й криволінійних). Ефективні алгоритми компенсації люфтів і геометричних помилок забезпечують високу точність позиціонування. Програмно-апаратні пристрої захисту та автодіагностики відповідають за надійність систем автоматичного керування й безпеку експлуатації.

Система керування здійснює моніторинг виробничого процесу за допомогою вимірювальних і контролюючих пристроїв.

За алгоритмом керування системи програмного керування (СПК) можуть бути:

- Розімкнені – прямий потік інформації, пристрій керування не контролює дійсне положення робочого органу, тому точність його переміщення буде залежати від точності передавальних механізмів приводу подач
- Замкнені – із зворотним зв'язком за положенням робочого органу верстата; із зворотним зв'язком та компенсацією похибок верстата, зумовлених деформаціями, зношенням напрямних, вібраціями; адаптивні, що мають додатковий зворотний зв'язок за параметрами процесу обробки (силою різання, крутному моменту, температурі у зоні різання, амплітуді вібрацій, тощо).

За характером керуючих сигналів розрізняють аналогові (безперервні) та дискретні СПК

Програмовані контролери побудовані за тими ж принципами, що й ЕОМ, мають такі самі функціональні блоки. Забезпечує керування технологічним обладнанням, яке має датчики і електроприводи. Здійснює збирання й логічну обробку сигналів від датчиків та інших елементів керування, формує команди позиційного керування об'єктом. Є пристроєм універсальним, швидко й просто переналагоджуються для роботи з різними циклами.

Мікропроцесорні пристрої ЧПК містять як основний елемент мікрокомп'ютер, який складається з мікропроцесора, блоку пам'яті, логічних схемних пристроїв керування й узгодження з каналом зв'язку. Поточна інформація від датчиків режиму у реальному часі використовується для оптимізації запрограмованого функціонування (згідно критерію, придатному для даного випадку). В складі ЧПК може бути кілька мікропроцесорів (за звичай, однотипних), раціонально, щоб кожен з них спеціалізувався на виконанні певної функції. Мікропроцесори докорінно змінили структуру ЧПК.

Адаптивні системи керування (СК) здійснюють збирання і перероблення інформації щодо збурень при обробці. Параметри керування та його алгоритми

змінюються автоматично і цілеспрямовано для забезпечення найкращого керування, навіть в умовах, коли характеристики об'єкту керування або вплив зовнішнього середовища змінюються непередбачуваним чином. Є засобом автоматизації високого рівня. Можуть оснащуватися верстати з різним ступенем автоматизації. Область застосування безперервно розширюється. Застосовують тоді, коли складність керованого об'єкту чи процесу досягає такого рівня, що вплив невизначеності апріорної інформації стає суттєвим і не дозволяє забезпечити якість керування без адаптації системи до змінювання умов функціонування. Вимагають нових технічних засобів радіоелектроніки, обчислювальної техніки, технічної кібернетики.

Розрізняють:

- системи з жорстким налаштуванням, в яких неповнота інформації не заважає досягненню мети управління;
- адаптивні СК, в яких неповнота інформації не дозволяє досягти мети управління з заданою точністю без автоматичного пристосування системи в умовах невизначеності, виконання алгоритму функціонування в таких системах здійснюється програмно.

При створенні автоматичних систем до недавнього часу використовувалися як обчислювальна база

- пристрої з жорсткою структурою на основі цифрових логічних схем різного призначення – містять багато дискретних елементів та малих і середніх інтегральних схем, змінювання функцій вимагає змінювання схеми, тобто значного часу проектування й виготовлення;
- електронні обчислювальні машини (універсальні чи керовані), які легко перебудовувати з реалізації однієї функції на іншу, для чого достатньо скласти і занести в пам'ять нову програму. При використанні серійних ЕОМ це значно скорочує терміни проектування, виготовлення і налаштування системи.

Докладніше з типами систем керування, їхньою порівняльною характеристикою можна ознайомитись в літературі.

Для верстатів з ЧПК задачу оптимізації процесу обробки неможливо виконати на основі обробки режимів різання з врахуванням статистичних даних. Саме тому функцію регулювання режимів обробки, особливо при обробці важкооброблюваних матеріалів, виконують адаптивні СК. Верстати з ЧПК мають високу точність переміщень робочих органів, але деформації системи верстат–притосування–інструмент–заготовка в процесі різання можуть значно перевищувати похибки переміщень, що зумовлює неприпустимі похибки обробки.

Як відомо, успіх на світовому ринку таких знаних верстатобудівних компаній, як «HAAS Automation», «FADAL», «MITSUBISHI», «DMG MORI», «Mazak», «Hermle», «Okuma» та ін. значною мірою визначився використанням високоінтелектуальних мікропроцесорних автоматизованих систем керування. Отож якщо говорити про імпортозаміщення у верстатобудуванні й взагалі машинобудуванні, то необхідними є наступні дії:

- розвиток мікроелектроніки;
- розвиток науково-дослідницької діяльності з пошуку нових алгоритмів керування, які підвищують точність;
- активне впровадження на підприємствах сучасних систем автоматичного керування (бажано – вітчизняних).

Коли мова йде про керування в автоматизованому виробництві, слід пам'ятати, що маються на увазі не тільки й не стільки системи керування верстатів. На підприємстві діє кілька потоків інформації: керування процесами (між джерелом та отримувачами інформації) – зверху вниз; контроль процесу – знизу вверх; координація – між паралельними підрозділами різного призначення. Інформаційну систему утворюють наступні складові: засоби фіксації та збору виробничої інформації, засоби аналізу і обробки інформації; засоби передачі відповідних даних, засоби збереження інформації.

Використання ЕОМ в процесах керування зумовило появу виробничих систем під назвою СІМ (Computer integrated manufacturing) – або комп'ютеризовані інтегровані виробництва. Найважливішими компонентами таких систем є [1] підсистеми автоматизованого проектування, а також програмно-апаратний інтерфейс –

автоматизований комплекс з технологією, що гнучко перебудовується, в якій управління здійснюється від центральної ЕОМ. Ця ЕОМ є системою більш високого рівня управління по відношенню до кожної ЕОМ управління технічними об'єктами (ТО), що входять до такого комплексу, і забезпечує максимальне і рівномірне завантаження верстатів за допомогою автоматизованих транспортних засобів для деталей і ріжучих інструментів і здійснює „Спостереження“ за ходом технологічного процесу (проведення контролю і введення відповідних коректив в роботу технічного об'єкту, зміна відповідним чином технологічних маршрутів обробки і зміна, при необхідності, заданих в програмі параметрів).

ЕОМ також здійснює розподіл робочих програм, що зберігаються в бібліотеці програмного забезпечення. При цьому, незважаючи на те, що ЧПК на базі ЕОМ має великий обсяг власної пам'яті, достатньої для зберігання програми на здійснення всього технологічного процесу, далеко не завжди раціонально передавати її з ЕОМ в ЧПК повністю через труднощі наступного коригування.

Наступним (вищим) рівнем автоматичного управління є забезпечення обліку, планування і диспетчеризації роботи автоматизованого комплексу. Це по суті справи є рівнем автоматизованої системи управління (АСУ) цеху або підприємства, яка реалізується також за допомогою ЕОМ, але, як правило, значно потужнішою, так як зазвичай тут вирішуються більш загальні завдання, в тому числі і завдання автоматизованої підготовки керуючих програм для ТО.

Така багаторівнева СК також включає завдання автоматизації адміністративного управління. Дану систему називають гнучкою інтегрованою системою. При цьому більш низькі рівні можуть в разі необхідності працювати автономно.

Системи управління на базі ЕОМ будують також на основі мікропроцесорів (МП). У МП об'єднані універсальні можливості програмованого засобу з перевагами і можливостями, які представляє технологія мікропроцесорної техніки.

Формування і розвиток МП призвели до появи нового підходу до проектування цифрових систем на основі програмованої логіки.

Цей підхід передбачає при побудові систем використання стандартних універсальних МП, що працюють за програмою. Якщо розробник систем на основі пристроїв з жорсткою структурою може використовувати для реалізації необхідних функцій тільки апаратні засоби, а при використанні ЕОМ – тільки програмні засоби, то при побудові СК на основі програмованої логіки він отримує можливість використовувати повністю як апаратні, так і програмні засоби. Перевагами є також вартість, малі розміри і маса, висока надійність засобів МП, що надає СК нові якості і дає можливість наблизити засоби обробки інформації та управління до місць збору інформації та застосування керуючих сигналів. Конструктивно засоби МП стають вбудованими, тобто є елементами і вузлами автоматичних систем, підпорядкованих своїй логіці, своїм завданням.

Для подальшого розвитку систем управління технологічними об'єктами і процесами необхідно використовувати CALS-технології (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support – Підтримка Життєвого Циклу Виробів), що забезпечує надання необхідної інформації в потрібний час, в потрібному вигляді, в конкретному місці життєвого циклу при виготовленні виробу. Під цією назвою розуміють комп'ютеризацію промислового виробництва на базі стандартної структури і мови представлення всіх видів інформації (зокрема, документації), при тому не виключається застосування CAE/CAD/CAM систем різних розробників.

В системах керування виробничим процесом завданнями CALS-технології є:

- структурування і моделювання даних про технологічні об'єкти;
- забезпечення ефективного управління та обміну даними;
- створення і супровід документації для підтримки життєвого циклу технологічного об'єкту.

На рис. 5.1 показано схему комп'ютеризованої системи.

Отже на підприємстві діє кілька потоків інформації: керування процесами (між джерелом та отримувачами інформації) – зверху вниз; контроль процесу – знизу вверху; координація – між паралельними підрозділами різного призначення.

Інформаційну систему утворюють наступні складові: засоби фіксації та збору виробничої інформації, засоби аналізу і обробки інформації; засоби передачі відповідних даних, засоби збереження інформації.

Потоки інформації інтегруються в єдину спільну систему через банки даних і забезпечують координацію виробництва, а також контроль за його здійсненням в умовах гнучкості.

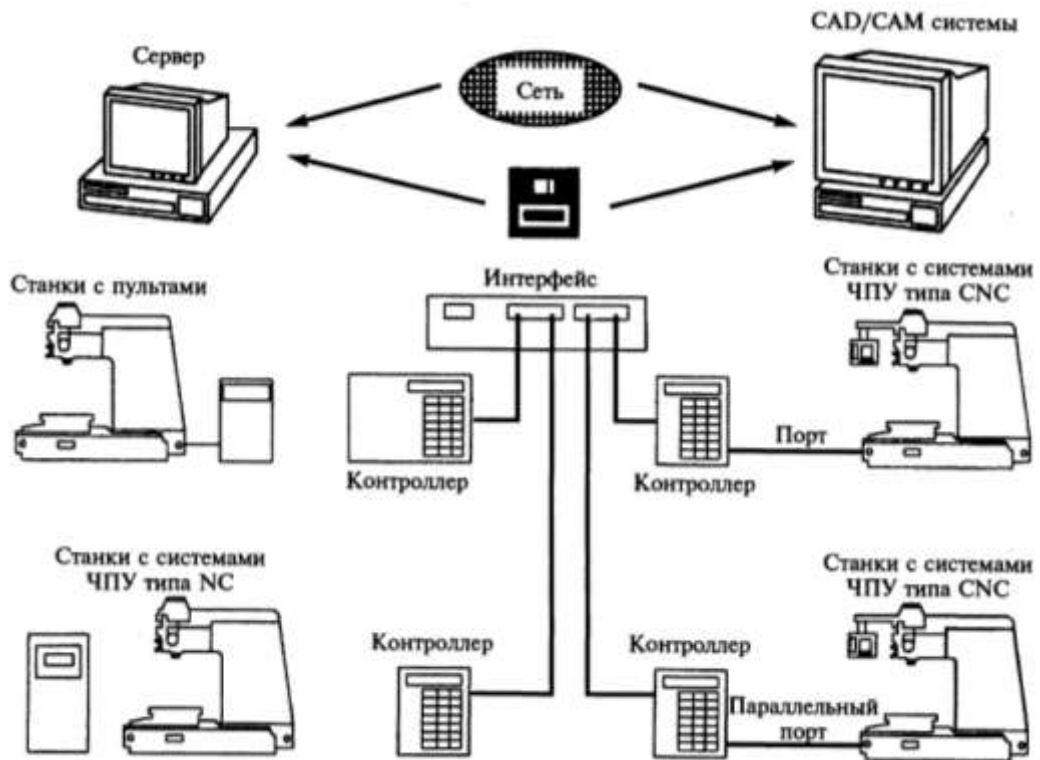


Рис. 5.1 Схема комп'ютеризованої інтегрованої виробничої системи [1].

Приклад схеми керування підприємством, запропонований фірмою SIEMENS наведений в Додатку 2 (рис. Д2.1).

Питання для повторення та контролю знань

1. Які типи команд містить керуюча програма?
2. Охарактеризувати адаптивні системи керування.
3. Що мають на увазі під керуванням в автоматизованому виробництві?
4. Які функції передбачені для автоматизованої системи управління цеху чи підприємства?
5. Що являє собою комп'ютеризована інтегрована виробнича система?

6 Інструментальне оснащення АВ

Інтенсивний розвиток верстатного парку не міг не вплинути на ріжучий інструмент, вимоги до якого помітно змінилися, він став значно універсальнішим, може працювати з великим вильотом, в умовах невисокої жорсткості технологічної системи, забезпечувати невеликі глибини різання, що водночас не призводить до падіння продуктивності завдяки високим швидкостям різання. Природно, значно більшої уваги вимагають способи та якість закріплення й заміни інструмента.

Сам інструмент, який забезпечує обробку широкої номенклатури складних і вартісних деталей без додаткових пристосувань, повинен мати високу ріжучу здатність і надійність за рахунок досконалих інструментальних матеріалів, точність (спеціальні технології і стандарти виготовлення), універсальність з метою обробки складної деталі за один автоматичний цикл, здатність до швидкої заміни і до автоматичного підналагодження.

Застосовують змінні багатогранні ріжучі пластини з механічним закріпленням у гнізді державки, з можливістю повороту. В комплект до одного інструменту можуть входити кілька десятків пластин з твердих сплавів з різними властивостями (наприклад, для обробки з ударами – ВК8, висока зносостійкість – Т30К4 (великий вміст титана), але крихкий, не можна застосовувати при ударних навантаженнях і вібраціях) та композитів, із зносостійкими покриттями.

Ще один шлях – система блочного інструменту (фірма Sandvik Coromant, Швеція): державка різця має корпус, який постійно закріплено у супорті чи револьверній головці, та головку із швидкозмінними пластинами, котру замінюють при зміні інструменту. Застосовують для зміни інструменту малогабаритні маніпулятори і магазини для розміщення головок.

На БЦ верстатах та у ГВМ використовують ті самі інструменти, що і на окремих верстатах з ЧПК, але цей інструмент входить у склад системи інструментального оснащення. Інструментальне оснащення АВ складається з ріжучого й допоміжного інструментів, пристроїв налагодження ріжучого інструменту та інструментальних головок поза верстатом, системи автоматичної зміни інструментів, системи

підналагодження ріжучого інструменту, системи діагностики та контролю стану інструменту і обладнання.

Інструментальне оснащення АВ має специфіку щодо конструкції, якості й точності виготовлення. Воно виробляється з жорсткими допусками за умовами взаємозамінності, є масивнішим, має більшу жорсткість та вібросталість ніж те, яке застосовується у неавтоматизованому виробництві.

Для зменшення собівартості інструментального оснащення при його виготовленні та кількості типорозмірів інструментів при експлуатації застосовують принцип агрегування, згідно з яким допоміжний інструмент містить базисні агрегати й змінні наладки. У базисних агрегатів хвостовики виконують відповідно до діючих стандартів, а передня затискна частина призначена для закріплення уніфікованих хвостовиків змінних наладок. Змінні наладки призначені для закріплення різального інструменту із стандартними поверхнями для приєднання (призматичними, циліндричними, конічними, тощо).

До базисних агрегатів належать різного типу патрони (цангові для затиску інструментів з циліндричним хвостовиком діаметром 2-32 мм із постійними або змінними цангами, роликові, з притисканням гвинтами, гідравлічні (затиск за рахунок деформації тонкої стінки корпусу тиском гідравлічного середовища у порожнині патрону), гідромеханічні (корпус патрону стискається втулкою дуже малої конусності), з тепловою деформацією стінок для закріплення за типом „гарячої посадки“ (H7/p6, H7/n6) з механічною деформацією стінок втулки, яка має посадковий отвір за типом РК–профілю (наприклад, Tribos-R) [14, 17].

Для закріплення змінних наладок та різального інструменту з конічним хвостовиком застосовують перехідні втулки із конічним отвором під хвостовики різного типу (HSK, Coromant Capto та KM, конуси Морзе) і кріпленням болтом, який затягується.

Приєднувальні поверхні мають $Ra \leq 0,4$ мкм, HRCэ 58-62 – зумовлюється багаторазовим навантаженням з'єднань при частому змінюванні інструментальних блоків, що викликає зношення й зниження точності встановлення інструментів. Щоб виготовити допоміжний інструмент з точними приєднувальними розмірами

рекомендовані сталі 18ХГТ чи 20ХН3А з цементацією на глибину 0,8-1,2 мм та наступним загартовуванням. Поводки й сухарі для передачі крутних моментів виготовляють із сталі 40Х із загартовуванням HRCэ 45-50.

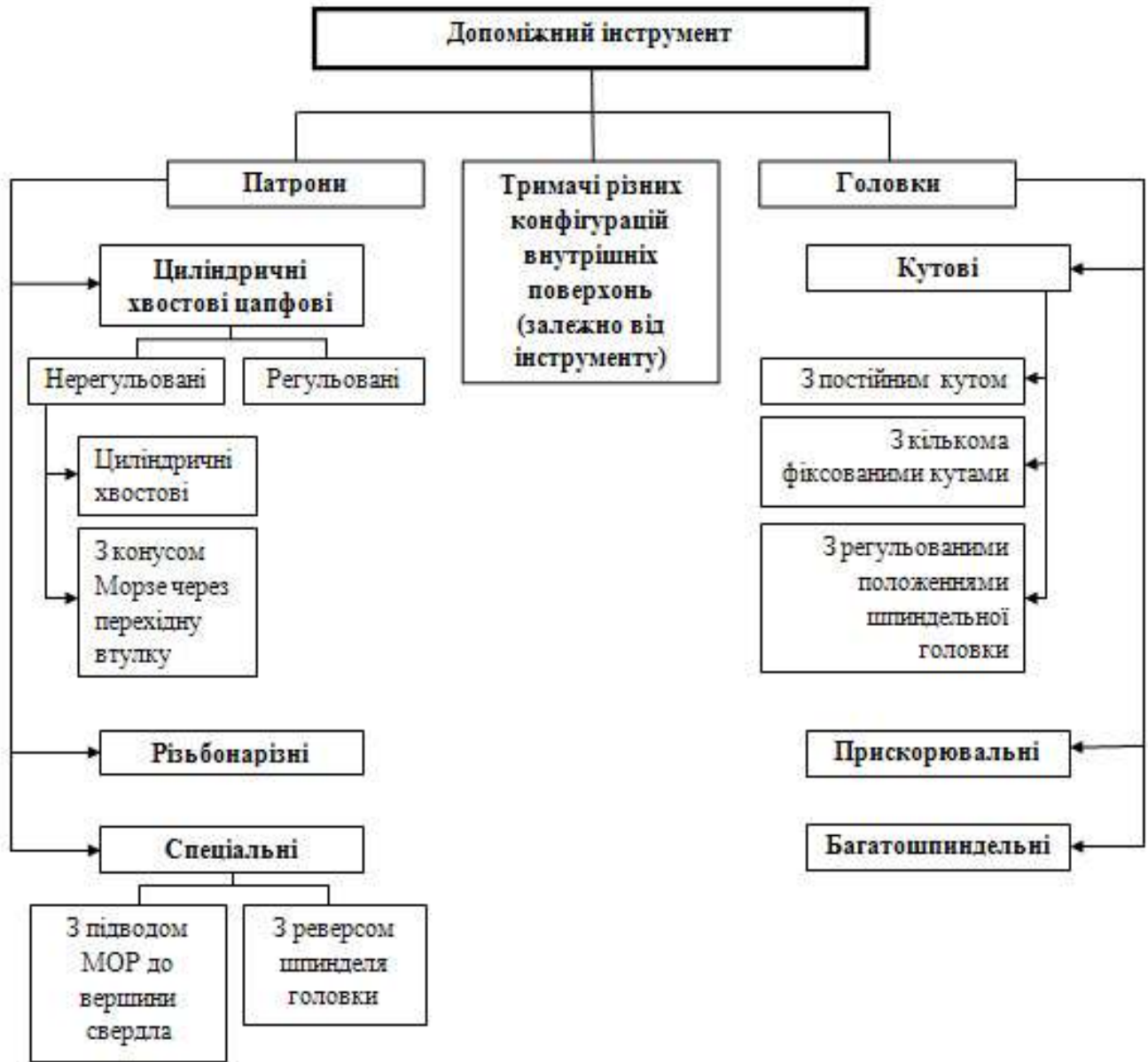


Рис. 6.1 Класифікація допоміжних інструментів

Приєднувальні поверхні мають $Ra \leq 0,4$ мкм, HRCэ 58-62 – зумовлюється багаторазовим навантаженням з'єднань при частому змінюванні інструментальних блоків,

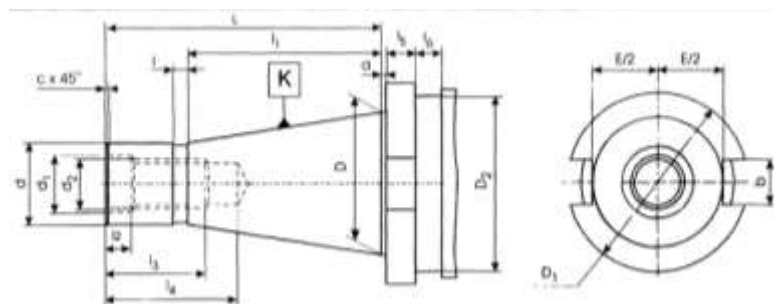


Рис. 6.2 Хвостовики для ручної зміни (за DIN 2080)

що викликає зношення й зниження точності встановлення інструментів. Щоб виготовити допоміжний інструмент з точними приєднувальними розмірами рекомендовані сталі 18ХГТ чи 20ХНЗА з цементацією на глибину 0,8-1,2 мм та наступним загартовуванням. Поводки й сухарі для передачі крутних моментів виготовляють із сталі 40Х із загартовуванням HRCэ 45-50.

Підвищення продуктивності верстатів з ЧПК значною мірою зумовлюється технічним рівнем допоміжного інструменту і конкретної системи інструментального оснащення:

- інтенсифікація режимів різання – підвищена жорсткість допоміжного інструменту та забезпечення ним потрібної сили затиску ріжучого інструменту;
- підвищення точності обробки завдяки застосуванню збалансованих конструкцій інструментального оснащення, які виключають дію відцентрових сил;
- концентрація переходів – наприклад, застосуванням багатошпindelних головок;
- зменшення часу на базування й закріплення заготовок завдяки допоміжному інструменту, який розширює технологічні можливості верстата (змінні кутові головки, зокрема, прискорювальні, для свердлильно- фрезерувально-розточувальних верстатів, головок для обертового інструменту на токарних верстатах, тощо);
- зменшення часу зміни інструменту за рахунок скорочення кількості змін інструментів через використання багатоінструментальних наладок;
- скорочення витрат на амортизацію завдяки уніфікації деталей та типів допоміжних інструментів, поверхні приєднання допоміжного інструменту відповідають основним видам кріплення інструментальних блоків на верстаті та типорозмірам приєднувальних поверхонь різнотипного ріжучого інструменту завдяки універсальним конструкціям затискних пристроїв (патронів).

При виборі допоміжного інструменту перевагу надають конструкціям, які мають стандартні елементи, що забезпечує взаємозамінність та знижує вартість.

Недоліки використання допоміжних інструментів:

- підвищуються габарити та вага магазинів (вага різцевого блоку становить 2-8 кГ (за даними фірми Traub – 3,5 кГ), обертові головки – 8-10 кГ);
- зростають вимоги до затискних пристроїв захватів автооператорів (знову ж

таки внаслідок ваги оправок);

- обмежуються швидкості транспортування;
- обмежується місткість магазинів (20-40 шт.).

Система інструментального оснащення також повинна відповідати певним вимогам:

- підведення МОР по внутрішнім каналам;
- мінімальне радіальне биття;
- незначний дисбаланс;
- висока жорсткість та вібросталість;
- висока повторюваність позиціонування;
- можливість обробки у важкодоступних місцях.

Незалежно від типу магазину й способу зміни інструменту всі різальні й допоміжні інструменти та пристрої встановлюють у посадковий отвір шпинделя або у гніздо магазину з використанням стандартизованих оправок, в яких інструменти закріплюють, а іноді й додатково налагоджують на певний розмір. Передбачено використання перехідних оправок для узгодження стандартизованих розмірів отворів у оправках та тримачів інструментів.

Хвостовики для закріплення інструментальних блоків для верстатів свердлильно-розточувальної та фрезерної груп є конічними з конусністю 7:24 та 1:10 (з'єднання HSK), для токарних верстатів – циліндричні з рифленнями на лисці або спеціальні із конусністю 1:10.

На більшості верстатів для автоматичної зміни використовують оправки з конічним хвостовиком з конусністю 7:24, який виключає самогальмування. Забезпечується значна жорсткість з'єднання оправки із шпинделем і точне базування оправки у шпинделі при одночасному забезпеченні можливості легкого вилучення оправки з шпинделя або з гнізда магазину автооператором.

Таким чином, типові оправки для кріплення різального інструменту у обладнанні з ЧПК мають характерні поверхні:

- для силового затиску оправки у шпинделі верстату;
- для встановлення елементів, які кодують номер інструменту (за потребою);
- для базування в шпинделі;
- для контакту із захватом автооператора чи робота;
- для встановлення й закріплення різального і допоміжного інструментів.

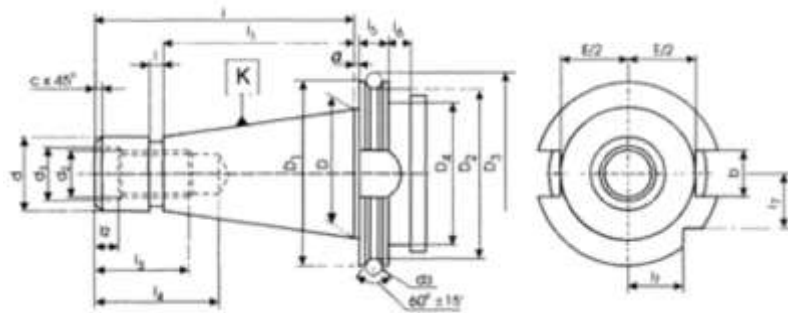


Рис. 6.3 Хвостовики для автоматичної зміни (за 69871/A+AD, ISO 7388/1, MAS 403 BT (Японія), ГОСТ 25827-93

На циліндричній частині (на фланці) оправка має кільцеву канавку трикутної або прямокутної форми, яка використовується для захвату губками автооператора.

У шпинделі оправка втримується за допомогою тяги та пакету тарілчастих пружин або закріплюється гвинтом. Тяга на кінці має захватний пристрій, який зчіплюється із хвостовиком, що його вкручено у оправку. При затиску оправка затягується.

Для передачі крутного моменту від шпинделя на оправку передбачено один чи два пази, що їх розташовано радіально на спеціальному фланці. По цих пазах оправка з'єднується з торцевою шпонкою, яка знаходиться на торці переднього кінця шпинделя. Через це необхідно є попередня орієнтація оправок при встановленні у гніздо магазину, тобто оправку треба вводити в отвір шпинделя у строго фіксованому положенні, саме у це положення повинен автоматично встановлюватися і шпиндель верстата для зміни інструменту. З цією метою конструкція верстата має спеціальний механізм орієнтованої зупинки шпинделя. Вимога орієнтації інструменту повинна забезпечуватись і при завантаженні магазину.



Для передачі крутного моменту від шпинделя на оправку передбачено один чи два пази, що їх розташовано радіально на спеціальному фланці. По цих пазах оправка з'єднується з торцевою шпонкою, яка знаходиться на торці переднього кінця шпинделя. Через це необхідно є попередня орієнтація оправок при встановленні у гніздо магазину, тобто оправку треба вводити в отвір шпинделя у строго фіксованому положенні, саме у це положення повинен автоматично встановлюватися і шпиндель верстата для зміни інструменту. З цією метою конструкція верстата має спеціальний механізм орієнтованої зупинки шпинделя. Вимога орієнтації інструменту повинна забезпечуватись і при завантаженні магазину.



Рис. 6.6 Складові прискорювальної головки при використанні конуса ISO



Рис. 6.7 Приклад використання головки з різними хвостовиками

Застосовують уніфіковані комплекти (рис. 6.8) допоміжного інструменту, які містять основні оправки 2, що їх закріплюють у шпинделі 1 верстату, перехідні втулки чи оправки 5, патрони 4 (різної конструкції) для закріплення інструментів різних типів та розмірів. Уніфіковані інструментальні комплекти можуть призначатися для обертового інструменту, для верстатів токарної груп (передбачає інструменти з циліндричним хвостовиком та з призмою для базування), а також такі, що уніфіковані для токарних верстатів та верстатів, що працюють осьовим інструментом (системи Varilock фірми Sandvik Coromant (Швеція), Widafox, фірми Krupp Widia (Німеччина), розробки ВНИИ інструмент, тощо)

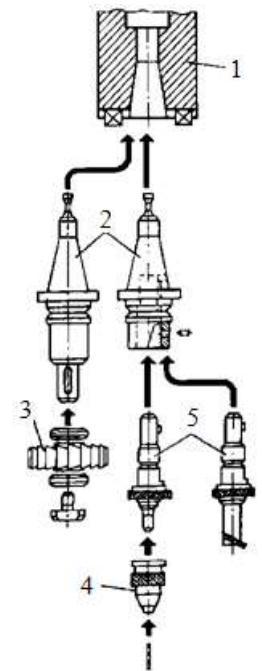


Рис. 6.8 Інструментальний комплект для БЦ верстату: 1 – шпиндель; 2 – оправки; 3 – фреза; 4 – патрон для затиску свердла; 5 – перехідні оправки.

Прикладом може слугувати продукція компанії Big Kaiser (рис. 6.9) [<https://www.bigkaiser.com/ru/produkcija>]

Компанія використовує радіальний гвинт для затиску радіального з'єднання.



Рис. 6.9 Приклад модульної системи СКВ компанії Big Kaiser

Такі комплекти примушують здійснювати заміну ріжучих інструментів разом із допоміжними. Наслідком є збільшення габаритів і ваги магазинів, збільшення вимог до затискних пристроїв захватів автооператорів, обмеження швидкості транспортування. Шлях покращити ситуацію – змінювати лише інструментальні головки, а допоміжні оправки закріплювати у шпинделі постійно.

На з'єднання „інструмент-верстат“ припадає більш за 50 % пружних деформацій і частка ця збільшується із зростанням жорсткості верстата. Похибки виготовлення конічного з'єднання впливають на динамічну якість верстата.

На поверхнях з'єднання гнізда верстата і хвостовика інструменту існують мікропохибки (шорсткість поверхонь), які впливають на контактну піддатливість і демпфірування у з'єднанні, та макропохибки (відхилення форми приєднувальної поверхні у поперечному й поздовжньому напрямках), які зумовлюють погіршення прилягання поверхонь і зменшують фактичну площу контакту.

Подальше підвищення точності й жорсткості закріплення за рахунок точного базування по конічній поверхні 7:24 не є доцільним через зростання вартості. Існує низка ефективних конструкцій, наприклад хвостовики BIG PLUS (фірма DAISHOWA SEIKI, Японія), в основі яких – забезпечення подвійного базування по конічних та торцевих поверхнях шпинделя і допоміжного інструменту. Наслідком є збільшення точності обробки, граничної частоти обертання шпинделя, повторюваності положення інструменту вздовж його осі. Але додатковою вимогою експлуатації є обов'язковий обдуб поверхонь з'єднання від пилу й стружки та захист від пошкоджень торців шпинделя та допоміжного інструменту.

Впровадження високошвидкісної обробки зумовило заміну масивних хвостовиків з конусністю 7:24 (за високих частот обертання виникає осьова складова відцентрової сили, яка порівнянна із силою затиску, але скерована у протилежному

напрямі, і може призвести до розтискування оправки, порушується базування хвостовика оправки у шпинделі і, відповідно, жорсткість та точність закріплення. Розроблені (фірмою ОТТ ЯКОВ, ФРГ), наприклад, порожнисті хвостовики HSK з коротким конусом (стандарт DIN 69063, 69893, 6 типів, 35 типорозмірів). Радіальна жорсткість цих хвостовиків вище у 5 разів при співставних розмірах, швидкість різання може зрости в 4 рази (перевищує $20\ 000\text{хв}^{-1}$), а стійкість інструменту – в 2-3 рази, зменшується час зміни інструменту приблизно вдвічі, менша маса є перевагою при балансуванні [14], але інструменти з хвостовиками HSK мають вартість вище (жорсткіші припуски на виготовлення, вартісна вимірювальна апаратура), потребують більшої уваги до чистоти поверхонь і відповідного очищення, періодичного контролю зношення (споживачу потрібні вартісні вимірювальні системи), бо зношення сильніше впливає на робочі характеристики ніж при конусі 7:24. Використання конусів HSK зростає. Додатковою перевагою є економія площі, яку займає верстат, завдяки зменшенню габаритів АЗІ.

Таблиця 6.1

Граничні відхилення кута і поперечних та поздовжніх перерізів конуса 7:24 (за ступенем точності АТ3)

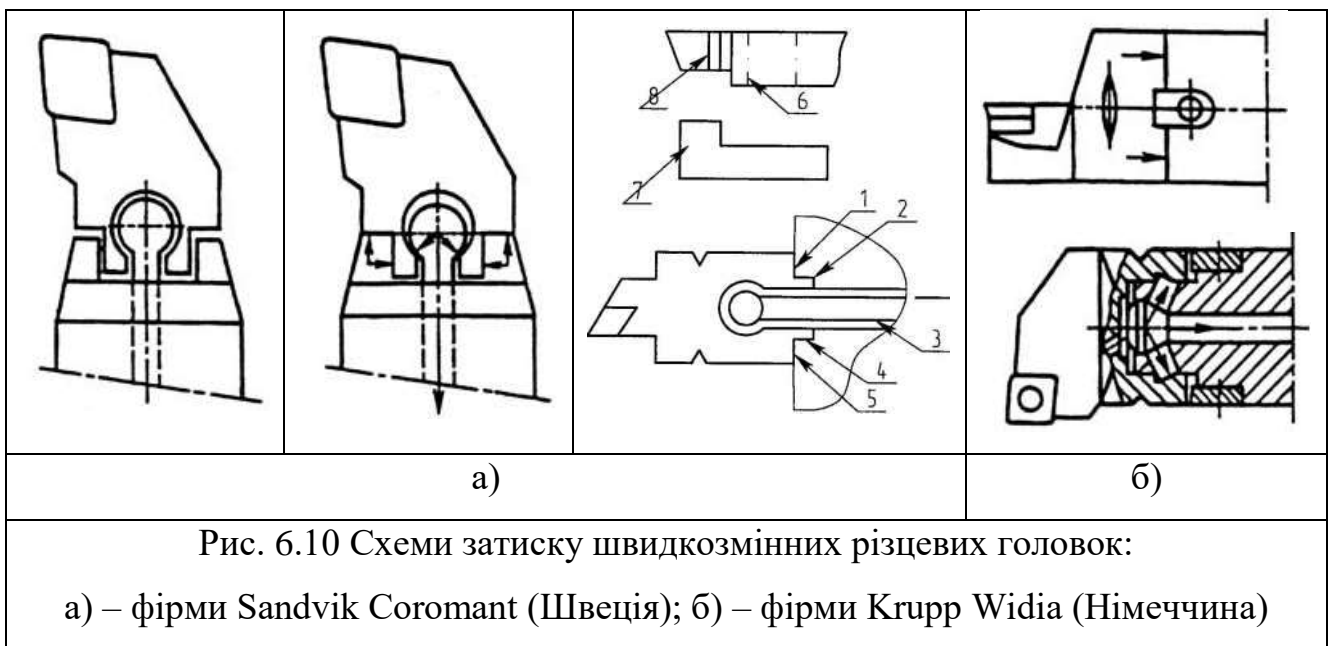
Конус ISO	Граничні відхилення			
	кута конуса		Форми	
	Величина	На довжині	від прямолінійності твірної	від круглості поперечних перерізів
30	0,002	48	0,0006	0,0006
40	0,003	56	0,0008	0,0006
45	0,003	65	0,0008	0,0008
50	0,004	83	0,0010	0,0008

Для токарних верстатів з ЧПК з револьверними головками радіальні та осьові різцетримачі й допоміжний інструмент для обертового інструменту виготовляють з циліндричними хвостовиками (за DIN 69880, ГОСТ 24900-91) та рифленнями (за відсутності рифлень жорсткість нижча у 1,4-1,6 рази). Інструментальне оснащення багатоцільових токарних верстатів змусило замінити стандартні різці, що їх закріплено у різцетримачах, спеціальними, зокрема з швидкозмінними різцевими головками, коли самі різцетримачі лишаються у головці, а замінюються базовані у них різцеві головки. Заміна й налагодження інструментів спрощується і стає можливою автоматична заміна за

допомогою автооператора або промислового робота. Варіанти спеціальних конструкцій та способів закріплення на прикладі інструментальних систем „Coromant Capto“ (фірма Sandvik Coromant) та „KM WIDAFLEX“ (фірма Kennametal) наведено [14].

Наприклад, різцева головка системи BTS op. Sandvik Coromant – це нібито 1/3 звичайного різця вагою 0,7 кг. Магазин може містити 60-240 різальних інструментів.

При затягуванні штока 3, базові поверхні 1, 2, 5, 4, між якими розташовано паз у формі «Ω», розходяться і надійно притискають головку до поверхонь державки. Знизу головка спирається на упор 7. Дві канавки 8 у формі «V» призначенні для затискання при автоматичній зміні (під захватний пристрій роботів). Різець вставляють зверху, тяга 3 затягується тарілчастими пружинами. Похибка установки при заміні однієї й тієї ж головки ± 5 мкм за довжиною та висотою.



На рис. 6.11 показано різець з автоматичною зміною різального елемента. Замінюють спеціальну різцеву пластину 2, яку притиснуто до підкладки 1 сферичною поверхнею тяги 4 через вставку 12 циліндричної форми, та тягу 8, яка переміщується тарілчастими пружинами 7. Для заміни пластини тягу 8 переміщують гідроциліндром і важіль 10 піднімає вставку 12, потім через деталь 11 та пружину піднімає тягу 4 і вивільнює шток 5, який виштовхує пластину 2.

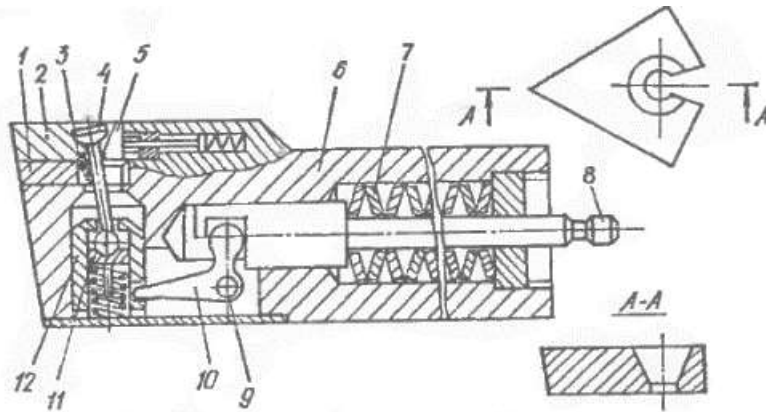


Рис. 6.11 Різець з автоматичною зміною різального елемента.

У системі BTS є 3 типорозміри BT25, BT32, BT40 для токарної обробки інструментами із перерізами 25×25, 32×32, та 40×40 мм. Кожний типорозмір охоплює головки із кріпленням приблизно 30 типів багатограних твердосплавних пластин, для яких не передбачене переозагострення і які призначенні для зовнішньої обробки, зокрема різьбонарізання, різцеві головки для внутрішньої обробки (10-12 типів).

На рис. 6.12 показано різцеві головки фірми Hertel (Німеччина) для використання у револьверних головках.

Система WKS містить тягу у формі букви «Г», розроблена лише для перерізів 25×25. У системі FTS використано торцеве зубчасте зачеплення, що самоцентрується, та затискну цангу із спеціальною гумою, що використовується як прокладки між пелюстками цанги. Вага різцевої головки становить 1,3 кг. Точність фіксації та повторюваність високі ($\pm 0,002$ мм по осі та по радіусу). Різцеві та розточувальні головки кріплять в уніфікованих блоках.

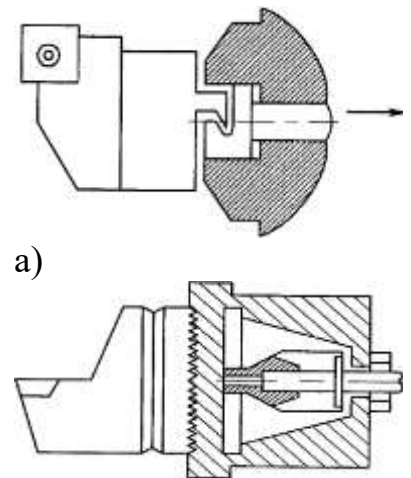


Рис. 6.12 Різцеві головки:
а) – система WKS;
б) – система FT.

Цангу прикріплено до головки. Передбачено внутрішні канали підведення ЗОЖ та подачі води й повітря для очищення зубів зубчастої муфти вінця – постійно чи при зміні інструмента. Головки $D = 40$ можна застосовувати при різанні з силами до 12 кН, $D = 80$ – до 50 кН.

Недолік: обертові головки та блоки закріплюють у певних позиціях РГ, неможливе автоматичне переналадження.

Базовий агрегат, змінна наладка та ріжучий інструмент також утворюють інструментальну систему.

Вимоги до інструментальної системи:

- підведення мастильно-охолоджуючої рідини по внутрішнім каналам;
- мінімальне радіальне биття;
- незначний дисбаланс;
- висока повторюваність позиціонування;
- висока жорсткість та вібросталість.

Для розширення технологічних можливостей верстатів та концентрації операцій застосовують для затиску й зміни інструментів, тобто в якості допоміжного інструменту, головки різних конструкцій.

Функціональне призначення головок може не обмежуватися лише закріпленням інструменту, вони можуть

- брати участь у формоутворенні за рахунок забезпечення певної траєкторії, тож здійснювати обробку поверхонь, які розташовані довільно відносно системи координат верстата (кутові, припустимі постійний кут або змінний кут подачі інструменту);
- змінювати частоту обертання інструменту (прискорювальні);
- забезпечувати паралельну обробку декількох поверхонь (багатошпindelні).

Кутові головки



Рис. 6.13 Кутові головки DEG-Group, Німеччина



Рис. 6.14 Кутові головки Heimatec GmbH, Німеччина



Рис. 6.15 Кутові головки Nikken, Японія

Кутові головки Nikken монолітного типу (рис. 6.15, а) призначені для виконання операцій силової обробки, забезпечують високу точність і жорсткість. Існують модифікації даних головок з внутрішньою подачею мастильно-охолоджувальної рідини, по технічному завданню можуть бути поставлені головки зі спеціальним кутом повороту. Головки забезпечують вільний оберт на 360°. Частота обертання 2000-4000 об/хв. Кутові головки Nikken модульного типу (рис. 6.15, б) поставляються зі змінними насадками різноманітної довжини та з різними кутами повороту в залежності від технологічних операцій. Головки забезпечують вільний оберт на 360°.

<http://www.japantool.ru/nikken/anglehead.shtml>



Рис. 6.16 Головка фірми Heimatec та заміна її на верстаті автооператором

<https://www.youtube.com/watch?v=Oy05uvNBqZM>

[BqZM](https://www.youtube.com/watch?v=Oy05uvNBqZM)



Кутові головки Nikken серії Quik Type (рис. 6.17) поставляються зі спеціальними швидкозмінними патронами, які забезпечують подвійний контакт по конусу і фланцю хвостовика патрона. Головки дозволяють виконувати швидко переналадку при виконанні операцій фрезерування, різьбонарізання, свердління, вільний оберт на 30°, 45°, 60°, 90°, 360°. Застосування даних кутових головок забезпечує зручність при переналадці і гнучкість у виробництві. Максимальна швидкість обертання 2000 об/хв



Рис. 6.17 Кутова головка Nikken серії Quik Type зі спеціальними швидкозмінними патронами (Японія)

переналадку при виконанні операцій фрезерування, різьбонарізання, свердління, вільний оберт на 30°, 45°, 60°, 90°, 360°. Застосування даних кутових головок забезпечує зручність при переналадці і гнучкість у виробництві. Максимальна швидкість обертання 2000 об/хв

Оснастка NIKKEN вироблена з приєднувальними конусами по стандартам MAS, BT, IT, DIN 69871, HSK, перехідниками на Конус Морзе №1, 2, 3, 4 та свердлильний патрон.

Таблиця 6.1

Використання кутових головок

Приклади використання кутових головок компанії BENZ, Німеччина		
	<p>Кутові головки 90 град. тип WSX</p>	<p>Для операцій фрезерування і свердління без обмежень простору</p>
	<p>Кутові головки 90 град. зі зміщенням (тип WWX)</p>	<p>У порівнянні з типом WSX мають збільшену довжину інструмента (у випадку обмеженого простору інструментального магазину), опціональна внутрішня подача MOP</p>

Використання кутових головок

Приклади використання кутових головок компанії BENZ, Німеччина		
	Кутові головки 90 град. для вузьких місць, (тип WGX)	Для роботи у вузьких отворах або при обмеженому робочому просторі
	Двосторонні кутові головки 90 град., (тип WZX)	Для двосторонніх операцій фрезерування і свердління в протилежних напрямках
	Кутові головки з можливістю налаштування кута 0-90 град., тип WDX	Для операцій свердління і легкого фрезерування під будь-яким кутом
	Кутові головки з фіксованим кутом, тип WFX	Для операцій фрезерування і свердління під фіксованим кутом

Треба звертати увагу на призначення кутової головки. Якщо вона призначена для свердління, а користувач застосовуватиме її для фрезерування як універсальну, то невдовзі (біля року експлуатації) вона вийде з ладу через пошкодження посадкових поверхонь під підшипники. Цей факт пояснюється тим, що свердлильна головка має радіальні підшипники невеликої ватажопідйомності і не може тривалий час сприймати радіальні навантаження, що виникають при фрезеруванні. Натомість універсальні кутові фрезерні головки передбачають виконання свердління, фрезерування, різьбо-нарізування, тощо. При виборі головки звертають увагу на максимальний крутний момент та максимальну швидкість обертання шпинделя. Робочі характеристики інструмента десь на 20-30 % нижчі за вказані у каталозі, бо там часто зазначають характеристики для короткого часу експлуатації. Тож треба бути уважними.

На сайті <http://vestnikprom.by/uskoritelnye-golovki-golovki-s-izmenjaemym-mezhosevym-rasstoianiem-dvuhshpindelnye-frezernye-golovki/> наявна цікава інформація щодо вибору головок.

Наприклад, в якісних поворотних головках для передачі обертання застосовують 4 конічних зубчастих колеса, що дозволяє розподілити навантаження і корпус виконати повністю закритим. Два чи три колеса використовують у неякісних головках. Механізм головки закривають фольгою, що не попереджує забруднення й сприяє видаленню мастила. Якщо шпиндель розташовано збоку, головка має низьку жорсткість і втрачає точність. Не дуже вдалим рішенням є центральне підведення МОР із з'єднанням каналів всередині механізму у зоні розташування підшипників та зубчастих коліс, бо створює проблеми при заміні ущільнень, які захищають ці з'єднання, і робить можливим попадання МОР у середину механізму головки.

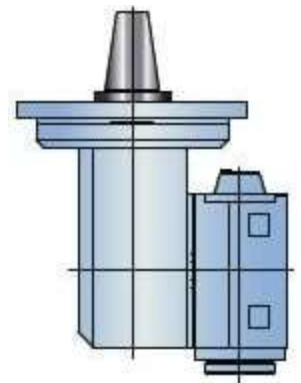


Рис. 6.18 Головка з бічним розташуванням шпинделя

Одним з відомих виробників кутових головок є італійська компанія OMG. Вона випускає також мультиплікатори (серія MO: максимальна швидкість обертання 35000 об/хв, але передбачена можливість роботи на низьких швидкостях, для передачі високих моментів застосовані два планетарних зубчастих колеса (до речі, зубчасті

колеса загартовані й шліфовані, що гарантує високу потужність за низького рівня шуму), можливе застосування твердосплавних інструментів). Компактні конструкції з можливістю як ручної заміни, так і автоматичної. Шпиндель встановлено на прецизійних радіально-упорних підшипниках, що забезпечують биття менш за 0,01 мм.

Багатошпиндельні свердлильні і різьбонарізні головки можуть бути з фіксованим положенням кожного з шпинделів або регульованим (з карданною передачею). Вони можуть встановлюватися на наявний свердлильний верстат або мати власний приводний пристрій (гідро-, пневмо- або сервопривод).

Прискорювальні головки (мультиплікатори)

Використовуються в разі необхідності підвищити частоту обертання інструменту. Більшість моделей верстатів обмежені швидкостями в межах 7000-12000 об/хв. Тобто певний ряд верстатів для обробки корпусних деталей має обмежену частоту обертання шпинделя, якої недостатньо для забезпечення оптимальної швидкості різання при обробці кінцевим інструментом (свердла, зенкери, кінцеві й шпонкові фрези, тощо) за звичай діаметром до 12 мм. Прискорювальні головки не тільки дозволяють розширити технологічні можливості верстатів і інструментів за рахунок збільшення швидкості, а ще й знижують навантаження на підшипники шпинделя в разі тривалої роботи на високих швидкостях. Ця ситуація характерна для обробки кольорових металів, зокрема сплавів алюмінію (рекомендовані швидкості становлять 400-1000 м/хв). Методи високошвидкісної обробки в багатьох випадках взагалі не можуть бути реалізовані. Можливі випадки, коли для інструменту неможливо реалізувати навіть мінімальні рекомендовані для нього швидкості, що негативно впливає на стійкість інструменту.

Існує досить багато варіантів прискорювальних головок, конструкція яких зумовлюється швидкістю, яку необхідно надати шпинделю. Вони бувають механічні (збільшення обертів досягають за рахунок зубчастих пар: використовують, наприклад, планетарні передачі й цанговий патрон) та з пневматичним, гідравлічним (наприклад, фірми Iscar та Ingersol) чи електричним (фірма Henninger) приводом, а також з ручною чи автоматичною зміною.

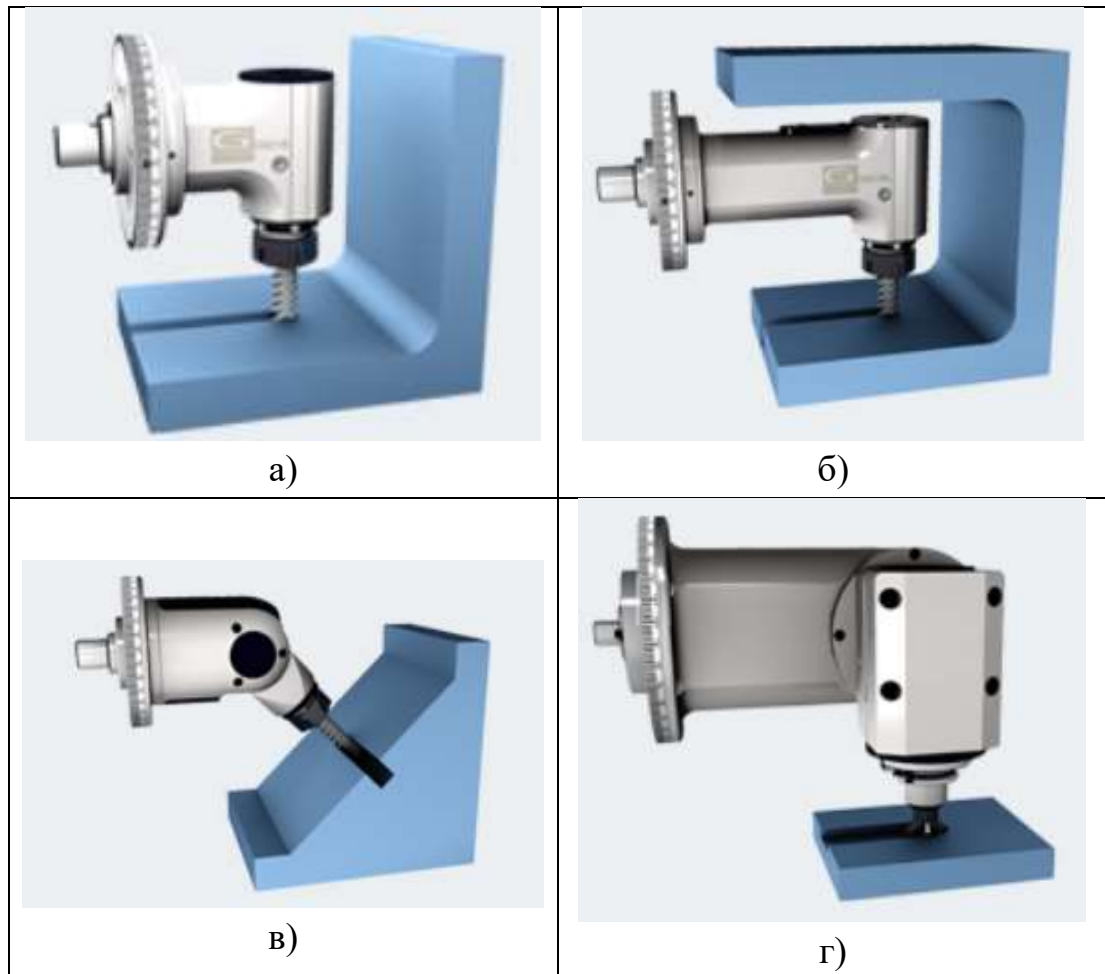


Рис. 6.18 Приклади використання головок серії МТС компанії Gerardi

Позначено: а) – серія G90 для фрезерування, свердління та нарізування різі під кутом 90° ; б) – серія G90L для глибокого свердління; в) – серія GMU для фрезерування, свердління та нарізування різі з нахилом під регульованим кутом від 0° до 90° ; S40/S50 серія GMU – для довільного встановлення інструменту та обробки під регульованим кутом від 0° до 360° .

Механічні прискорювальні головки (рис. 6.19) мають діапазон робочих швидкостей в основному у межах 15-20 тис об/хв, пневматичні – в діапазоні 40-120 тис об/хв (використовують переважно для дрібнорозмірних інструментів з хвостовиками 1-3 мм.

Механічні головки повинні забезпечувати встановлення кінцевого різального інструменту до $\varnothing 12$ мм у цанговому патроні не більш за $\varnothing 32$ мм; максимальний виліт головки від торця шпинделя не більш за 150 мм (без врахування інструменту); коефіцієнт мультиплікації 4-5; максимальне радіальне зусилля не більш за 1000 Н; мінімальна жорсткість не перевищує 100 Н/мкм; рівень шуму не вище 45 Дб; максимальний крутний момент на інструменті не більш за 4 Нм [33].

Розповсюджений конструктивний варіант містить планетарну передачу. Така головка має конічний хвостовик, корпус-води́ло із закріпленими на ньому на осях зубчастими колесами-сателітами, корончатим й сонячним колесом, вихідний вал із цанговим патроном та блок позиціонування (рис. 6.18, 6.19). Забезпечує коефіцієнт збільшення швидкості 1:3, 1:5, 1:8, тощо.

Конус мультиплікатора (головки) вставляється у шпиндель верстата, а нерухома частина за допомогою стопору кріпиться до нерухомої частини шпинделя. Стопор не входить у комплект поставки: його можна замовити додатково, або виготовити власними силами.

Прискорювальні головки серії MO фірми OMG (Італія) мають дві планетарні шестерні для передачі високого моменту (до речі, зубчасті колеса загартовані й шліфовані, що гарантує високу потужність за низького рівня шуму), забезпечують максимальну частоту обертання 35000 об/хв, але передбачена можливість роботи на низьких швидкостях, можливе застосування твердосплавних інструментів). Компактні конструкції з можливістю як ручної заміни, так і автоматичної. Передбачено подачу MOP через центр інструменту. Шпиндель головки встановлено на прецизійних радіально-упорних підшипниках, забезпечують биття менше за 0,01 мм. Змащування мають на весь строк експлуатації.

Приклад конструкції прискорювальної головки з планетарною передачею, яка має одну ступінь рухомості, надано на рис. 6.20. У такій передачі осі сателітів закріплено на обертовому водилі.

З хвостовиком 3 інструменту, який встановлено у шпиндель верстата, нерухомо з'єднано корпус 1. Корпус 1 виконує роль водила, в якому на осях 9 закріплено сателіти 7, що зачеплюються з коронним колесом 8. Сонячне (центральне) колесо 2 передає обертання на вихідний вал 5, який має частоту обертання, що перевищує у 5 разів



Рис. 6.19 Конструкція прискорювальної механічної головки OMG (Італія)
[<https://www.omgnet.it/home>]

частоту обертання шпинделя. На відкритому кінці вихідного валу 5 розташовано цанговий патрон із цангою 10, яка за допомогою гайки 11 закріплює циліндричний хвостовик інструмента 12. На іншому кінці валу 5 за допомогою шайби 4 закріплено маховик 6, який призначено для підвищення рівномірності обертання інструмента.



Рис. 6.21 Мультиплікатор (компанія NT TOOL)

турбовентилятором.

Розповсюдженими є модульні конструкції головок, наприклад, такого виробника, як Gerardi (Італія) [<http://www.gerardispa.com/products/index.php/>], рис. 6.20.

Два типи прискорювальних головок (NX та PX), які відрізняються конструкцією й технічними характеристиками, випускає компанія NIKKEN (Японія) [<http://www.japantool.ru/nikken/speeder.shtml>].

Коефіцієнт мультиплікації становить від 4 до 10 й дозволяє отримати швидкість на виході до 40 000 об/хв. Як опція пропонуються стопори (рис. 6.22).

Високоточний інструмент та оснащення випускає компанія Big Diashowa [http://www.big-daishowa.com/product_page/product_04_angle-spin.php#02]

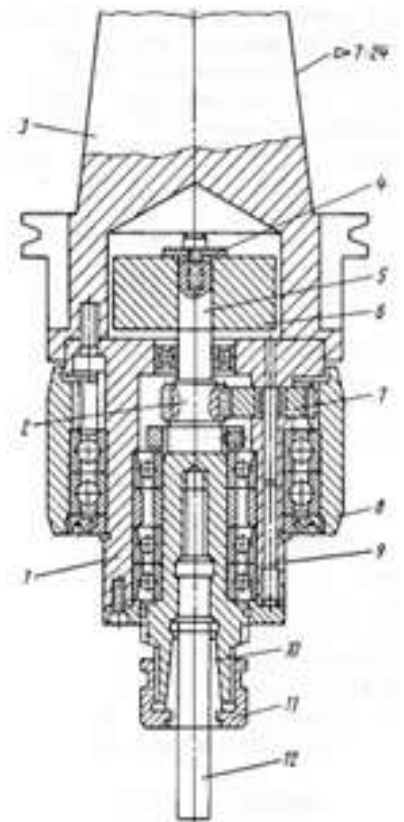


Рис. 6.20 Механічна прискорювальна головка



Рис. 6.22 Прискорювальна головка типу PX (конуси BT40, BT50)

з діапазонами частот обертання для механічних прискорювальних головок до 24 000 об/хв (рис. 6.26), для пневматичних – до 120 000 об/хв.

Прискорювальні головки DEG-Group (рис. 6.23) забезпечують максимальну кількість обертів – 3000 об/хв, головки компанії Nikken дозволяють підвищувати число обертів до 5 разів, максимально – до 18 000 об/хв (рис. 6.24).

У переліку інформаційних джерел наведені посилання на сайт виробників прискорювальних головок та іншого інструментального оснащення за даними <https://osnastka.pro/>



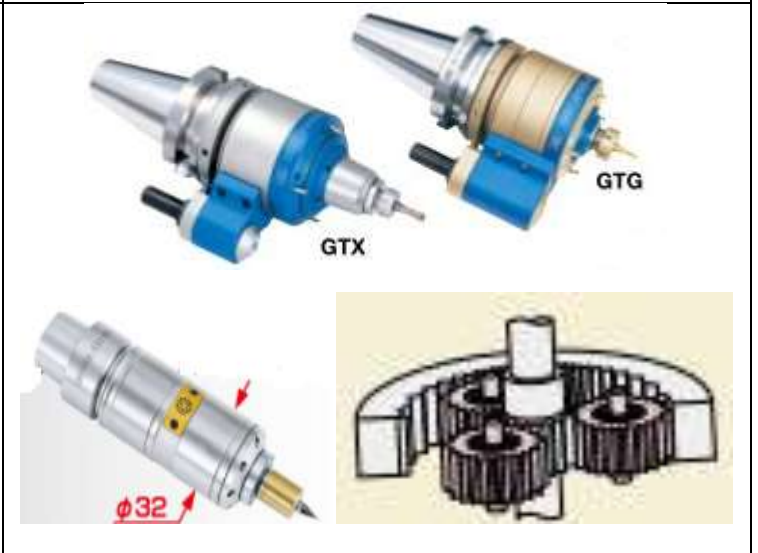
Рис. 6.23 Прискорювальні головки DEG-Group, 3 500 об/хв.



Рис. 6.24 Прискорювальна головка Nikken, 18 000 об/хв.



Рис. 6.25 Прискорювальні механічні головки (Henninger, Німеччина):
Ø 1-7 мм, 50000 об/хв



RBX12, 120 000 об/хв

Рис. 6.26 Прискорювальні головки з коефіцієнтом мультиплікації 4, 5, 6 (Big Diashowa) та мікро-головка з пневмотурбіною.



Рис. 6.27 Прискорювальні головки з пневмоприводом (хвостовик BT40)

Прискорювальні головки з пневмоприводом забезпечують постійну високу частоту обертання 25000-65000 об/хв, зокрема й під навантаженням. Потужність до 1 кВт. Тиск повітря на рівні 6 бар. Використовують переважно з інструментом малого діаметру (6 мм). Поставляють на всі розповсюджені типи хвостовиків. Призначені для швидкісної обробки (HSC).

Окрім головок, використовують високоточні прискорювальні патрони, які дозволяють досягнути високих швидкостей. У склад таких патронів входить затискний пристрій – цанга.

Патрони Nikken серії mini-mini (рис. 6.27) призначені для високоточної швидкісної обробки інструментом малих діаметрів, фрезерування, нарізання різьби. Швидкість обробки до 30 000 об/хв. Патрони забезпечують подачу мастильно-охолоджувальної рідини через цангу, биття складає менше 3 мікрон на довжині 4xD

інструменту, клас якості балансування G 2.5. Запатентована в Японії конструкція забезпечує затиск інструменту у самого торця.

Високоточні цангові патрони для швидкісної обробки (рис. 6.28) дозволяють вести обробку на швидкостях до 40 000 об/хв. Патрони оснащені високоточними цангами, клас якості балансування G 2.5, биття складає 3 мкм.



Багатошпindelні головки

Багатошпindelні головки (рис. 6.30) поставляються у відповідності з технічним завданням замовника. Мають за звичай 2, 3 або 4 інструментальні шпинделі, які мають ту саму частоту обертання й напрям, що й шпindel верстата. Привод може здійснюватися від центрального зубчастого колеса (так само, як це відбувається у багатошпindelних верстатах-автоматах).

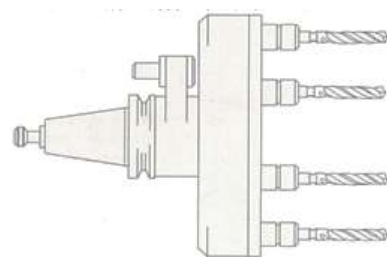


Рис. 6.30 Багатошпindelна головка

На рис. 6.31 зображено автоматичну багатошпindelну головку. Центральна шестерня 1, розташована на хвостовику 14, через блоки зубчастих коліс 12 та 11 передає крутний момент на шестерні 8, які розташовано на шпинделях 5 головки.

Інструмент з циліндричним хвостовиком з мінімальним $\varnothing 12$ мм закріплюється у цангах 7 гайками 6. На відстані 50 мм від торця цанги биття не вище від 0,04 мм.

Шпинделі 5 розташовані у корпусах 4 з ексцентриситетом відносно осей 2 і 9. При обертанні корпусів навколо осей 9 змінюється відстань між шпинделями 5 (від d_{min} до d_{max}). Корпус 3, який обертається на підшипниках 13, може бути орієнтовано й зафіксовано у потрібному положенні відносно хвостовика головки.

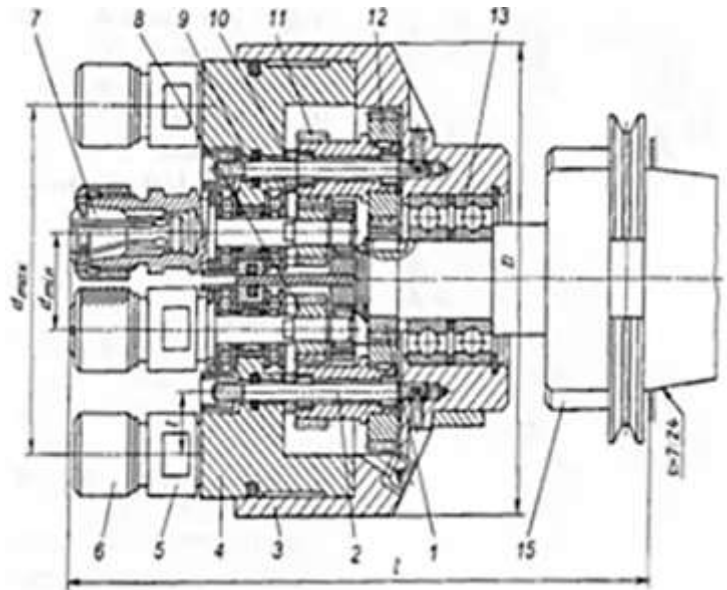


Рис. 6.31 Автоматична багатошпindelна головка [33]

Для виконання операцій швидкісної обробки існують спеціальні високошвидкісні багатошпindelні головки Nikken, максимальна частота обертання 8000 об/хв.

Пристрої для налагодження можуть бути контактні (мають індикатори) і безконтактні (лазерні, з оптичними засобами вимірювання – мікроскопи, проектори, тощо). Налагодження на верстаті шляхом дотику спеціальними щупами передбачає встановлення цих щупів на столі верстату, на спеціальному висувному кронштейні, на шпindelній бабці, тощо. Система ЧПК отримує інформацію щодо дійсного положення різальної крайки інструменту.



Рис. 6.32 Головка фірми
HEIMATESC



Рис. 6.33 Головка компанії Nikken, Японія

Багатошпindelні свердлильні і різьбонарізні головки можуть бути з фіксованим положенням кожного з шпинделів або регульованим (з карданною передачею). Вони можуть встановлюватися на наявний свердлильний верстат або мати власний приводний пристрій (гідро-, пневмо- або сервопривод).

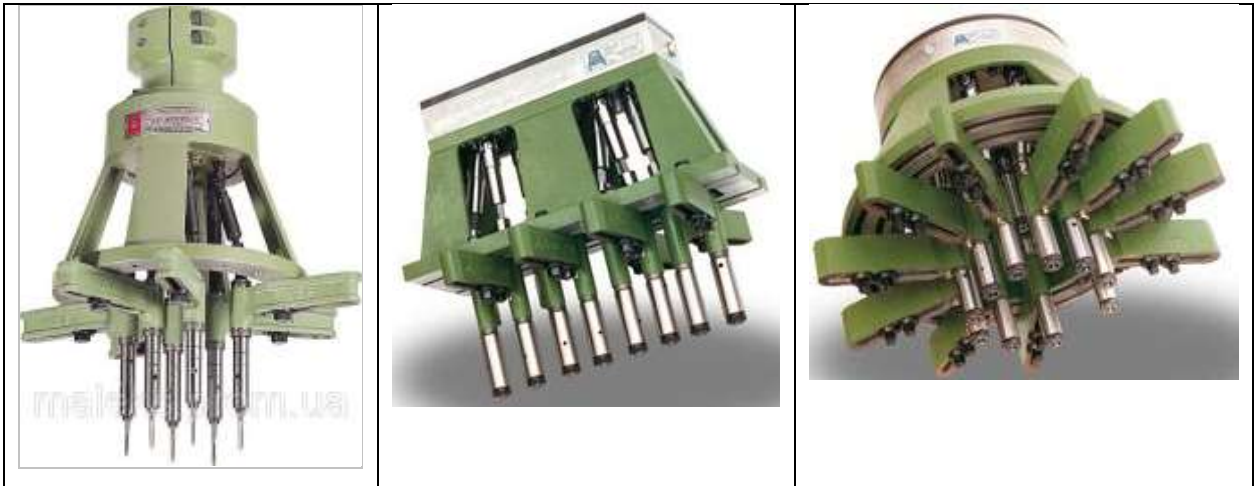


Рис. 6.34 Багатошпindelні свердлильні і різьбонарізні головки з універсальними муфтами (компанія OMG)

Випускають також головки із можливістю змінювати міжосьову відстань (серії TE, TEA і TEF – найповніший спектр подібних головок на міжнародному ринку), двошпindelні фрезерні головки TSI і TSX з двома паралельними шпинделями чи такими, осі яких сходяться (для фрезерування фасок на зубцях зубчастих коліс, тобто робота з ударами) і можливістю обертання в одному чи протилежних напрямках.

При замовленні вказують необхідну кількість шпинделів, їх розташування/регулювання, діаметри свердління і матеріал заготовки, конус шпинделя верстата.

Постачальники в Україні: <http://www.maleks.odessa.ua>, <https://tools.imperija.com/omg.html>

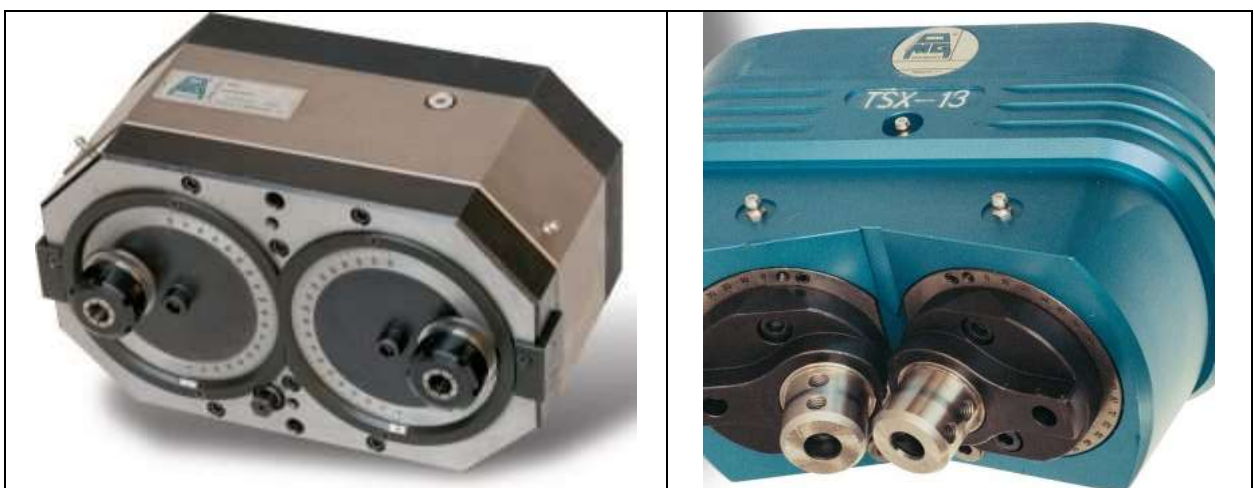


Рис. 6.35 Двошпindelні фрезерні головки серії TSX (компанія OMG)

Налагодження на розмір

При автоматичному циклі обробки заготовок на верстатах з ЧПК та автоматичній зміні різальних інструментів точність виготовлення деталей значною мірою залежить від точності попереднього налагодження інструментів на розмір, точності їхнього попереднього положення по відношенню до заготовки. Налагодження на розмір можна здійснювати:

- поза верстатом на спеціальному устаткуванні;
- безпосередньо на верстаті перед початком обробки із застосуванням вимірювальних щупів;

Пристрої для налагодження можуть бути контактні (мають індикатори) і безконтактні (лазерні, з оптичними засобами вимірювання – мікроскопи, проектори, тощо). Налагодження на верстаті шляхом дотику спеціальними щупами передбачає встановлення цих щупів на столі верстату, на спеціальному висувному кронштейні, на шпindelній бабці, тощо. Система ЧПК отримує інформацію щодо дійсного положення різальної крайки інструменту.

Питання для повторення та контролю знань

1. Інструментальне оснащення автоматизованого виробництва: склад, специфіка конструкцій
2. Допоміжний інструмент: типи, мета впровадження, переваги та недоліки використання. Модульні системи.
3. Вимоги до систем інструментального оснащення. Характерні поверхні типових оправок для кріплення різального інструменту та передачі крутного моменту.
4. Хвостовики високошвидкісних інструментів. Різцетримачі револьверних головок. Схеми затиску швидкозмінних різцевих головок
5. Кутові головки: функціональне призначення, типи, виробники
6. Мультиплікатори: призначення, конструктивна реалізація
7. Багатошпindelні головки: сфери використання.
8. Попереднє налагодження інструментів на розмір: мета, шляхи реалізації, типи пристроїв.

7 Інструментальні магазини

При виборі багатоцільового верстату і при розробці технологічних процесів обробки враховують кількість задіяних інструментів, наявність систем діагностики стану інструментів (зношення, поломки, орієнтовний час зміни), наявність системи автоматичної зміни інструментів, в разі наявності магазину – його розташування, доступність, зручність обслуговування.

Замінювання ріжучого інструменту є необхідним у 2-х випадках:

- у разі зношення інструменту;
- якщо для виконання наступної операції потрібно використати інший інструмент.

Зміна інструменту може здійснюватися вручну або автоматично. Якщо мова йде про БЦ верстат, то передбачається автоматична зміна за використання маніпулятора або без нього.

Пристрій АСІ містить інструментальний магазин, маніпулятор (автооператор) зміни інструменту у шпинделі верстата, транспортний маніпулятор. Можуть також розташовуватися контрольні-вимірні системи, наприклад, для автоматичного обмірювання оброблених поверхонь, та інше оснащення.

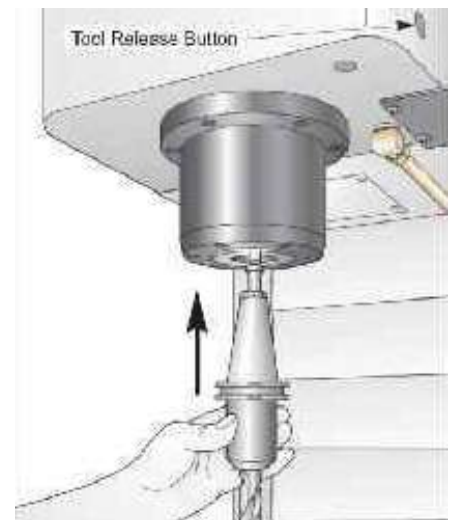


Рис. 7.1 Ручна зміна інструменту.

Існують магазини, що передбачають заміну інструмента без маніпулятора – револьверні головки та магазини лінійного типу. Револьверні головки є магазинами невеликої місткості, традиційно використовуються на токарних верстатах, але у разі приводного інструменту і на свердлильно-фрезерних із хрестовим столом.

Отже принципово АСІ можна поділити на три групи: з інструментом, що його постійно закріплено у шпиндельних вузлах, які встановлені у гніздах багатопозиційної револьверної головки (може використовуватись також лінійний магазин); із зміною інструмента у шпинделі; комбіновані.

Обрану АСІ характеризують часом зміни „від різку до різку“ (або „від стружки до стружки“), тобто від моменту припинення різання одним інструментом до початку різання іншим, і безпосередньо часом заміни одного інструменту у шпинделі на інший.

Інструментальні магазини

Основна функція – створення запасу інструментів, достатнього для обробки однієї чи кількох однакових або різних заготовок

Основні вимоги до інструментальних магазинів:

- ємність інструментального магазину повинна бути достатньою для забезпечення обробки типової для даного верстата заготовки одним комплектом закладених в нього інструментів, тобто не має потреби замінювати інструмент в магазині протягом однієї операції;
- простота і компактність (велика ємність спричиняє складність, вартість виготовлення, значне місце для розташування), достатня місткість магазину за малої площі, яку він займає;
- мінімальний вплив маси інструментів у магазині на точність обробки;
- розташування (бажано) поза робочою зоною верстата, встановлені в ньому інструменти не повинні створювати перешкоди підведенню інструменту у робочу позицію, лінійним і круговим переміщенням заготовок, встановленню і зняттю заготовок, налагодженню верстата.
- захист від забруднення для магазину і інструментів, що знаходяться в ньому (особливо базових конічних поверхонь оправок);
- легкий, зручний і безпечний доступ до магазину наладчику та оператору (порушується у дискових магазинах, де на інструменти може попадати стружка й пил).

Ємність магазину визначається кількістю інструментів, що є необхідними для планованої обробки деталі найбільшої складності, бо необхідно забезпечити повну обробку деталі на одному робочому місці. Обов'язково повинні бути базові інструменти для свердління, фрезерування, тощо, а для заготовок нової групи оброблюваних деталей магазин додатково комплектується лише тими інструментами, які потрібні для обробки саме цієї групи заготовок. Інструменти зниженої стійкості або із збільшеним часом різання треба мати у магазині в декількох екземплярах.

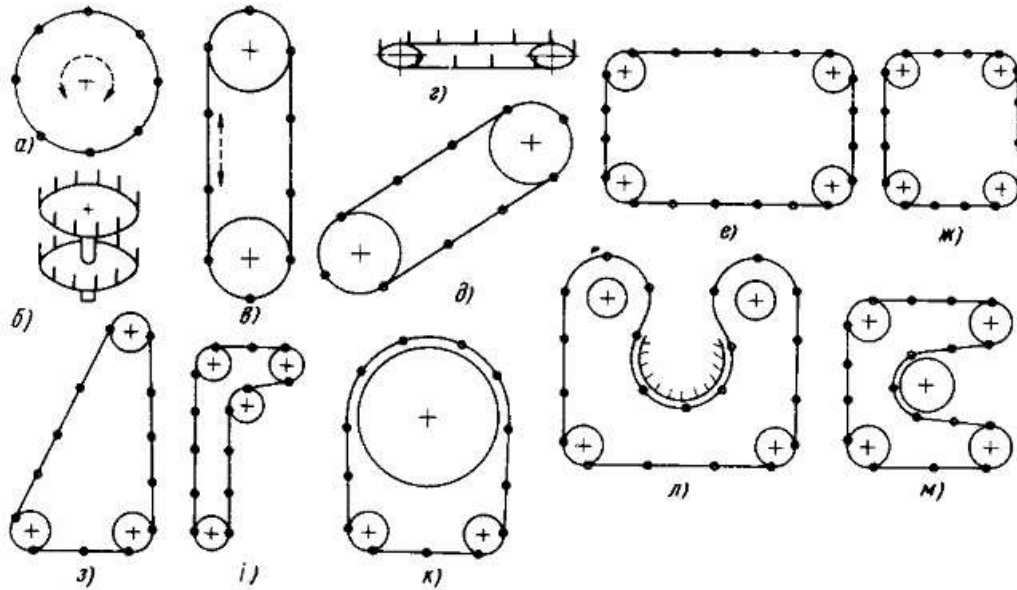


Рис. 7.2 Інструментальні магазини багатоцільових верстатів:

а, б – дискові і барабанні; в-м – ланцюгові.

Використовують магазини:

- дискові з горизонтальною чи вертикальною віссю обертання (різновид – в формі конусу (корони) з вертикальною або нахиленою віссю обертання) – для порівняно невеликої кількості інструментів (звичайно до 30 шт.). У магазинах з горизонтальною віссю обертання інструменти можуть бути встановлені вертикально чи горизонтально, в корончатих – паралельно осі обертання або під кутом.

Розташування інструментів вертикально або під кутом має деякі переваги порівняно з горизонтальним розташуванням: менші розміри в плані, спрощення утримування оправки у гнізді магазину (завдяки дії сили тяжіння), зменшується небезпека травмування робітника.

- барабанні – відрізняються від дискових компоновкою та конструкцією;

Бувають одно- та багаторядні (багатоярусні), в яких осі інструментів розташовують паралельно або радіально відносно осі магазину. Вони розраховані на відносно велику кількість інструментів і обробку складних деталей.

- револьверні головки;
- лінійні – для невеликої кількості інструментів;

- ланцюгові – для значної кількості інструментів, відрізняються просторовим розташуванням (вертикально, горизонтально, з нахилом), геометричною формою (прямокутна, квадратна, трикутна та інші – складніші);
- стелажні – великої місткості, найчастіше вертикальної компоновки. У ГВС можуть використовуватись як інструментальний склад. Пошук інструментів ускладнюється.

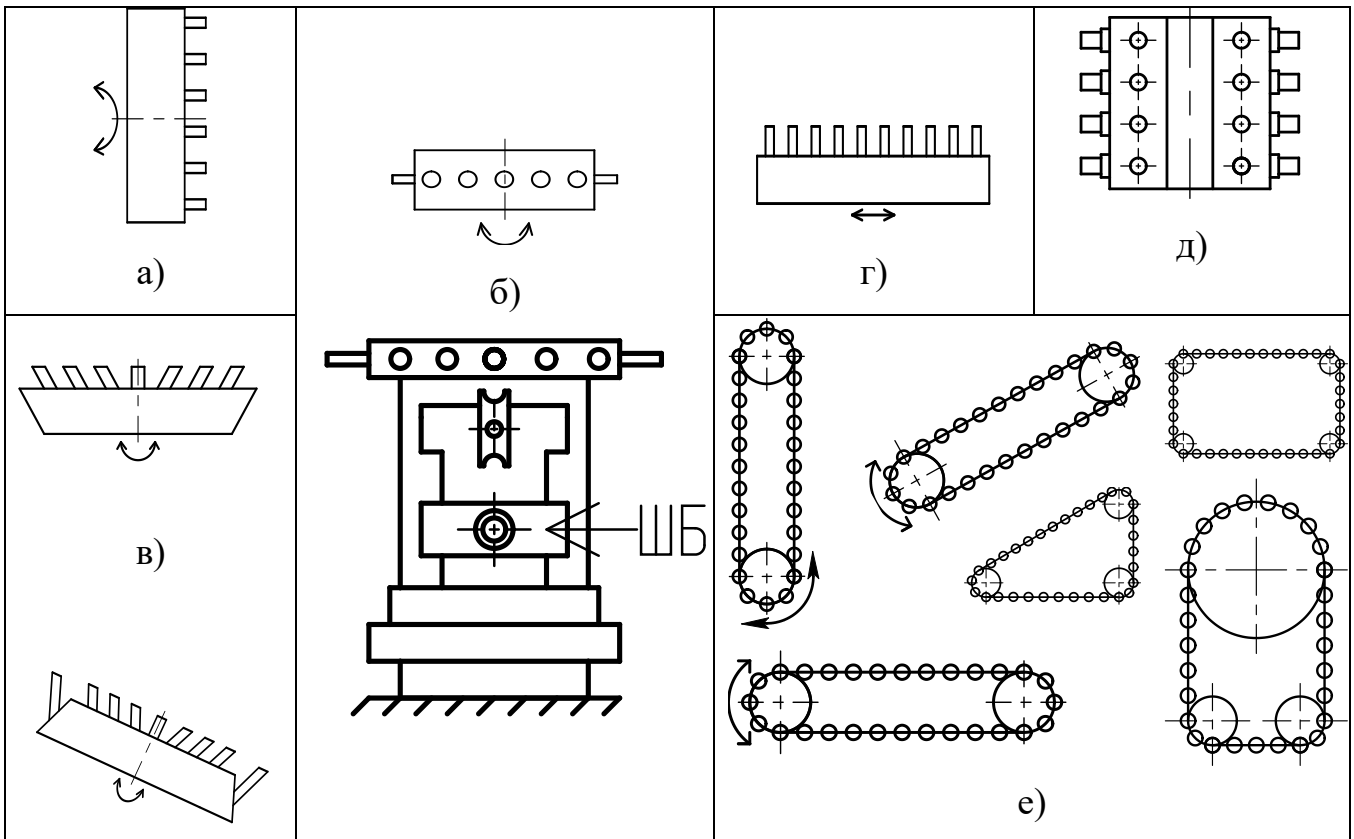


Рис. 7.3 Варіанти виконання інструментальних магазинів: а), б) – дискові з горизонтальною та вертикальною осями обертання; в) – у формі конусу з вертикальною й нахиленою осями (корончаті); г) – лінійний; д) – барабанний; е) – ланцюгові різної форми та розташування у просторі.

За рахунок складної форми ланцюговий магазин навіть великої ємності є компактним. Для зменшення часу ділянку магазину, де знаходиться інструмент, який підлягає заміні, розташовано поблизу шпинделя, а ділянку, яка використовується у завантаженні магазину, розташовано з максимальною зручністю для наладчика й оператора.

Інструментальний ланцюг є гнучким несучим елементом, складається з ланок-втулок, в які встановлюють інструментальні оправки, що їх базують по торцю та діаметральним виточкам. Ланки поєднуються між собою осями, які встановлено на

голчастих підшипниках. Передбачено натягування ланцюга. Горизонтальні ділянки його ковзають по сталевих напрямних із фторопластовими пластинами.

На рис. 7.4 показані приклади інструментальних ланцюгів.



Рис. 7.4 Виробнича система PS 800/1000/1250 фірми MAUSER (Німеччина).

Місткість інструментального магазину повинна бути такою, щоб забезпечити обробку заготовок певної групи без додаткового поновлення комплекту інструментів магазину. Відомо, що з деталей, які оброблюються на БЦ верстатах (тобто корпусних середніх розмірів), в середньому біля 18 % потребують застосування не більш за 10 інструментів, 50 % – до 20 інструментів, 10 % – до 40 інструментів, і лише 5 % – до 50 інструментів. Тільки особливо складні деталі можуть потребувати для обробки до 100 інструментів і більше. Тому найбільшого поширення набули магазини місткістю до 30 інструментів, переважно дискові і барабанні. Ланцюгові магазини найчастіше мають ємність порядку 40-60 інструментів. Значно рідше, в основному на великих БВ, використовують магазини місткістю 100-120 інструментів.

Для обробки великої номенклатури деталей із автоматичним переналагодженням або складних корпусних деталей у режимі безлюдної технології використовують інструментальні магазини типу стелажів (рис. 7.5). Як пристрої для пошуку та транспортування інструментів між магазином-стелажем та автооператором використовують різного типу маніпулятори.

Таким чином досягають збільшення циклу роботи ГВМ незалежно від номенклатури деталей і зношення та поломок інструментів. Однак в цьому випадку

консервується велика кількість інструментального оснащення, що робить виробництво більш вартісним.

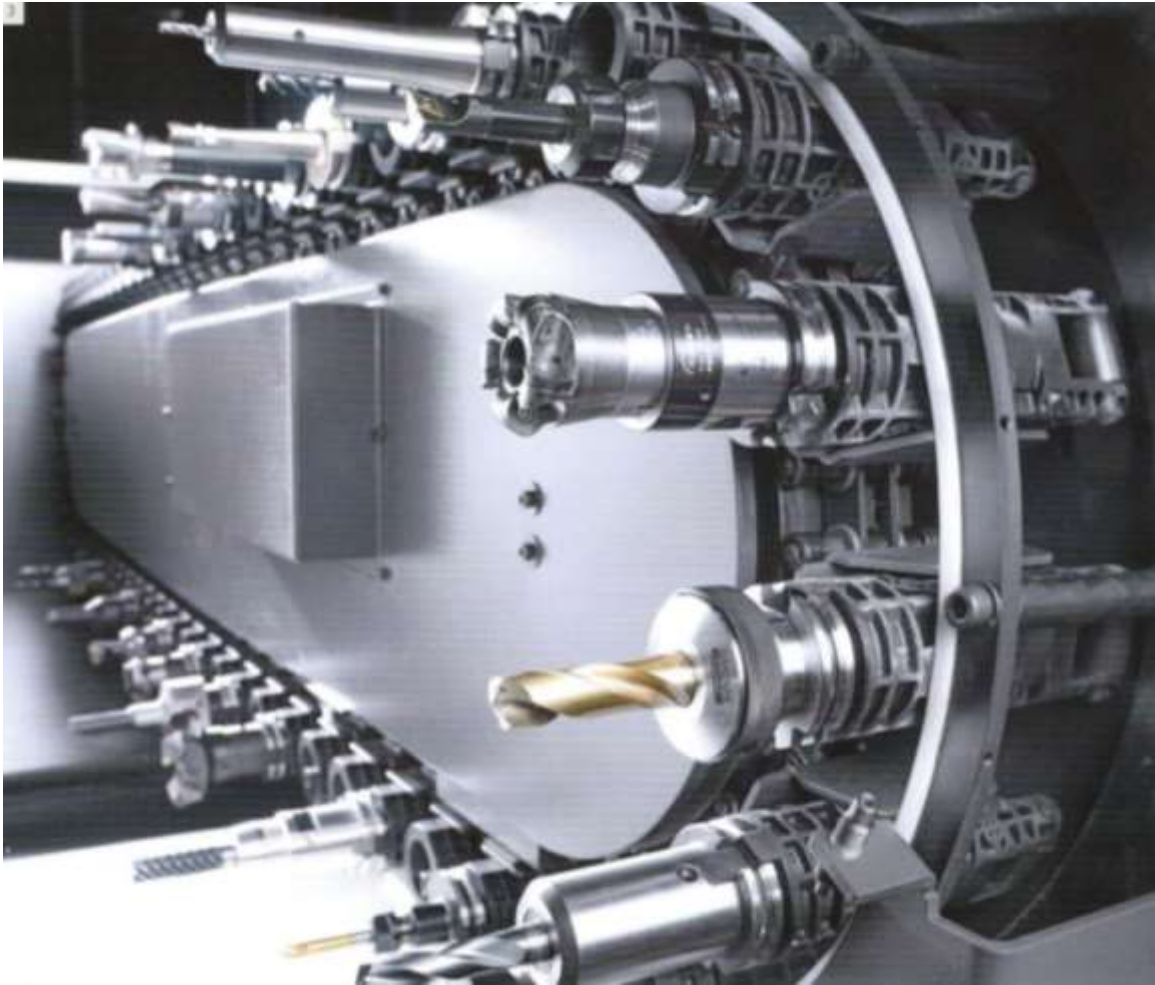


Рис. 7.5 Ланцюговий магазин на 30-60 інструментів (верстат DMU 50 /DMU 70, DECKEL MAHO, DMG).

Подібні магазини можна використовувати як централізований інструментальний склад, що обслуговує кілька верстатних модулів. Така об'єднана інструментальна система може виявитися економічно доцільнішою за окремі магазини для кожного верстата.

Велику місткість має доволі специфічний планетарний магазин Використано, наприклад, у верстаті моделі MA

Отож принципово 2612Ф2 і він містить 100 інструментів (10-дисків по 10 інструментів). Така конструкція забезпечує добре використання площі, але конструктивно складно здійснити пошук потрібного інструмента

Специфічним магазином, розрахованим на невелику кількість інструментів (6-8 або 12-18 шт. – залежно від верстата), є револьверна головка. Певний час

використовувалася для встановлення необертювих токарних різців, зараз можливо використання обертювих інструментів і кількість їхня подвоєна за рахунок встановлення у два ряди (паралельно й перпендикулярно до осі обертання). Принципово можливі два способи: без автоматичної зміни набору інструментів у головці (тобто працює постійний набір інструментів, які встановлено у порядку використання – такий варіант не дозволяє сповна використати можливості револьверної головки: конкретна конструкція має певний розподіл жорсткості головки по позиціях і можливе встановлення. Необхідність повороту револьверної головки зумовлює її відведення й обмежує цим робочий простір верстата. Але перевагою є відсутність автооператорів та транспортних пристроїв і мінімальний (2-3 с) час зміни інструмента.

При використанні багатошпиндельних головок їх можуть встановлювати у той самий магазин або передбачають окремі магазини з відповідними ПАЗІ для одиночних інструментів та для багатошпиндельних головок (типовим є поєднання ланцюгового та лінійного магазинів). Використання багатошпиндельних головок ускладнює конструкцію магазину, але розширює технологічні можливості верстата.

Можуть використовуватися магазини із уніфікованими касетами, кожна з яких містить, наприклад, комплект інструментів для обробки певної деталі. При роботі може використовуватись одна із секцій без переміщення всього запасу інструментів. Барабанний додатковий магазин із змінними касетами на 6 інструментів використовується для заміни інструментів у револьверній головці у верстаті мод. 1720 ПФ30 (загальна місткість магазину 60-120 шт).

Приклади конструкцій магазинів



а)



б)



в)



г)

Рис. 7.6 Дискві інструментальні магазини з горизонтальною і вертикальною осями.
а), б) – встановлені на бічній стінці; в) – підвісний; г) – ОЦ фірми CHIRON MILL

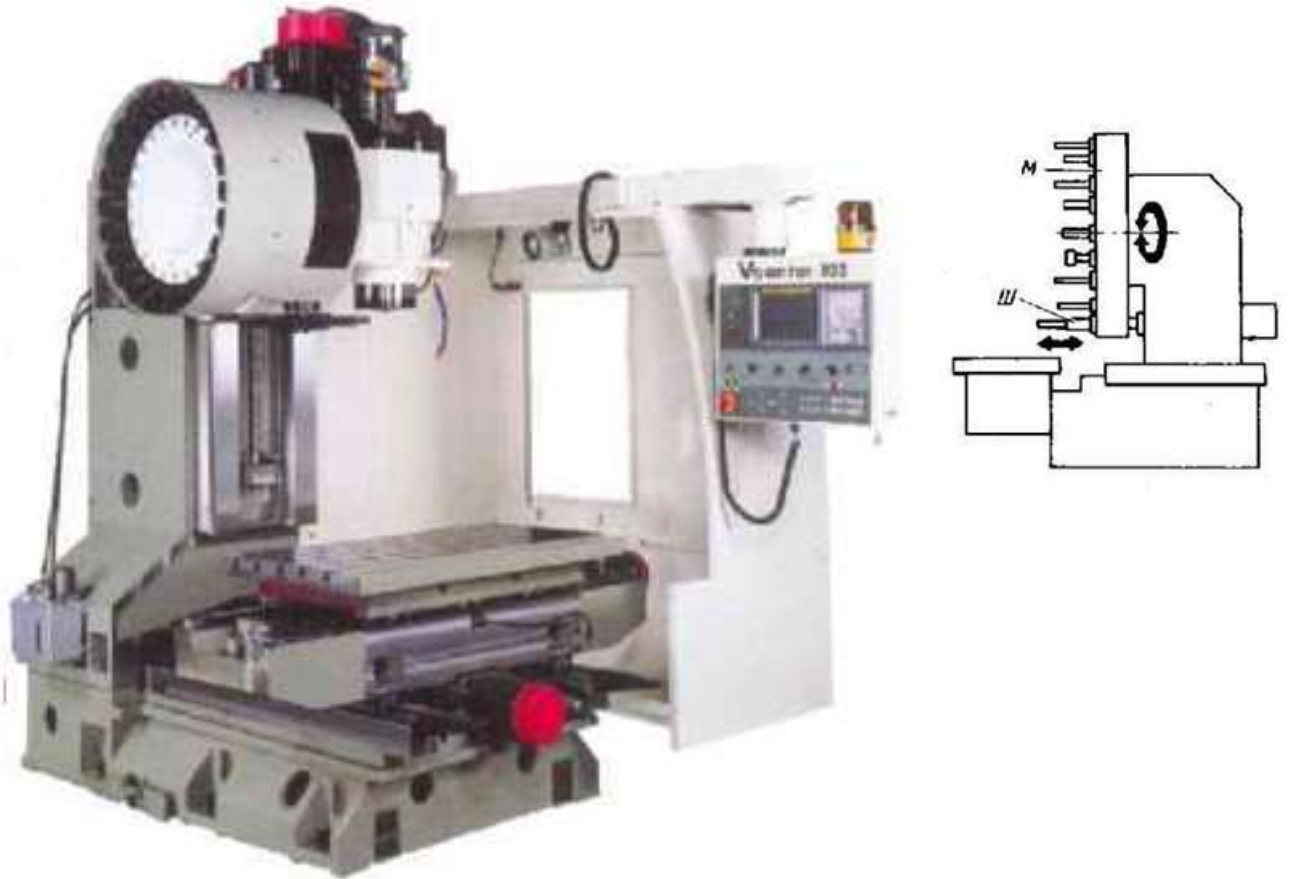


Рис. 7.7 Інструментальний дисковий магазин, встановлений на шпиндельній бабці.

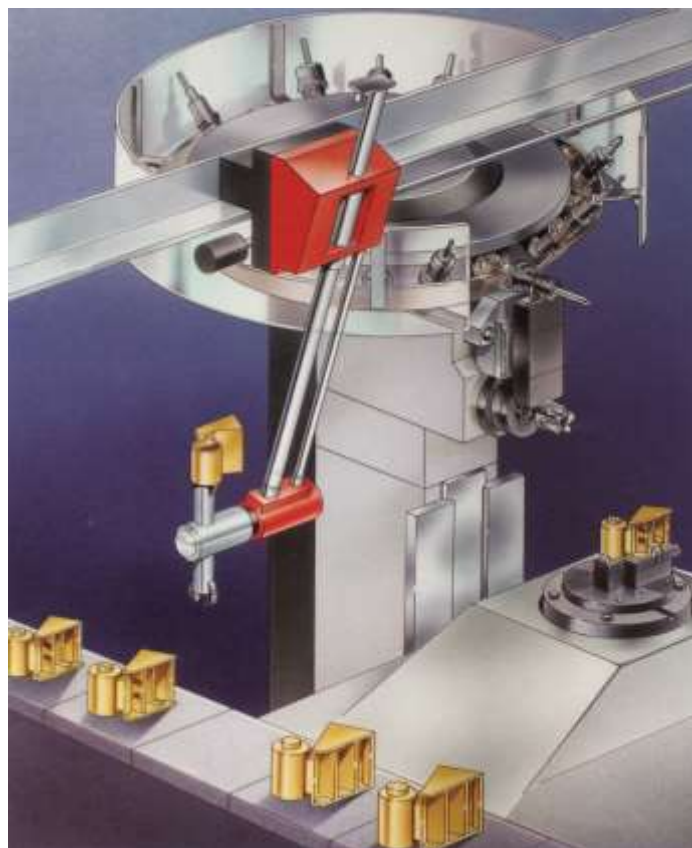


Рис. 7.8 Корончатий інструментальний магазин (показано також зміну заготовок)



Рис. 7.9 Магазин обробного центру серії
FZ12W – FZ12W MAGNUM (Chiron)



В основі компоновки високошвидкісних обробних центрів Chiron модульної конструкції – вертикальна пересувна колона. Вони характеризуються швидкісною зміною інструментів. Мають запатентований пристрій АЗІ у формі корзини на 20 позицій. Завдяки рухомому (пересувному) магазину інструментів, який розташовано навколо шпинделя, практично не потрібні додаткові переміщення за осями: їх зведено до мінімуму і обмежено переміщеннями за віссю Z (як наслідок можливості довільно змінювати рівень зміни інструмента). Форма захвату відповідає оптимальному відведенню стружки. Магазин дозволяє використовувати кутові головки, вимірні щупи та грейфери для захвату оброблюваних деталей. Забезпечує час зміни інструмента 0,8 с., а час «від стружки до стружки» становить від 1,9 с (FZ12W) до 2,4 с (FZ12W MAGNUM).



Рис. 7.10 Стелажний інструментальний магазин



Рис. 7.11 Інструментальний магазин фірми Hermle (ланцюговий багаторярусний).



Рис. 7.12 Магазин стележного типу для горизонтально-розточувального верстату:
заміна інструментів промисловим роботом з 6-ма осями (компанія Fermat, Чехія)



Рис. 7.13 Фрезерно-розточуючий центр UFDZ 1200 фірми SHW:
розташування магазину поряд із обробним центром.

Обробний центр має головний шпиндель з діаметром патрону 170 мм та з можливістю обробки з прутка діаметром 51 мм (65 мм), додатково – фрезерний шпиндель з частотою обертання 20000 об/хв, вісь В з моментним електродвигуном, відкидний протишпиндель. Ланцюговий інструментальний магазин на 38 або на 76 інструментів забезпечує час від стружки до стружки менше за 7 сек.

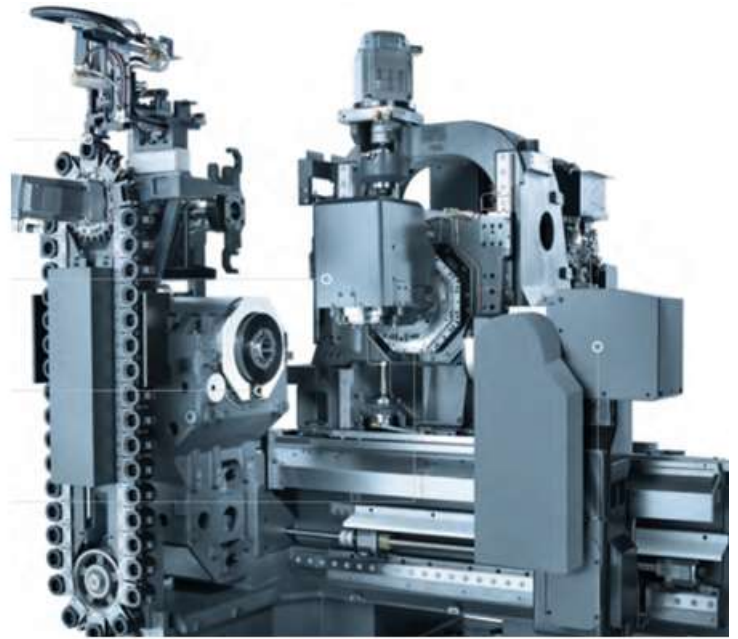


Рис. 7.14 Високоточний гнучкий модуль на базі обробного центру NTX 1000 www.dmgmori-seiki.com

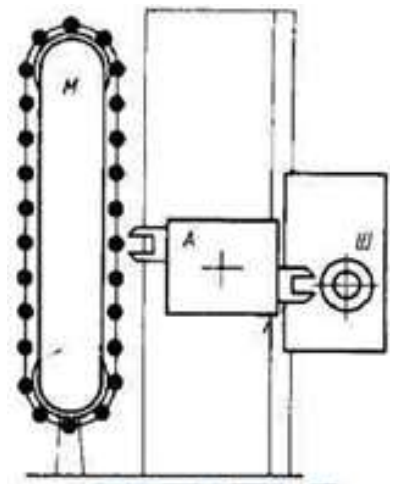


Рис. 7.15 Ланцюгові інструментальні магазини

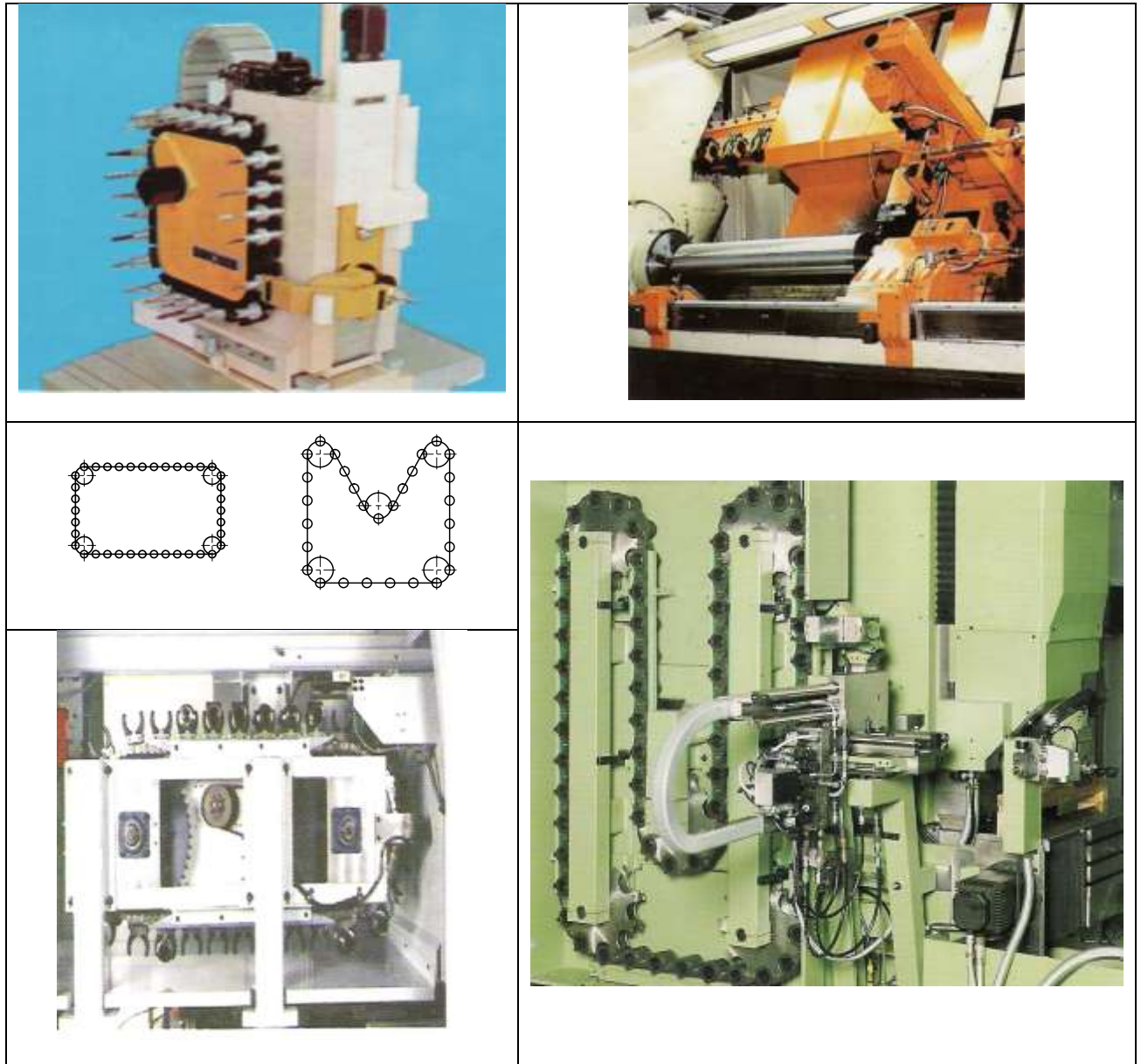


Рис. 7.15 (продовження) Ланцюгові інструментальні магазини



Рис. 7.16 Верстат вертикально свердлильний.
2P135Ф2 з ЧПК, револьверною 6-
тишпіндельною головою і хрестовим столом

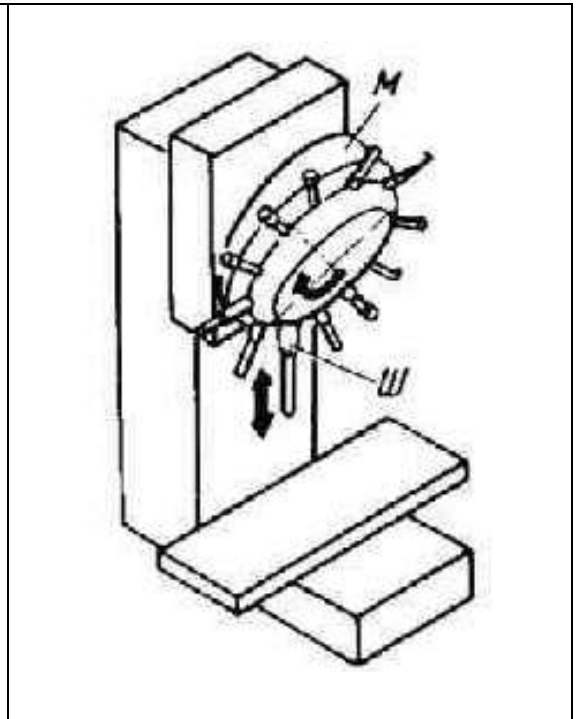


Рис. 7.17 Компонівка верстата з
револьверною шпіндельною
голівкою.



Рис.7.18 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод. МА-655А14/ПН
(Савеловський машинобудівний завод). Кількість інструментів в магазині – 8.
Максимальний діаметр інструмента – 160 мм.

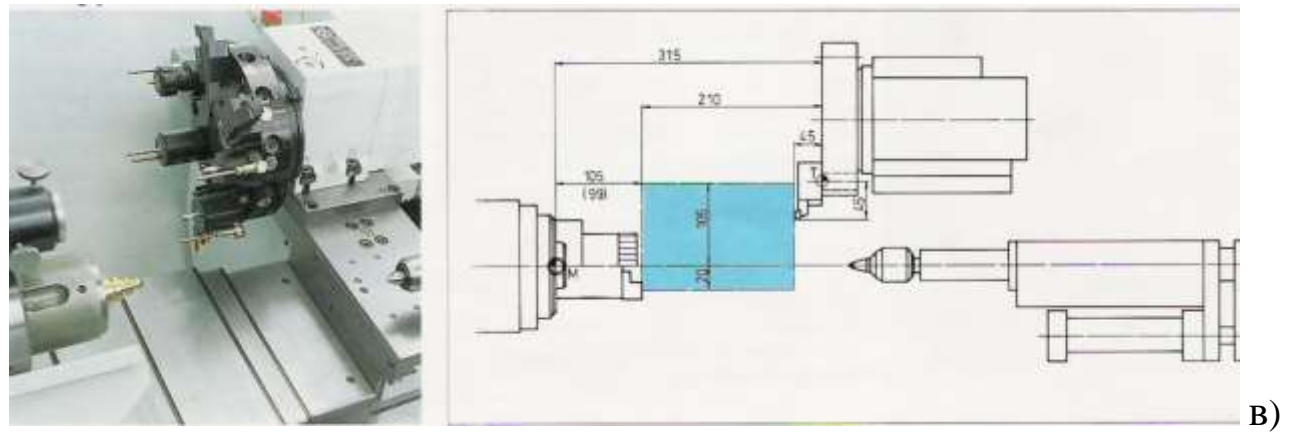
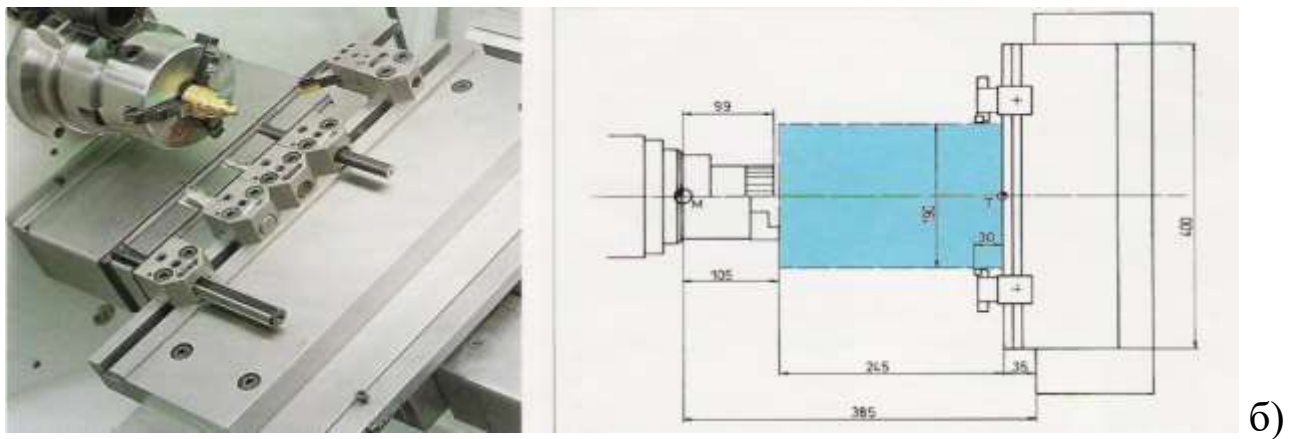
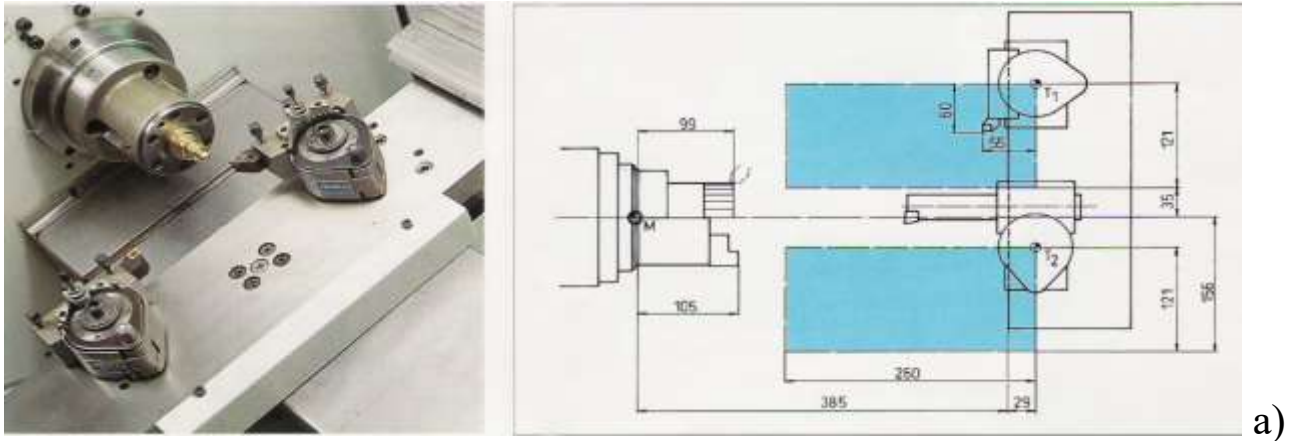


Рис. 7.19 Лінійний магазин а, б та револьверна головка
в – замінюють інструмент без автооператора

Пристрій АЗІ (ПАЗІ) повинен по ходу виконання технологічної операції забезпечувати передачу потрібного інструменту (разом з інструментальною оправкою) з магазину в шпindelь верстата, заміну відпрацьованого інструменту іншим та повернення його до магазину. Мета: скорочення часу, який витрачається на заміну інструментів за рахунок автоматизації (автоматичне замінювання інструментів триває 5-10 с, а у багатьох випадках – 1-3 с. Частота заміни інструментів становить 20-25 на годину).

Вимоги до пристроїв АЗІ:

- швидкодія: забезпечується мінімальний час, який безпосередньо витрачається на зміну інструменту, шляхом скорочення кількості рухів вузлів ПАЗІ в процесі зміни, кількості та довжини координатних переміщень, суміщенням певних підготовчих дій з часом різання (поворот барабану або рух ланцюга магазину для пошуку потрібного інструменту в магазині, підйом або опускання магазину разом зі шпindelною бабкою (якщо це передбачено конструкцією верстата) або інший варіант перенесення обраного інструменту до шпинделя, орієнтація інструменту (робота механізмів кантувача), переміщення каретки автооператора, повернення інструменту, який відпрацював, в магазин). В цьому випадку необхідно всього декілька секунд: для того, щоб зупинити шпindel і відвести його від заготовки, витягнути використаний інструмент зі шпинделя і встановити наступний;
 - стабільність точного і жорсткого положення інструменту в шпindelі після його закріплення;
 - попередження виникнення вібрацій верстата при роботі механізмів магазину і пристроїв для зміни інструменту, тобто мінімальний вплив динаміки роботи магазину на якість обробленої поверхні;
- висока надійність, зокрема надійність закріплення інструмента в шпindelі, а також надійність роботи всіх ланок. Тривала відмова пристрою АЗІ зумовлює необхідність ручної зміни інструменту, що різко знижує ефективність застосування БЦ верстату;

— загальна кількість рухів в циклі автоматичної зміни інструменту повинно бути мінімальним: для спрощення кінематики і конструкції механізмів зміни інструментів, полегшення конструктивних і технологічних рішень, підвищення надійності і поліпшення умов обслуговування;

— зміну інструментів бажано виконувати у будь-якому положенні шпиндельної бабки. Додаткове переміщення шпиндельної бабки в позицію зміни інструменту є небажаним, оскільки при цьому порушується досягнуте при позиціюванні положення шпинделя по відношенню до заготовки, після зміни інструменту шпиндель не може повернутися абсолютно точно в початкове положення. Тому кожен точний отвір прагнуть обробити повністю декількома інструментами без зміщення шпинделя щодо осі отвору.

— дотримання принципу агрегування. Стосовно магазинів і механізмів автоматичної зміни інструментів це означає розробку конструкцій, що дозволяють один і той же тип магазину і пристрої АЗІ використовувати на різних верстатах, або, залежно від умов виробництва, де працює верстат, оснащувати його магазинами різних типів.

— можливість збільшення місткості магазину без суттєвого змінювання конструкції інших вузлів ПАЗІ та верстата;

Дуже важливими вимогами до будь-якої системи зміни інструменту є простота і безпека обслуговування, доступність механізмів і пристроїв, зручність наладки і переналадки, ремонтпридатність. Забезпечити виконання всіх цих вимог вдається далеко не завжди. Створення досконалих систем автоматичної зміни інструменту представляє складну конструкторсько-технологічну проблему.

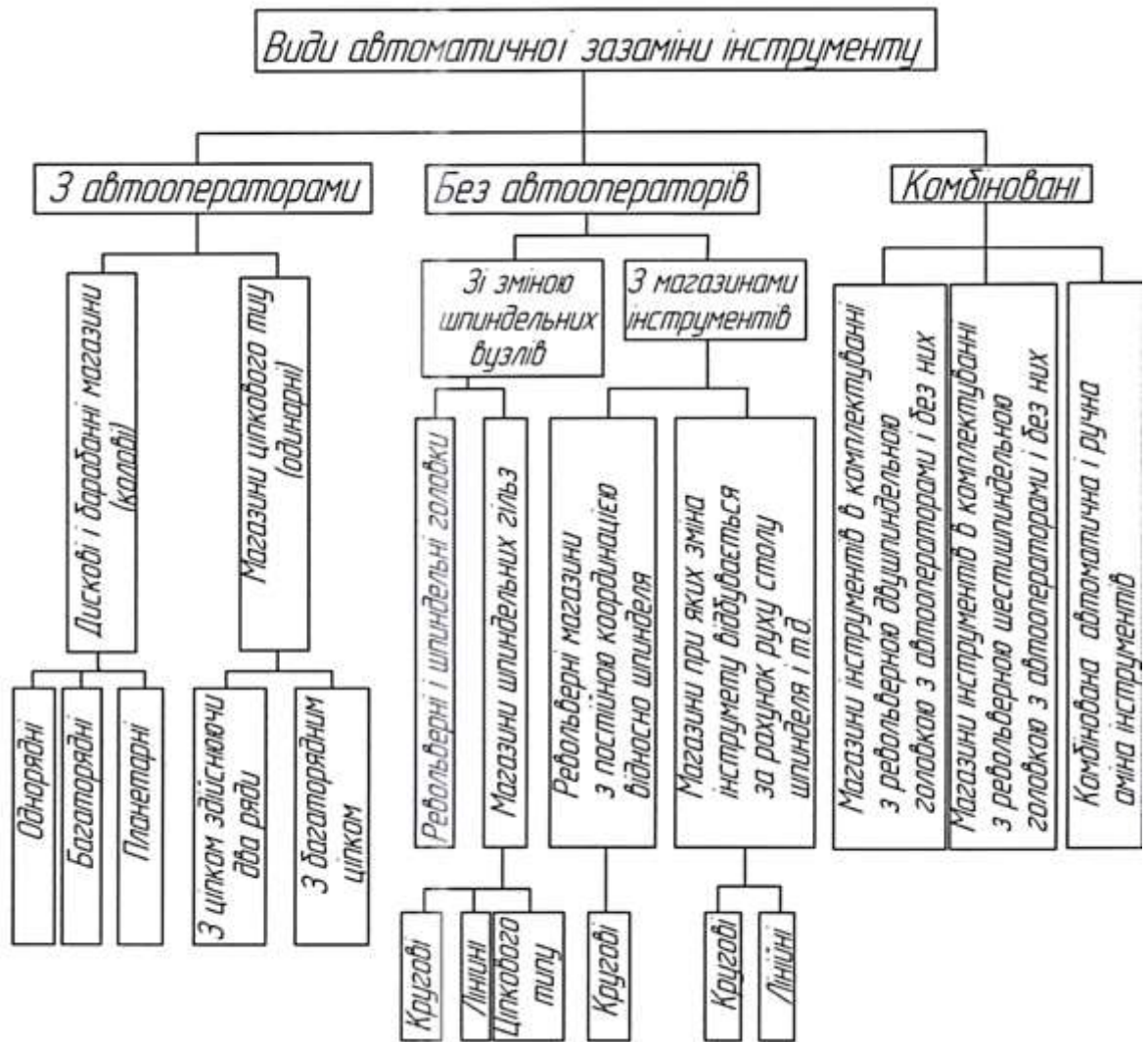


Рис. 7.20 Види пристроїв автоматичної заміни інструменту

В залежності від компоновки верстата та його технологічних можливостей ПАЗІ містять:

- накопичувачі інструментів (револьверні головки, магазини шпиндельних гільз, інструментальні магазини, револьверні магазини з постійною координацією відносно шпинделя);
- завантажувально-розвантажувальні пристрої для знімання та встановлення інструментів у шпиндель верстата (інструментальні автооператори);
- проміжні конвеєрні пристрої для передачі інструмента від накопичувача до завантажувального-розвантажувального пристрою за великих відстаней від шпинделя до накопичувача (автооператори, перевантажувачі);
- проміжні накопичувачі інструментальних наладок, де замінюють інструмент при великих ємностях магазину.

Розташування магазина інструментів відносно верстата:

- на рухомій шпindelній бабці;
- на стойці зверху (нерухомо);
- на стойці збоку (нерухомо на боковій поверхні);
- на столі верстату;
- поряд із верстатом на окремому фундаменті (окремій стойці).

При цьому верстати можуть мати різну компоновку: горизонтальний чи вертикальний шпindel, одну чи дві стойки тощо. Інструмент у магазині може бути розташований співвісно, паралельно чи під кутом до осі магазину.

Розташування магазина обирають з врахуванням не лише його компоновки, а і вимог до верстата та його характеристик. Наприклад, розташування магазину на шпindelній бабці або стойці сприяє виникненню або посиленню коливальних процесів через додаткову масу, хоча магазин у процесі різання є нерухомим.

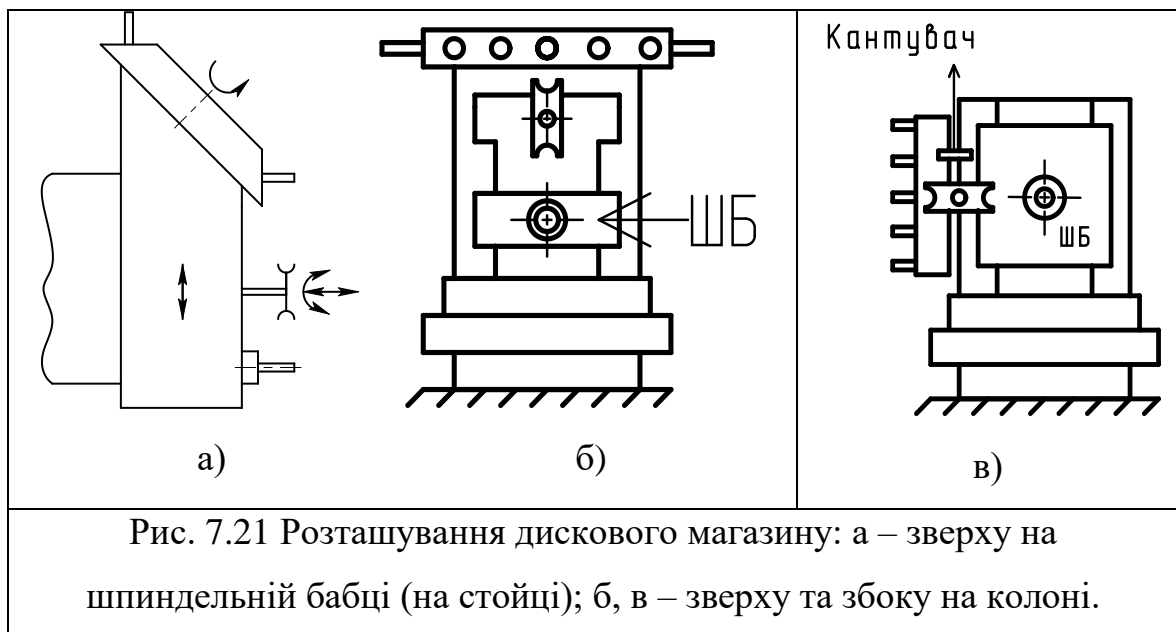


Рис. 7.21 Розташування дискового магазину: а – зверху на шпindelній бабці (на стойці); б, в – зверху та збоку на колоні.

На рис. 7.21, а), показано дисковий магазин, розташований зверху на шпindelній бабці таким чином, що в одній з позицій інструмент розташований співвісно із шпindelом верстата. Змінювання інструментів здійснюється поворотом магазину і переміщенням автооператора (за його наявності) чи осьовим переміщенням

шпинделя, що спрощує конструкцію механізму і скорочує час перевантаження. За відсутності спеціального автооператора зміна інструмента відбувається за 5 с.

Переваги:

- мінімальна відстань між осями шпинделя та інструментальної оправки при перевантаженні цієї оправки у шпиндель;
- немає потреби у додатковій координації положення магазину та шпинделя при зміні інструмента автооператором (зміна в будь-якому місці).

Недоліки – вібрації та деформація шпиндельної бабки:

- збільшення розмірів та маси шпиндельної бабки, що зменшує точність обробки;
- обмеження по застосуванню: у більшості сучасних обробних центрів шпиндельна бабка переміщується вертикально по напрямних рамної стойки, що при збільшенні маси шпиндельної бабки зумовлює збільшення потужності привода вертикального переміщення та вимагає збільшення жорсткості конструкції рамної стойки.

В разі розташування магазину на верхній (рис. 7.22, б) або бічній (рис. 7.23, в) стінці колони час зміни інструменту збільшується на час переміщення шпиндельної бабки до магазину після виконання технологічного переходу і на зворотний шлях.

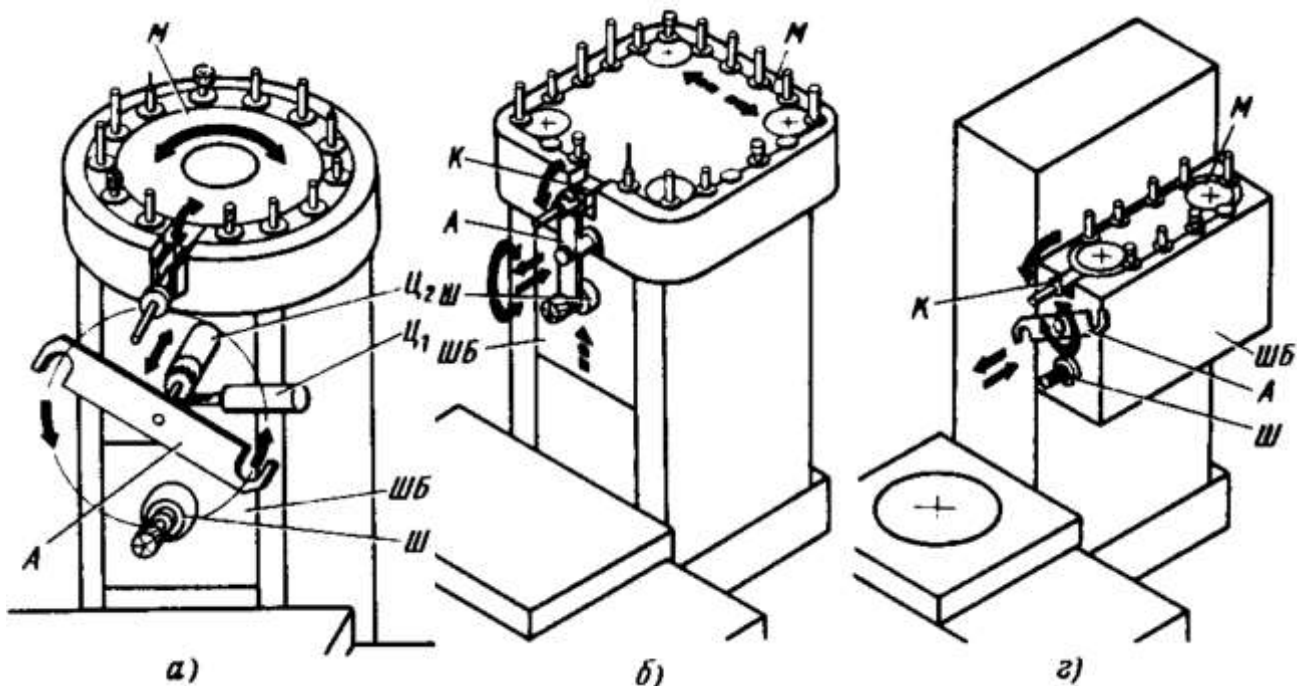
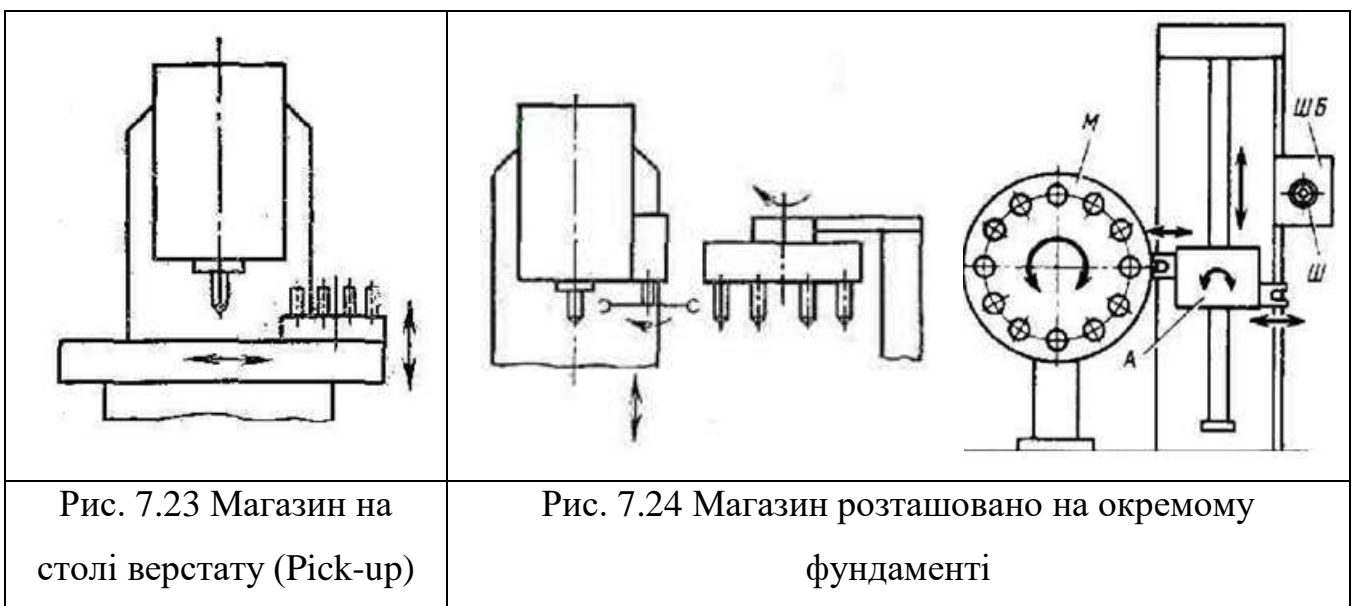
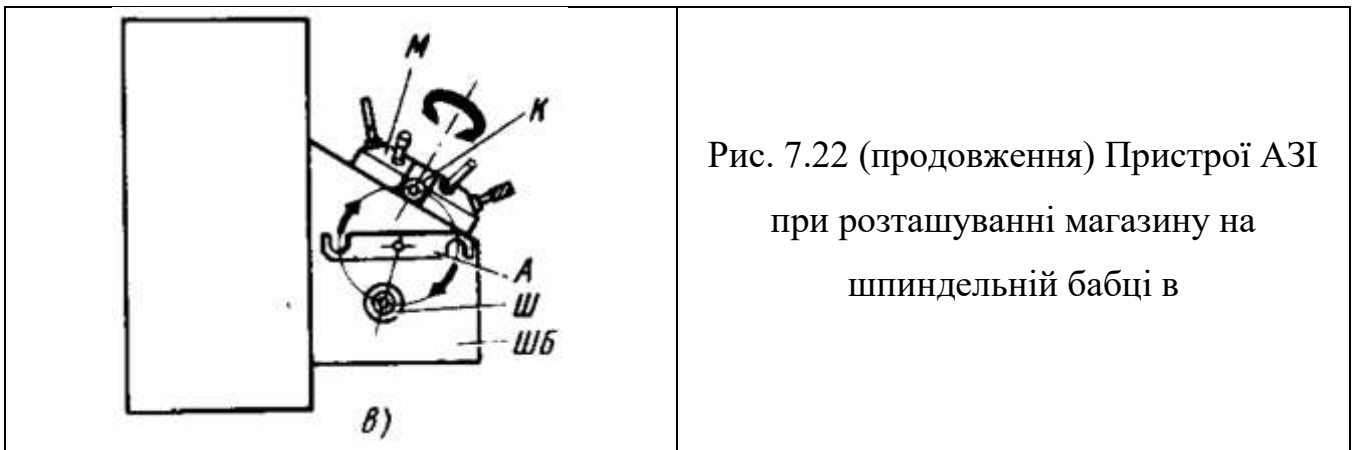


Рис. 7.22 Пристрої АЗІ при розташуванні магазину на стійці (а, б) та на шпиндельній бабці г



Магазин на столі верстату здешевлює конструкцію, але неминуче збільшує габарити стола.

Розташування магазину на окремому фундаменті спрощує завантаження, дозволяє мати значну місткість, дає можливість застосовувати одну модель для різних верстатів, одночасно обслуговувати кілька верстатів та замінити інструменти під час обробки. Динамічні навантаження від магазину не впливають на точність роботи верстата, легше здійснити захист від стружки. Але при цьому необхідно мати додатковий транспортний маніпулятор або стойка повинна мати додатковий рух для здійснення заміни інструмента. І, звісно, при цьому через наведене встановлення магазину збільшується загальна площа й габарити верстата.

Пристрої АЗІ містять інструментальний магазин, пристрій завантаження, який здійснює перенесення інструментів від магазину у шпиндель та зворотній рух, а при

потребі–транспортний пристрій, який передає інструмент з магазину до пристрою завантаження.

ПАЗІ поділяють :

за конструктивним виконанням:

- із замінюванням всього шпиндельного вузла (револьверні шпиндельні головки, магазини шпиндельних гільз);
- із заміною інструмента безпосередньо у шпинделі (інструментальні магазини, зокрема, револьверні головки)
- комбіновані (магазин у поєднанні з револьверною головкою або поєднання автоматичної та ручної заміни).

за способом заміни інструменту:

- без автооператора – заміною шпиндельного вузла;
- переміщенням шпинделя: заміна в конкретній точці, значна тривалість;
- автоматична заміна з автооператором;
- з позицією очікування;
- з проміжним носієм і автооператором;
- з револьверними головками.

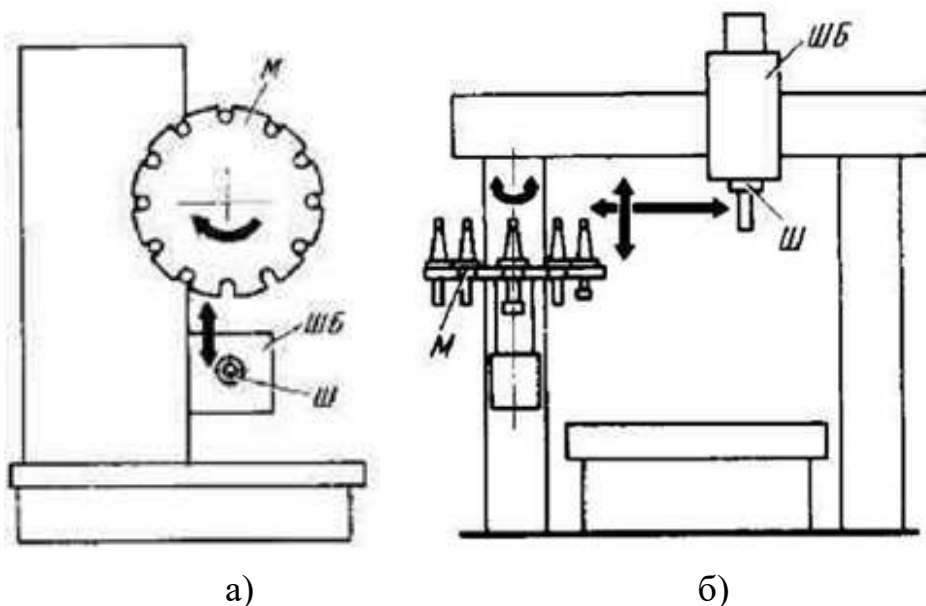
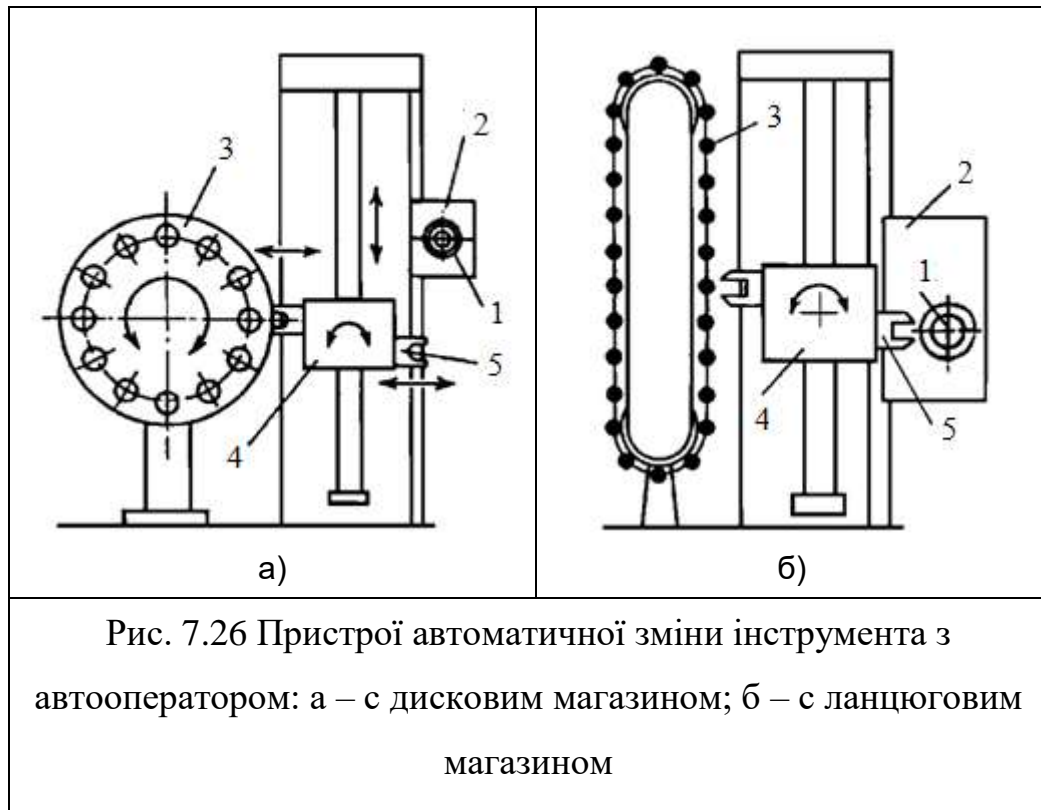


Рис. 7.25 Заміна інструмента переміщенням шпинделя

- а) – при співвісному розташуванні інструмента й шпинделя;
б) – при паралельному розташуванні.



Автооператори, призначені для зміни інструменту у шпинделі верстату, мають захват, який спеціальним механізмом (наприклад, підпружинені кліщі або лещата) затискає оправку за шийку у радіальному напрямі. Однозахватні автооператори передбачають можливість повороту відносно осі, яка є паралельною чи перпендикулярною до осі шпинделя, та переміщення у площині, що перпендикулярна до осі.

У додатку показані конструкція автооператора механізму автоматичної зміни інструмента та конструкції захватних пристроїв автооператора: а – кліщового типу; б – типу охоплюючої скоби з фіксуєчим пристроєм.

У більшості верстатів з широкою номенклатурою ПАЗІ зміна інструментів може відбуватися лише при одному положенні шпиндельної бабки. Цього недоліку немає для конструкцій, представлених на рис. 7.27 Захвати автооператора можуть висуватися з корпусу каретки, яка, в свою чергу, може переміщуватися вгору й вниз по стойці верстата, а також у напрямку, що є паралельним осям магазину і шпинделя. Лівий захват автооператора висувається й захоплює інструмент з магазину, а каретка пересувається по стойці й займає положення навпроти шпиндельної бабки. Аналогічними

рухами правий захват витягує інструмент, який підлягає заміні. Відбувається поворот автооператора й інструменти міняються місцями. Недоліком даної компоновки є розташування магазину в безпосередній близькості від робочої зони, у місці що не є зручним для завантаження й розвантаження магазину. Конструкція автооператора ускладнюється через необхідність отримати відокремлені один від одного рухи захватів.

Статичний аналіз БВ, побудованих за кордоном, показав, що від загального числа, верстати з револьверними шпіндельними головками складають 24,5%, верстати з магазинами інструментів – 57%, верстати з комбінованими та іншими пристроями – 18,5%. [14].

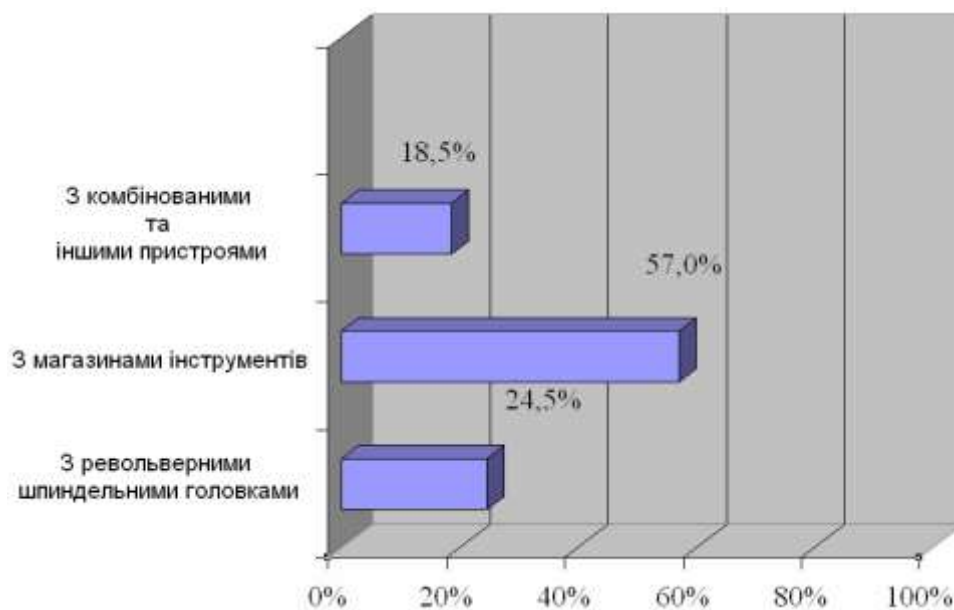


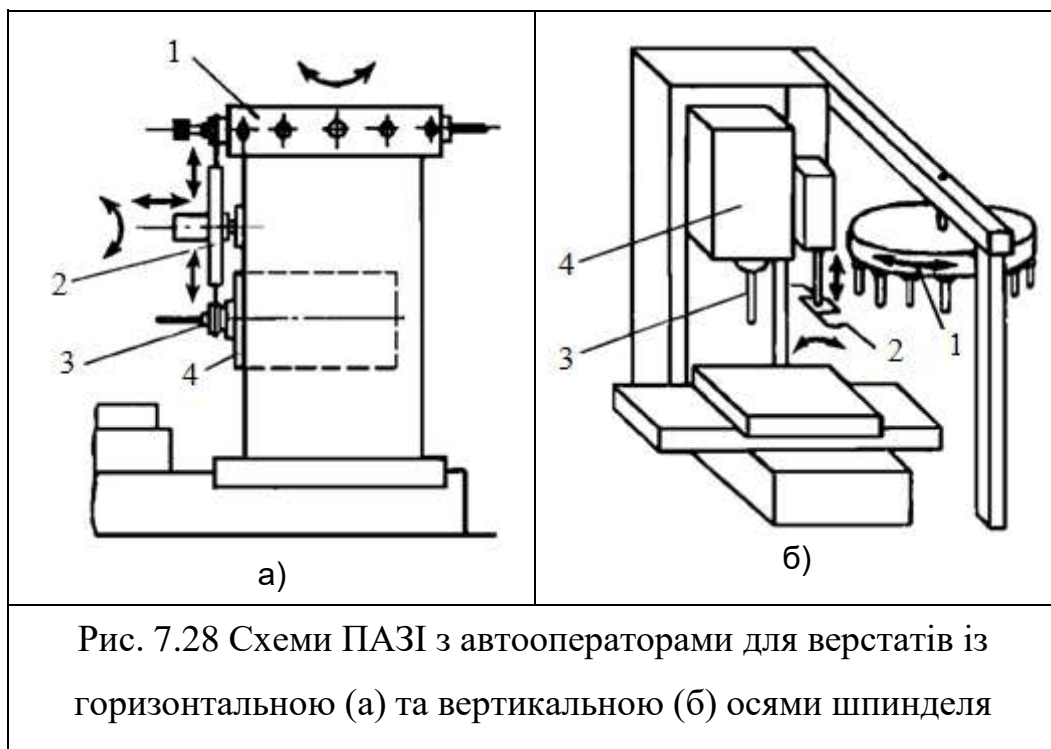
Рис. 7.27 Процентний розподіл використання ПАЗІ [14].

Розроблена уніфікована система АЗІ [44], яка містить в кількох виконаннях конструктивні модулі: магазин інструментів (різного розташування відносно верстату), автооператор (горизонтальний чи вертикальний), траверси, по яким рухається автооператор (різного розташування, відносно верстату, суцільні або складені, різних розмірів), механізм стеження (з приводом індивідуальним чи залежним – від ланцюга магазину або від шпіндельної бабки) і пристрій управління. Технічні дані системи: місткість магазину інструментів – від 20 до 100 шт.; положення робочого шпинделя – горизонтальне і вертикальне; конус хвостовика інструментів – 7:24 (або 40 і 50); найбільша довжина інструментів – 400 і 500 мм (для конусів 40 і 50 відповідно); найбільша маса інструменту – 15 і 30 кг (для тих же випадків); спосіб пошуку інструменту – кодування гнізда або самого інструменту; розташування магазину

інструментів – підвісне (на стойці верстата) або підлогове (поряд із верстатом). Передбачено, наприклад, згідно з основними компонованнями одностойкових багатоцільових верстатів з горизонтальним шпинделем 8 основних виконань АЗІ.

Як приклад, наведемо порядок рухів при зміні інструменту за допомогою автооператора в ПАЗІ, які застосовують для верстатів середніх розмірів з горизонтальною чи вертикальною осями шпинделя (рис. 7.28).

Інструментальний магазин 1 (рис. 7.28, а) розташовано зверху на стойці верстата. Тоді зміна інструмента у шпинделі 3 відбувається у крайньому верхньому положенні шпиндельної бабки 4. Оправка інструменту, який вже відпрацював, затискається нижнім захватом двозахватного автооператора 2, який здійснює за командами ЧПК необхідний цикл рухів. Автооператор рухається вперед вздовж осі і витягає із шпинделя оправку, яку змінюємо, повертається на 180° і суміщує нову оправку з інструментом з отвором шпинделя, а рухом назад вставляє її у шпиндель. Шпиндельна бабка переміщується у робочу позицію, а автооператор рухається вгору для повернення інструменту, який відпрацював, назад у магазин. При відведенні автооператора в нижню позицію відбувається поворот магазину з метою пошуку наступного інструменту. Порядок рухів показано на рис. 7.29.



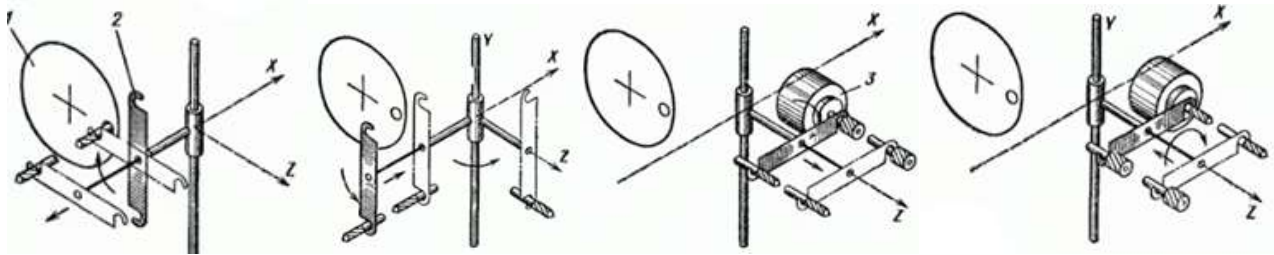


Рис. 7.29 Порядок роботи автооператора: 1- магазин; 2- автооператор; 3- шпиндель

ПАЗІ такого типу використано у верстаті ІР-500 ПМФ4. Не суміщений час, що витрачається безпосередньо на зміну інструменту, складає 6 с, але загальний час на зміну („від стружки до стружки“) може складати 16-21 с залежно від того, яке положення займала шпиндельна бабка після завершення попереднього робочого ходу.

При розташуванні дискового чи ланцюгового магазину на стойці можливим є також встановлення інструментів перпендикулярно до осі шпинделя (рис. 7.30).

В цьому разі інструмент треба повернути у горизонтальне положення, яке є паралельним осі шпинделя. Автооператор з нейтрального положення повертається (гідроциліндром Ц1 та рейково-зубчастою передачею) і захоплює одночасно оправки інструментів, які знаходяться

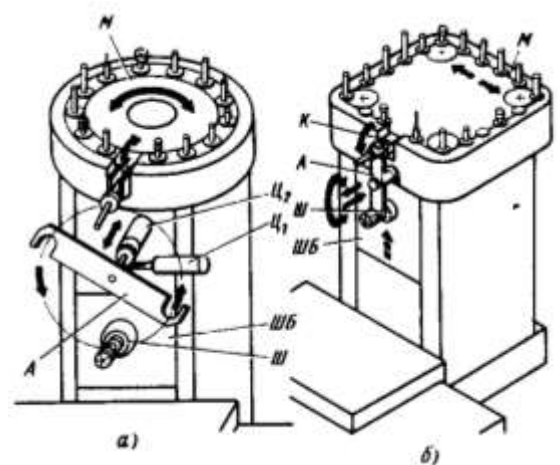


Рис. 7.30 Магазины з інструментом, який встановлено перпендикулярно до осі шпинделя.

у гнізді магазину й у шпинделі. Потім за допомогою гідроциліндру Ц2 автооператор переміщенням вздовж своєї осі витягає інструменти з магазину та шпинделя, повертається разом з ними на 180° та міняє їх місцями. Автооператор повертається у вихідне (нейтральне) положення й починається виконання нового переходу. Інструмент, який відпрацював, треба подати у гніздо, що звільнилося.

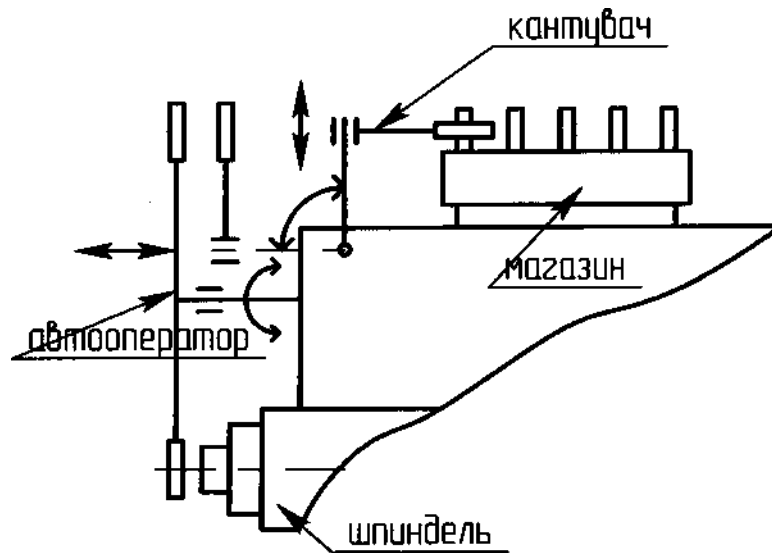


Рис. 7.31 Схема рухів при встановленні інструменту перпендикулярно до осі шпинделя.

У верстаті із вертикальною віссю шпинделя (рис. 7.32, б) автооператор 2 повертається й своїми захватами затискає інструментальні оправки і у шпинделі 3, і у магазині 1. При ході вниз автооператор витягає їх з шпинделя та з магазину, повертається на 180° (тобто міняє оправки місцями) і рухом вгору встановлює нові оправки у шпиндель та у магазин, після чого повертається у середнє нейтральне положення. В цьому положенні автооператор не заважає шпиндельній бабці 4 переміститися до оброблюваної деталі, а магазину – повернутися у пошуках наступного (згідно циклу обробки) інструменту.

Почерговість рухів при зміні інструменту на верстаті із вертикальною віссю показана на рис. 7.32

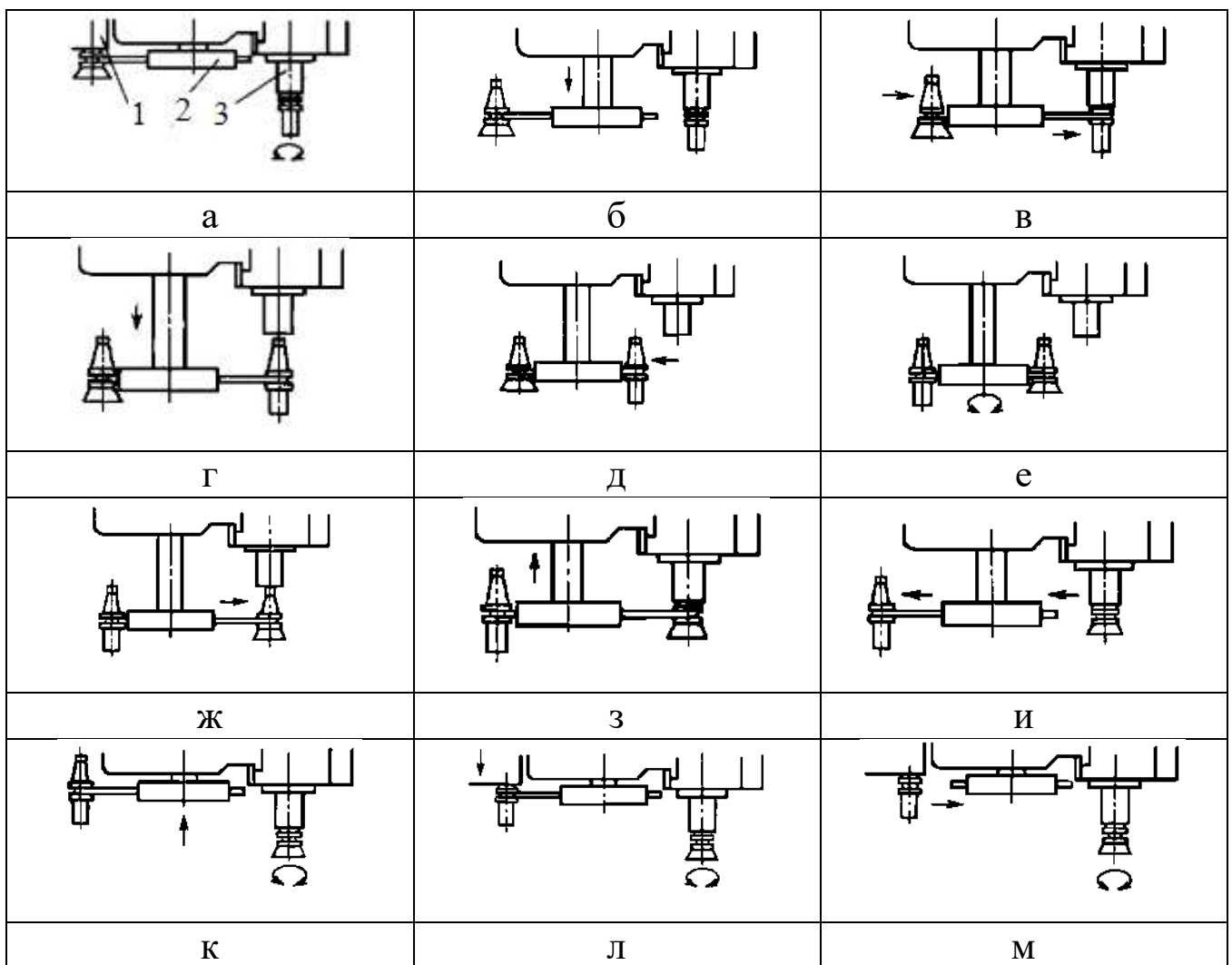


Рис. 7.32 Послідовність зміни інструмента на верстаті з вертикальною компоновкою шпинделя: а, б – захват автооператором нового інструмента і виведення його із гнізда магазину; в, д – захват автооператором використаного інструмента і виведення його із посадочного отвору шпинделя; е – поворот автооператора на 180°; ж, з – установка нового інструмента в шпиндель станка; и, л – установка використаного інструмента в магазин; м – установка автооператора в вихідне положення

Обертання магазину для пошуку нового інструменту, захват та видалення оправки з магазину, переміщення автооператора у позицію зміни (до шпиндельної бабки) співпадає з машинним часом, а захват та видалення із шпинделя оправки з інструментом, який відпрацював, поворот автооператора, введення оправки у шпиндель та вивільнення її від захвату лишаються не суміщеними і безпосередньо визначають час зміни інструменту.

При встановленні магазину на колоні (зверху або збоку) час зміни інструменту збільшується на час переміщення шпindelної бабки до магазину після виконання технологічного переходу і на зворотній шлях. Фірма Burkhardt+Weber розробила модуль „Парамат” з числовим управлінням за трьома осями. Модуль призначено для використання у ГАЛ (гнучких автоматизованих лініях), спеціальних верстатах та ГВС.

Вузол уніфікований, має наступні переміщення по осях: ось X – від 400 до 2000 мм (сім ступенів), ось Y – 400 та 630, ось Z – 500 та 630 мм). Містить шпindelний вузол обробки, хрестовий супорт, уніфіковану стійку та прибудований інструментальний магазин на 16 або 24 інструменти. Цей вузол можна вбудувати чи прибудувати до столів різних габаритів.

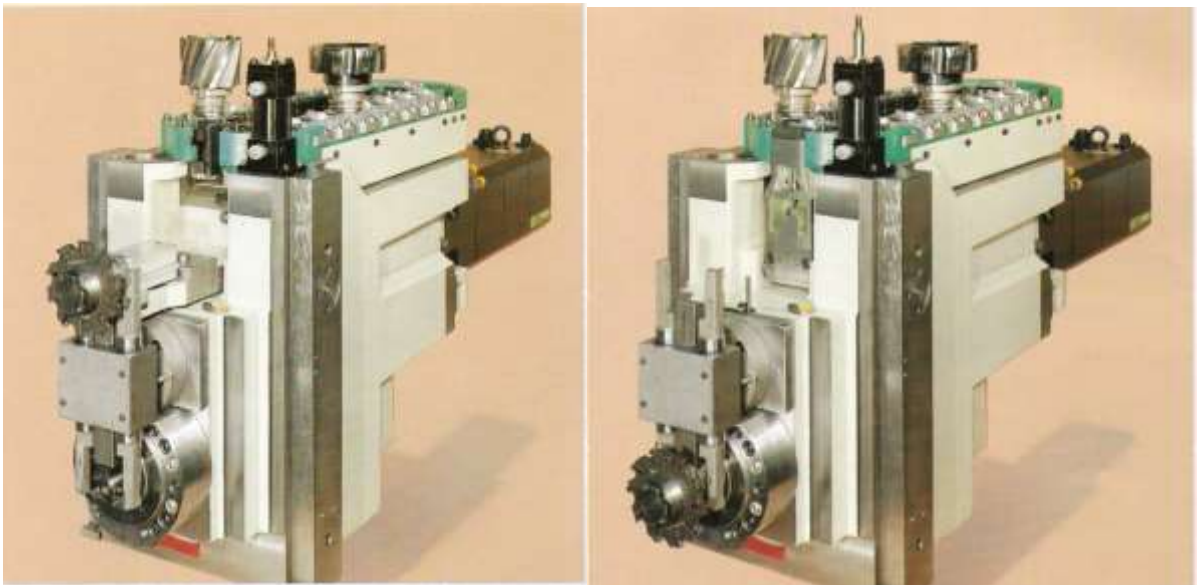


Рис. 7.33 Система автоматичної зміни інструментів фірми Burkhardt+Weber.

Ланцюгові магазини, особливо за великої місткості, винесені за робочу зону верстата, тож особливістю зміни інструменту є кантування інструментів, бо осі шпиделя та інструменту не є паралельними. Взагалі кантування застосовують не лише у випадку ланцюгового магазину.

Довідка

1). Системи, в яких замінюють інструментальні головки.

В таких системах для закріплення інструменту, наприклад, у револьверній головці, треба з'єднати інструментальну головку із системою кріплення (різцетримачем) і забезпечити

передавання зусиль (наприклад, зтягнути штангу). Така конструкція зменшує жорсткість різцетримачів і робить неможливим замінування приводного інструменту. Застосовують системи на великих токарних верстатах при обробці середніх та великих партій деталей, які потребують лише токарних операцій, тобто при обробці необертним і інструментами.

2). Системи, в яких замінують різцетримачі та інструментальні головки як комплексний блок.

Можливо здійснювати заміну будь-яких інструментів, зокрема і приводних (свердла, фрези, тощо), а саме обертовий інструмент потребує частішої заміни через понижену стійкість. Недоліком є те, що при заміні відбувається маніпулювання великими масами та об'ємами.

Застосовують ці системи при повній обробці невеликих партій деталей.

ПАЗІ без автооператора

Найпростіший варіант – магазини, які мають співвісне або паралельне розташування інструментів у гнізді магазину і у шпинделі, та здійснюють заміну інструментів без автооператора, бо досить повернути магазин до суміщення гнізда магазину і осі шпинделя та перемістити шпиндель вздовж осі, щоб випхнути інструмент з магазину, та закріпити його у шпинделі. Виключаються транспортні механізми. Схеми показано на рис. 7.34.

В інших випадках при заміні ріжучого інструменту без автооператора додається рух, необхідний для суміщення осей інструмента, який змінюють, та шпинделя: використовують рух самого шпинделя (конструктивно – як пінолі), шпиндельної бабки, стола, стойки і т.д. [26].

Змінні шпиндельні вузли з горизонтальною віссю можуть бути встановлені у спеціальному поворотному магазині. Після повороту черговий шпиндельний вузол з'єднується із приводом головного руху і здійснює рух поздовжньої подачі. В цьому

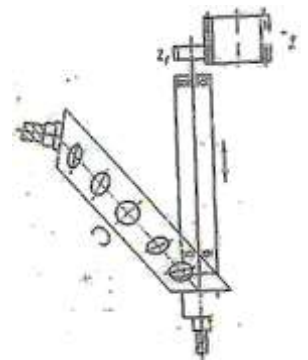


Рис. 7.34 Зміна інструменту в корончатій головці.

випадку точність обробки залежить від фіксації різних шпиндельних вузлів. Маса АСІ і габарити збільшуються.

Заміна переміщенням шпинделя

Корончата реверсна головка з набором інструментальних оправок розміщена на шпиндельній бабці. В робочій позиції шпиндель верстата проходить через діаметрально розміщені отвори ріжучої головки і захоплює інструмент. Подальші рухи зумовлюють виконання шпинделем робочого циклу. При поверненні назад оправка з інструментом залишається в магазині, а шпиндель виходить з реверсної головки і дає їй можливість здійснити поворот. Цикл повторюється. В цьому випадку можливо застосувати шпиндель підвищеної жорсткості і збільшити його хід.

Комбінований спосіб

Мінімальний час заміни ріжучого інструменту (2-3 с) забезпечується при застосуванні 2-х шпиндельної револьверної головки з магазином, розміщеним на шпиндельній бабці.

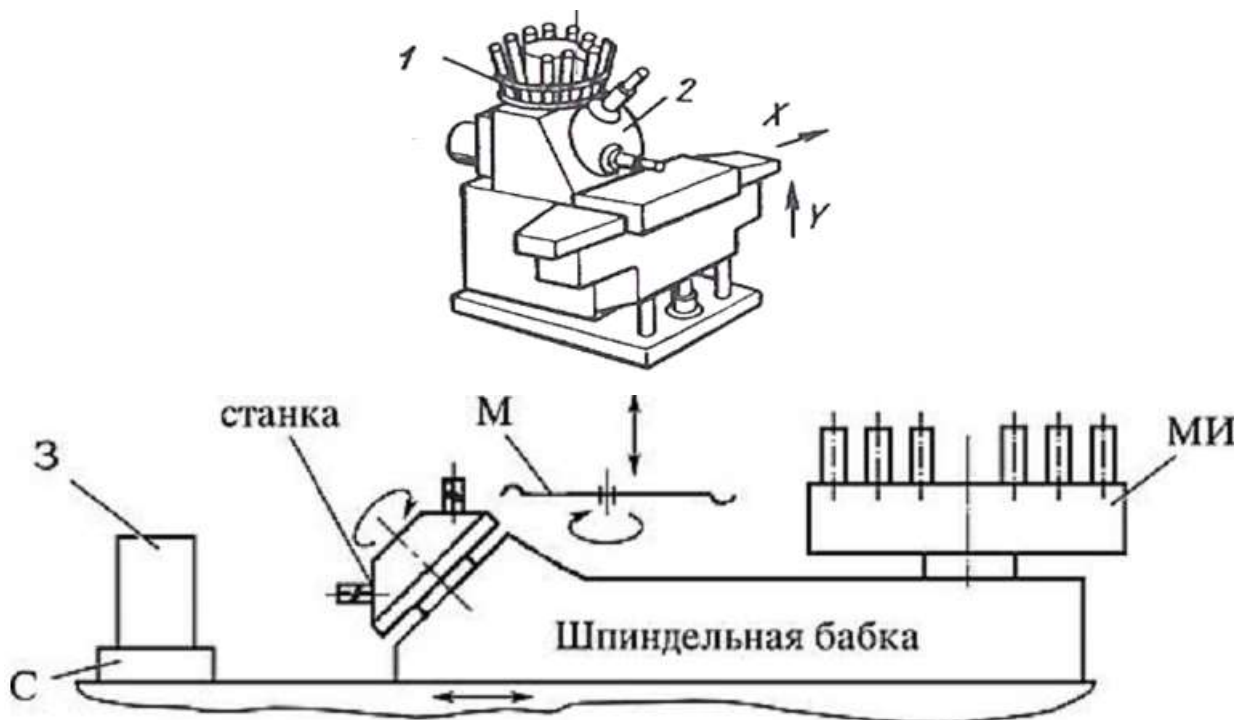


Рис. 7.35

Визначення моменту заміни зношеного інструменту

Можливо визначити потрібний момент як наслідок виконання певних дій:

1. За стійкістю інструменту, яку призначають попередньо. При обробці вимірюють час експлуатації інструменту. Найпростіший метод – шляхом фіксації з використанням ЧПК часу контакту ріжучого інструменту та деталі.

Коли загальний час контакту інструменту з оброблюваною деталлю досягає значення стійкості інструменту, система ЧПК дає сигнал на його заміну. Цей метод можна використовувати лише у випадку, коли відома залежність стійкості інструменту, який використовується, від оброблюваного матеріалу.

2. З використанням системи активного контролю, якщо саме вона забезпечує розмірну точність оброблюваних деталей: підсумовують всі значення коригувань і порівнюють із запрограмованим граничним значенням. У разі перевищення граничного значення надходить сигнал на заміну інструменту.

3. За результатами вимірювання зусиль різання при обробці – в разі, якщо довгий час відбувається неконтрольована експлуатація інструменту або оброблюється декілька видів деталей (як це властиве ГВС). Здійснюють наступні дії.

Перед початком обробки конкретної деталі вимірюють зусилля різання для кожного проходу, виконаного гострим інструментом, і заносять у пам'ять системи керування максимальне зусилля та обраховану з його використанням межу руйнування інструмента. Під час обробки періодично або безперервно фіксують зусилля різання і по досягненні такого, що відповідає межі руйнування, верстат вимикається або відбувається заміна інструмента.

Аналогічно може бути обраховане граничне зношення ріжучих кромки інструменту (за тим самим виміряним попередньо зусиллям) і в майбутньому система керування подасть сигнал щодо заміни інструменту, якщо це граничне зношення буде досягнуте.

У багатоцільових верстатах найбільше розповсюдження мають ПАЗІ, які забезпечують зміну інструменту в шпинделі. Ці пристрої містять інструментальний магазин, завантажуючий пристрій, який здійснює, перенесення інструментів від

магазину у шпindelь та зворотній рух, а при потребі-транспортний пристрій, який передає інструмент з магазину до завантажуючого пристрою

Автоматичний пошук інструментів

Для програмування автоматичної зміни інструменту застосовують наступне.

1. Встановлення інструментів у магазині у послідовності, яка відповідає технологічному процесу і при кожній зміні інструменту зміщувати магазин на один крок, тобто програмується крок або кут повороту. Але цей варіант придатний лише у разі невеликої кількості інструментів, коли кожен із них застосовується один раз і у строгій черговості. На практиці інструмент може використовуватись кілька разів, змінюється й послідовність роботи при виготовленні різних деталей.

2. Для автоматичного вибору інструмента з магазину кодують гніздо магазину або безпосередньо хвостовик (оправку) інструменту. У першому випадку інструменти повинні встановлюватися в певні гнізда магазину, а в другому – в будь-які гнізда, бо інструмент обирають згідно його власного коду.

Кодування оправки інструментів здійснюють шляхом встановлення на них змінних кодових колець чи гребінок у певній комбінації або кодового носія та системи зчитування коду (фірма Balluf випускає систему ідентифікації інструментальних оправок).

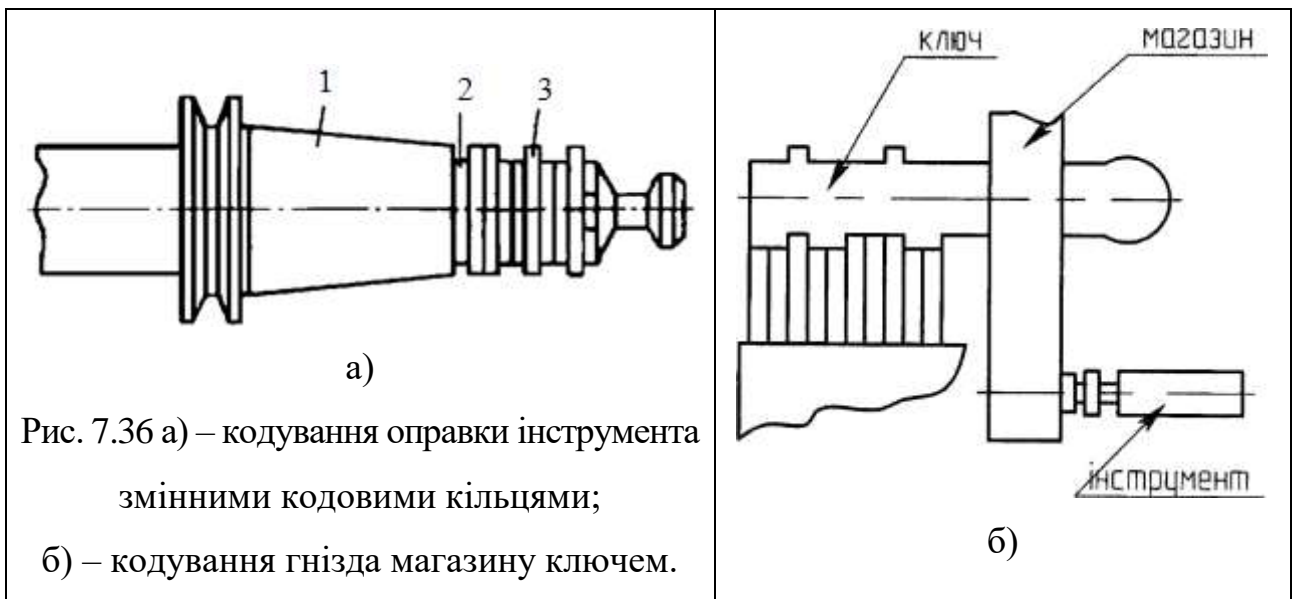


Рис. 7.36 а) – кодування оправки інструмента змінними кодовими кільцями;
б) – кодування гнізда магазину ключем.

Переваги кодування оправки інструмента:

- можливе довільне встановлення інструментів (відпадають помилки при завантаженні);
- спрощується управління, бо не треба шукати певне гніздо, в яке встановлюють інструмент, що вже відпрацював.

Недоліки:

- ускладнюється виготовлення оправок та їх складання;
- збільшується довжина та маса оправок, що погіршує динамічні якості механізму повороту;
- не забезпечується мінімальний час пошуку, бо він здійснюється не найкоротшим шляхом, неможливе використання інструментів великого діаметру, який більше за крок між гніздами

Кодування інструментів з використанням магнітних кодових носіїв здійснюється

2-ма способами:

- штрих-код з оптичним зчитуванням;
- цифровий код з радіоелектронним способом передачі інформації.

Штрих-код використовується промисловий „2 з 5”. Записується на спеціальному носіїві – етикетці (спеціальна папір, що сам приклеюється, вкритий захисною плівкою).

Оптичні зчитувальні пристрої поділяються на 3 типи:

- з нерухомим променем (технологія на світлодіодах);
- з рухомим променем та автоматичним скануванням (технологія на лазерах);
- з електронним скануванням.

Пристрій зчитування із нерухомим променем - „оптичний олівець”: освітлює етикетку з фокусуванням у точці зчитування. Джерело світла - світлодіоди, які розташовані по колу. Промінь віддзеркалюється від етикетки, фокусується на спеціальному діоді - приймачеві та перетворюється в електричний сигнал. Темна лінія відповідає сигналові з низькою напругою, а світлий проміжок - сигналу високої

напруги. Формується імпульсний сигнал, який оброблюється мікропроцесором.

Недолік: обмежена відстань між „оптичним олівцем” та етикеткою (1 ...50 мм). Автоматичне сканування з рухомим променем надійно працює на відстані до етикетки до 1 м і за високої швидкості руху (до 120 м/хв). Це досягається багатократним посиленням інтенсивності освітлювання. Як джерело використовують гелієво-неонові лазери низької потужності. Можуть зчитувати код з рухомих та нерухомих об’єктів.

Пристрої з електронним скануванням працюють за прикладом фотоапарата. Код фотографується спеціальним оптичним датчиком, який розташовується за об’єктивом телекамери. Здійснюють також сканування світловим променем з частотою 500 - 600 Гц.

Методи радіоелектронного кодування можуть мати:

- постійний код, призначений для зчитування;
- код, який можна переписати, тобто є можливість запиту та зчитування.

Постійний код використовують для інструментів. Носії інформації, які є гібридними інтегральними мікросхемами з вбудованою передаючою радіоантенною, встановлюють на інструментальних оправках рухомого та нерухомого інструменту. Головка зчитування має антену, яка приймає сигнал від носія та передає у блок обробки сигналів.

Стандартний носій даних виконують у формі циліндра \varnothing 12 мм та висотою 8 мм, він може зберігати до 128 біт інформації. Можна записувати не лише номер інструменту, але й код верстата чи шпинделя, корекцію інструменту, тощо.

Пристрій зчитування встановлюють на вході інструментального магазину, в який завантажують інструменти довільно, або на пристрої для розмірного настроювання інструменту.

Носії інформації, які мають можливість зчитування, можуть мати більші розміри (захищені корпусом касети 50 x 30 x 18 мм.). Дистанція до приймача може досягати 500 м. Має пам’ять до 2 Кбайт, є навіть і більші. Використовують для столів

- супутників або тари, в якій транспортується продукція. Окрім кодів заготовки та оброблюваної деталі, можуть зберігати дані про технологію обробки, інструменти, режими обробки, код управляючої програми тощо. Наприклад, на транспортному візку встановлюють пристрій зчитування, а носії інформації розташовують вздовж його шляху. Заготовка надходить разом із столом - супутником до верстата і має необхідну інформацію щодо обробки (послідовність, режим, інструменти, тощо).

Кодування гнізд магазину. Номер гнізда вносять у програму роботи верстата. Після використання інструмент треба повернути у його гніздо. Пошук потрібного гнізда здійснюється різними пристроями. Зокрема, здійснюється вибір найкоротшого шляху (напрям обертання магазину).

Переваги порівняно із кодуванням оправки:

- малий час пошуку відповідного інструменту;
- використання стандартного інструменту, зокрема великого діаметру.

Недоліки:

- додаткове переміщення магазину для встановлення у потрібне гніздо, неможливо ставити замість того, який використовуємо.
- Можлива аварія, якщо встановити інструмент в інше гніздо.

Інструмент встановлюють згідно з технологічною картою обробки. Команда на зупинку магазину подається ключем, який вставляють в магазин навпроти потрібного інструменту. Кожен інструмент має свій ключ, якщо його вставити, то цим кодуємо гніздо. Ключі мають вигляд валиків чи пластин з виступами та впадинами (проточками) Замість ключа може використовуватись комбінація кулачків (штифтів) на барабані, які діють на мікроперемикачі.

Пошук порожнього гнізда виконується підчас виконання обробки тим інструментом, гніздо для якого шукають.

Питання для повторення та контролю знань

1. Інструментальні магазини: основна функція і вимоги, принципи визначення кількості інструментів.

2. Типи інструментальних магазинів. Розташування відносно верстата і сфери використання. Застосування касет. Револьверні шпиндельні головки.
3. Вимоги до пристроїв АЗІ. Види АЗІ. Типовий ПАЗІ багатоцільових верстатів
4. Складові елементи ПАЗІ.
5. Розташування магазину інструментів відносно верстата: порівняльна характеристика використання
6. Порядок рухів при зміні інструменту за допомогою автооператора в ПАЗІ, які застосовують для верстатів середніх розмірів
7. ПАЗІ без автооператора
8. Визначення моменту заміни зношеного інструменту
9. Автоматичний пошук інструментів. Типи кодування для автоматичного вибору інструмента.

8 Завантаження і транспортування деталей в умовах автоматизованого виробництва

Склад, конструкція, компоновка пристроїв завантаження і транспортування деталей безпосередньо залежать від характеристик виробу й характеру технологічного процесу та впливають на надійність, продуктивність і експлуатаційні витрати автоматизованих систем.

Міжопераційні транспортні системи (транспортні підсистеми ТС) призначені для подачі заготовок зі складів і автоматичного транспортування до робочого місця, завантаження робочих місць необхідними заготовками і розвантаження, транспортування виробів на наступне робоче місце або на склад, крім того можуть використовуватися для транспортування технологічних відходів.

Транспортні пристрої можуть бути рухомими чи стаціонарними. До рухомих, які є більш розповсюдженими, належать різного типу візки, конвеєри (стрічкові, ланцюгові, роликові) бункерні завантажувачі (зокрема, вібраційні), лоткові пристрої. Стаціонарні пристрої – це в першу чергу підйомники.

Принципово слід розрізняти транспортні дії на складі, транспортування від складу до виробничого місця, між виробничими позиціями, готового виробу на позицію складання або пакування, тощо. І, звісно, завантаження й розвантаження на позиції обробки. Таким чином, маємо справу із різними транспортними підсистемами. Відповідно, основні засоби транспортних підсистем: транспортери, візки, крани (зокрема, штабелери).

Стелажний кран-штабелер містить окрім безпосередньо самого крану адресну систему, локальну систему керування, систему безпеки. Конструктивно може бути реалізований як мостовий кран, який має візок із колоною, по якій рухається підйомник із захватом (найчастіше вилкоподібний) для вантажів або як система балок (наприклад, портална компоновка), встановлених так, щоб по вертикальній колоні канатним чи ланцюговим механізмом переміщувався підйомник із телескопічним захватом

Використовують три типи транспортних підсистем: лінійну, маятникову та замкнуту. Транспортування може бути прямим або розгалуженим (застосовують частіше як більш гнучке, бо має можливість оптимізації транспортних шляхів і мінімізації кількості переміщень). У лінійній транспортній підсистемі існує тільки один, постійний за напрямком, рух виробів, а на вході і виході до зони обробки приєднується інша підсистема, тобто вони розділені. Можливість зворотного переміщення (на попереднє робоче місце) відсутня, тобто система має дуже малу гнучкість. Маятникова підсистема забезпечує мінімізацію транспортних шляхів. Перевагою замкнутої підсистеми є забезпечення сталості положення виробу при переміщенні на місце обробки.

Транспортування заготовок між робочими позиціями або між верстатами можна виконати:

- конвеєрами-накопичувачами (долівочні або підвісні транспортери лінійного або замкнутого типів);
- транспортними роботами (рейковими долівочними, монорейковими підвісними);
- самохідними автоматичними транспортними візками, що рухаються по рейках, або автоматизованими безрейковими транспортними візками-робочарами з електронним управлінням, що можуть рухатися у будь-якому напрямку.
- у тарі: в касетах – деталі невеликих розмірів, на піддонах

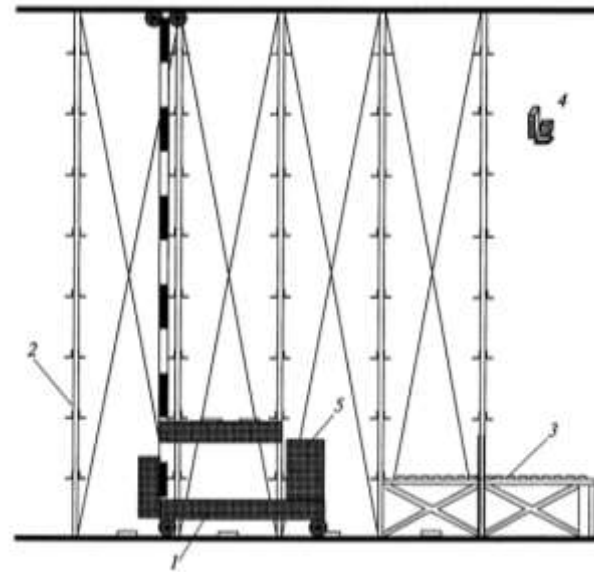


Рис. 8.1 Багатоярусний автоматизований склад. Позначено: 1 – система завантаження-вивантаження; 2 – система стелажів; 3 – обладнання розподілу вантажів; 4 – автоматична система керування; 5 – система інформаційного зв'язку локальних систем керування крану-штабелеру із системою керування 4.

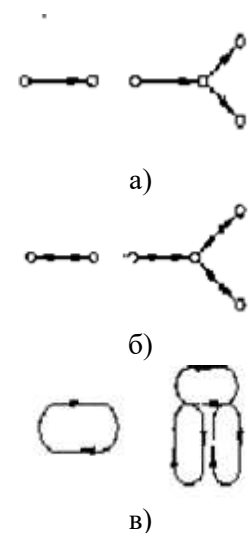


Рис. 8.2 Транспортні системи – прямі й розгалужені:
а) – лінійні;
б) – маятникові;
в) – замкнені

(наприклад, з встановлювальними елементами типу призм, рис. 8.2) – деталі типу тіл обертання;

- по лотках чи з використанням бункерів – переважно для деталей типу тіл обертання (фланцевих);
- закріпленими на пристосуваннях-супутниках – „палетах“ (палети можна використовувати не лише для транспортування, а і для орієнтації та закріплення заготовок, переважно корпусних деталей, вони є зручними для кодування);

Транспортування заготовок між робочими позиціями або між верстатами можна виконати:

- конвеєрами-накопичувачами (долівочні або підвісні транспортери лінійного або замкнутого типів);
- транспортними роботами (рейковими долівочними, монорейковими підвісними);
- самохідними автоматичними транспортними візками, що рухаються по рейках, або автоматизованими безрейковими транспортними візками-робочими з електронним управлінням, що можуть рухатися у будь-якому напрямку.
- у тарі: в касетах – деталі невеликих розмірів, на піддонах (наприклад, з встановлювальними елементами типу призм, рис. 8.2) – деталі типу тіл обертання;
- по лотках чи з використанням бункерів – переважно для деталей типу тіл обертання (фланцевих);
- закріпленими на пристосуваннях-супутниках – „палетах“ (палети можна використовувати не лише для транспортування, а і для орієнтації та закріплення заготовок, переважно корпусних деталей, вони є зручними для кодування);

Транспортування на супутниках або в касетах спрощує автоматизацію заміни заготовок.

Долівочні транспортні системи за звичай складають з універсальних модульних елементів. Найбільш поширені ланцюгові і роликові конвеєри і рейкові візки. Рейкові транспортні візки служать для передачі столів супутників або тари із заготовками, деталями,

інструментами з приймально-передаючої секції складу-стелажа на приймально-передаючі столи верстатів і в зворотному напрямку.

Транспортні візки (робокари), які застосовують переважно за невеликої серійності, опоряджуються автоматизованими завантажувальними-розвантажувальними пристроями, таким чином отримуємо автономний транспортний маніпулятор.

Робокари мають керований електродвигун постійного струму із безступінчастим регулюванням швидкості. Як джерело струму використовують, наприклад, акумуляторні батареї, що забезпечують безперервну роботу протягом 2-5 год. Один з варіантів приводу – мотор-колесо (конструктивне суміщення електродвигуна й ведучого колеса).

Відрізняються за типом маніпуляції з вантажами: можуть мати вантажну платформу з пристроєм завантаження-вивантаження або вилкоподібний захват, що рухається у вертикальній площині, виконувати роль буксиру.

Основна перевага систем на базі робокарів – гнучкість: в разі потреби простота змінювання траси, кількості транспортних одиниць та типу маніпулювання. Ці системи компактні, надійні (мають паралельну структуру – не відмовляють в разі виходу з ладу одного з робокарів), дозволяють високий рівень автоматизації і можуть інтегруватися з системами вищого рівня керування, екологічні.

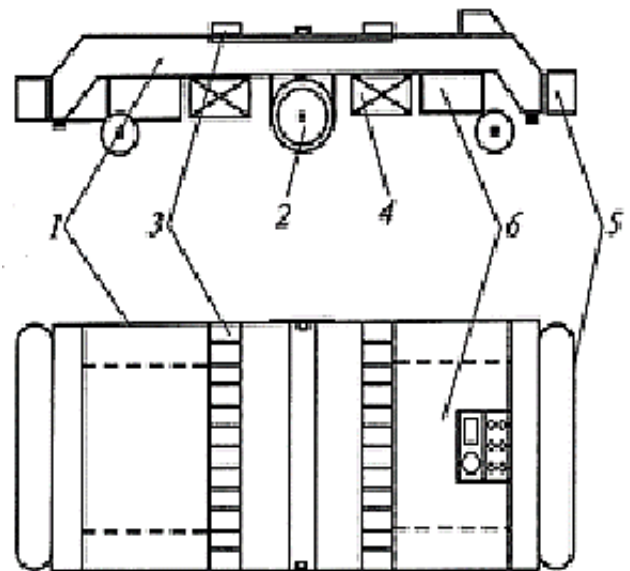


Рис. 8.3 Схематичне зображення робокару
1 – шасі, 2 – електродвигун; 3 – пристрій завантаження-розвантаження; 4 – електрообладнання; 5 – пристрій забезпечення безпеки (буфер), 6 – система керування.

Безрейкові транспортні візки з автономним блоком живлення рухаються по напрямній (наприклад, вмонтований в долівку швелер), з якою контактують ролики механізмів стеження за трасою. Передбачені ролики механізму стеження передніх приводних коліс і ролики задніх ведених коліс. Поворот коліс забезпечується системою

тяг і осей, мінімальний радіус повороту 2м. У верхній частині візка є буфер: при наїзді на перешкоду спрацьовує датчик, який дає команду на зупинку.

Транспортний робот може мати відповідний датчик і мікропроцесорний пристрій керування, що дає змогу стежити за трасою, яка має вигляд світловідбивної смуги.

В багатьох транспортних засобах використовують напрямний магнітопровід індуктивного зразка, але необхідною умовою є рівна підлога і культура виробництва (відсутність стружки, сміття, тощо.) Ця система дуже економічна в умовах високої завантаженості і малої частоти транспортування, адаптується до змінних виробничих умов. Транспортні маршрути є замкненими (мають кільцевий контур), а на підлозі в жолоб глибиною 20...32 мм укладають провідник з наступним заливанням цементним розчином, епоксидною смолою або іншим матеріалом. На геометрію укладання проводу обмежень немає. В кожний контур високочастотним генератором подається струм відповідної частоти (5...32 кГц), навколо провідника виникає змінне магнітне поле з концентричним розташуванням силових ліній. В нижній частині візка встановлюють дві електромагнітні котушки, ЄРС, наведена в котушках, передається в електронний пристрій порівняння, який при розбіжностях подає сигнал на електропривод кермового управління. Система має фільтри обрання частоти, яка відповідає конкретному маршруту.

Для зупинки візка в закодованих (вручну або дистанційно) пунктах і визначення його положення на трасі встановлюються датчики постійної інформації.

Таким чином є два принципово різних типи візків: одні можуть обслуговувати обладнання тільки згідно із заздалегідь прокладеною трасою, а в

разі виникнення перешкоди автоматично гальмують і зупиняються, інші можуть змінювати маршрут згідно із програмою, а в разі потреби обминути перешкоду.



Рис. 8.4 Група роботів для роботи на складі

Загалом системи відстежування маршруту можуть бути реалізовані на різних принципах, зокрема:

- механічні (рейкові, із швелерами в якості напрямних, тощо);
- індуктивні (задається кабелем у долівці, є чутливою до електромеханічних завад);
- радіокеровані(висока оперативність, але є обмеження на використання певних частотних діапазонів);
- фотоелектричні;
- оптоелектричні (із світловідбивною металевою чи металізованою смугою; з флуоресцентною смугою й датчиками, які працюють в ультрафіолетовому спектрі; з двоколірною смугою– білою з чорним облямування і відповідними датчиками контрасту).

Фотоелектричні і оптоелектричні системи є надійними, забезпечують високу точність позиціонування, але їхня якість залежить від якості траси (наприклад, матова поверхня без блиску і чітка межа між чорним та білим кольорами смуги) та якості оптичних випромінювачів (лампи), фото- і оптичних датчиків, приймальної апаратури. Високі вимоги ставляться також до довкілля (чистота середовища, через яке передають світлові промені) та безпосередньо до чистоти засобів оптики. Всі вказані вимоги потребують окремого розгляду, бо їх важко забезпечити в умовах виробництва.

Серед наведених найбільше розповсюдження мають зараз індуктивні системи з електромагнітним кабелем. Механічні системи попри їхню простоту мають обмеження у застосуванні, зокрема практично не переоснащуються.

Візок має вантажну платформу, яка призначена для транспортування та завантаження-розвантаження столів-супутників із заготовками і може мати знову ж таки різне виконання.

Виконують візки в різноманітних варіантах (візки-штабелери, платформи і т. ін.), з різними захватними пристроями.

Роботи на рис. 8.4 (Fetch & Freight, Fetch Robotics, США) мають різне призначення: перший призначено для того, щоб знімати вантажі із стелажів, а інші – для переміщення до необхідного пункту.



Рис. 8.5 Автономна універсальну платформу (AGV) SBR-300-SM

На рис. 8.5 показано автоматично керовану автономну універсальну платформу (AGV) SBR-300-SM (випускає Стандарт-ПАК), яка призначена для переміщення вантажів всередині складів, виробничих та інших приміщень і може працювати без зарядки щонайменше 8 год. безперервної роботи (час зарядки 2 год). Не потребує освітлення. Температурний режим +5 ... +60°C. Кількість маршрутів не обмежена. Робоча швидкість 1-5 км/год. Вантажопідйомність 300 кг на платформі, 800 кг вантажу, який буксують. Габарити 960×1260×380 мм. [<http://robosklad.com.ua/%d0%bc%d0%be%d0%b4%d0%b5%d0%bb%d0%b8-%d1%80%d0%be%d0%b1%d0%be%d1%82%d0%be%d0%b2/>]



Рис. 8.6 Використання платформи SBR-300-SM

Розповсюдженим видом безперервного транспорту, особливо в якості міжопераційного й складського, є конвеєри (транспортери), але вони недешеві, мають невисоку мобільність. Один з шляхів подолання вказаних недоліків є застосування системи самокерованих роботів, які дозволяють виконати швидке переналагодження шляхів транспортування вантажів і адаптуватися до змінювання графіку їхнього руху. Зокрема по нанесених лініях (або позиціонування по радіо, по оптичних мітках тощо, так само як для візків) можуть рухатися робо-поїзди, які замінюють конвеєри і є ефективнішими за них. Звісно, ця система не замінить конвеєрні блоки великих підприємств, але проблему вартісного й нестабільного переміщення вантажів силами робітників і вантажників вирішує, тобто це є комплексним розв'язком задачі з автоматизації логістики. Є звісно й інші рішення, наприклад, мостові й долівочні безрейкові роботи, які рухаються за довільних маршрутів між будь-якими позиціями завантаження-розвантаження і керовані мікро-ЕОМ з метою контролю положення, обрання напрямку руху й найкоротшого шляху. Такий варіант є більш вартісним. Взагалі сучасний склад є багатопрофільним підприємством, яке потребує максимальної автоматизації робіт і відповідного програмного забезпечення.



Рис. 8.7 Вантажні роботи Kiva



Рис. 8.8 Робокур'єр (SB Robotics)

Ряд закордонних фірм випускає складські роботи-візки для переміщення вантажів на палетах. Наприклад, вантажні роботи Kiva самостійно рухаються за спеціальними лініями на полу із швидкістю 8 км/год і перевозить вантажі до 317 кг (висота робота 0,4 м).

Розробник-виробник складських роботів SB Robotics представив автономного робокур'єра (рис. 8.8), який в певні точки виробництва доставить потрібні деталі й комплектуючі.

Подібний робот експлуатується на заводі Ford у Валенсії (Іспанія). Робот здатний оптимізувати траєкторію руху, уникати зіткнень з перешкодами. Навігація робота не вимагає зовнішнього керування або позначення траєкторій руху спеціальними лініями. Робот має контейнер із 17 відділеннями, кожне з яких може відчинити лише співробітник із відповідним рівнем доступу. Цей робот за гнучкість та здатність адаптуватися до умов довкілля прозвали Survival (англ. „виживання“). Він є яскравим представником класу роботів, які не замінюють працівників, але вивільняють їхній час та зберігають сили: підраховано, що вивільняється близько 40 годин.

[\[http://robotrends.ru/pub/1920/robotizaciya-survival---fabrichnyy-robokurer-ford\]](http://robotrends.ru/pub/1920/robotizaciya-survival---fabrichnyy-robokurer-ford).

Але при цьому слід нагадати про існування напряму ощадливого виробництва (спільний з Японією Центр „Ощадливе виробництво“ вже 10 років як діє у КПІ ім. Ігоря Сікорського), де передбачається ліквідація будь-яких складів: наприклад, на складання деталі подаються відповідно до розрахункового часу початку операції, економія досить значних коштів на утримання складу, на зберігання продукції, перевірку стану після зберігання. Виключається придбання й зберігання чогось „про запас і про всяк випадок“. Звісно, подібне виробництво вимагає високого рівня організації і не лише на даному підприємстві, а й у зв'язках із суміжниками та постачальниками.

Завантажувальні пристрої автоматизованих систем

Автоматизація допоміжних операцій зміни заготовок і деталей на верстатах з ЧПК підвищує ефективність шляхом скорочення втраченого часу між здійсненням окремих робочих циклів і створює умови для впровадження працезберігаючої безлюдної технології.

Завантажувальні пристрої автоматизованих систем через багатотипність компонентів схем верстатів і способів їхнього завантаження заготовками різних типів, а також схеми транспортно-накопичувальної системи відрізняються конструкціями.

Пристрої автоматичної зміни заготовок є конструктивно автономними, що дозволяє проектувати їх як в певній мірі універсальні маніпулятори з власним

приводом. Являють собою групу цільових механізмів різного призначення, які здійснюють підйом, транспортування, розподілення, прийом та видачу виробів, міжопераційне накопичування (бункери і магазини), а також мають автооператори, які також можуть виконувати ряд функцій.

Завантажувальні пристрої принципово різняться для обробки корпусних та плоских деталей та обробки тіл обертання.

Для корпусних та плоских заготовок використовують дві групи пристроїв:

- з використанням багатопозиційних столів-супутників, які призначені для завантаження і мають зворотно-поступальний або поворотний рух;
- автономні завантажувальні пристрої, які встановлено поряд із верстатом.

Такі системи застосовують у багатоцільових станках типу ИР320ПМФ4, що допомагає зменшити час простою між циклами обробки деталей до 30-60 с. Різноманітність оброблюваних форм робить раціональною зміну не окремих деталей, а саме столів з попередньо закріпленою деталлю. Усі системи автоматичної заміни заготовок, що застосовуються у наш час, передбачають використання пристроїв-супутників, пристроїв завантаження та розвантаження, для їх автоматичної заміни. На столі станка розташовані вбудовані чи накладні елементи для базування та закріплення пристроїв-супутників. Столи-супутники називають палетами.

Принципово розрізняють палети, які використовують на вході-виході з системи, – транспортні та верстатні – для обробки деталей на конкретному верстаті. Обидва типи можуть бути уніфікованими або спеціалізованими, наприклад, під конкретну гнучку виробничу систему.

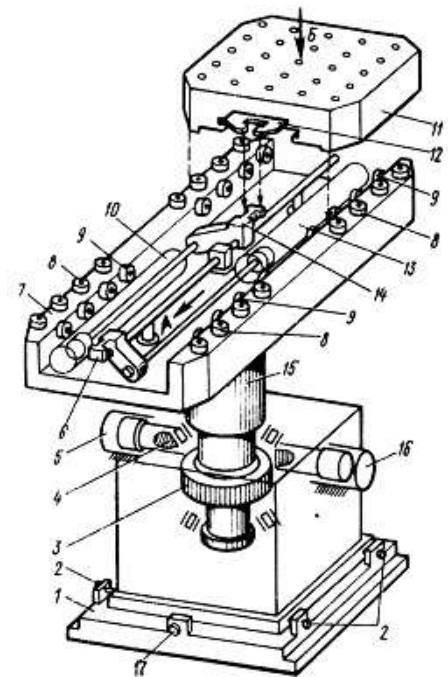


Рис. 8.9 Пристрій для автоматичної зміни супутників
<http://stanki-uchpu.ru/>

Пристрій-супутник 11 (один з двох можливих) встановлено на платформі 7 з базуванням по роликах 9 і з центруванням роликами 8 (по бічним сторонам). Це вихідне положення у позиції очікування. На платформі змонтовано два гідроциліндри (10 та 13), переміщення штоків яких зумовлює кочення по роликах. При переміщенні супутника (по стрілці Б) при встановленні на платформу із Т-подібними захватами 6 та 14 на штоках зачеплюються фігурні вирізи на супутниках (щодо рис. 8.9 із захватом 14 – виріз 12 супутника). При висуванні штоку гідроциліндра 13 захват 6 переміщується по напрямній штанзі та котить пристрій-супутник по роликах 9 і 10 (в напрямі стрілки Л) до поворотного стола, де він автоматично фіксується. При цьому захват 6 вийде із зачеплення з супутником і стіл верстату, на якому закріплено пристосування-супутник, на швидкості прискореного ходу переміститься у зону обробки. Заготовку закріплюють на супутнику під час обробки попередньої заготовки (коли він знаходиться в позиції очікування) або заздалегідь поза верстатом. Після закінчення обробки стіл автоматично (на швидкості прискореного ходу) пересувається вправо до пристрою для змінювання супутників і зупиняється, коли фігурний паз супутника опиняється під захватом 6. Гідроциліндр поворотного столу розфіксує пристрій-супутник, після чого супутник входить у зачеплення із захватом 6. Потім масло надходить у штокову порожнину гідроциліндра 13, шток зміщується у кінцеве праве положення і переміщує супутник із заготовкою на платформу 7, де вже знаходиться пристосування-супутник з новою заготовкою. Щоб поміняти місцями пристосування-супутники, повертають платформу на 180° (на стойці 15) зубчастим колесом 3, яке зачеплено з рейкою 4, яку рухають гідроциліндри 5 та 16.

Платформу 7 ретельно вивіряють відносно поворотного столу верстату регулювальними болтами 2 та 17, які вкручено у виступи базової плити 7, що нерухомо закріплено на фундаменті.

Столи-супутники (палети) мають вигляд плоскої металевої плити (часто – чавунної) з точно обробленими базовими поверхнями для кріплення заготовок. На

столі верстата передбачено вбудовані або накладні елементи для базування й закріплення пристроїв-супутників.

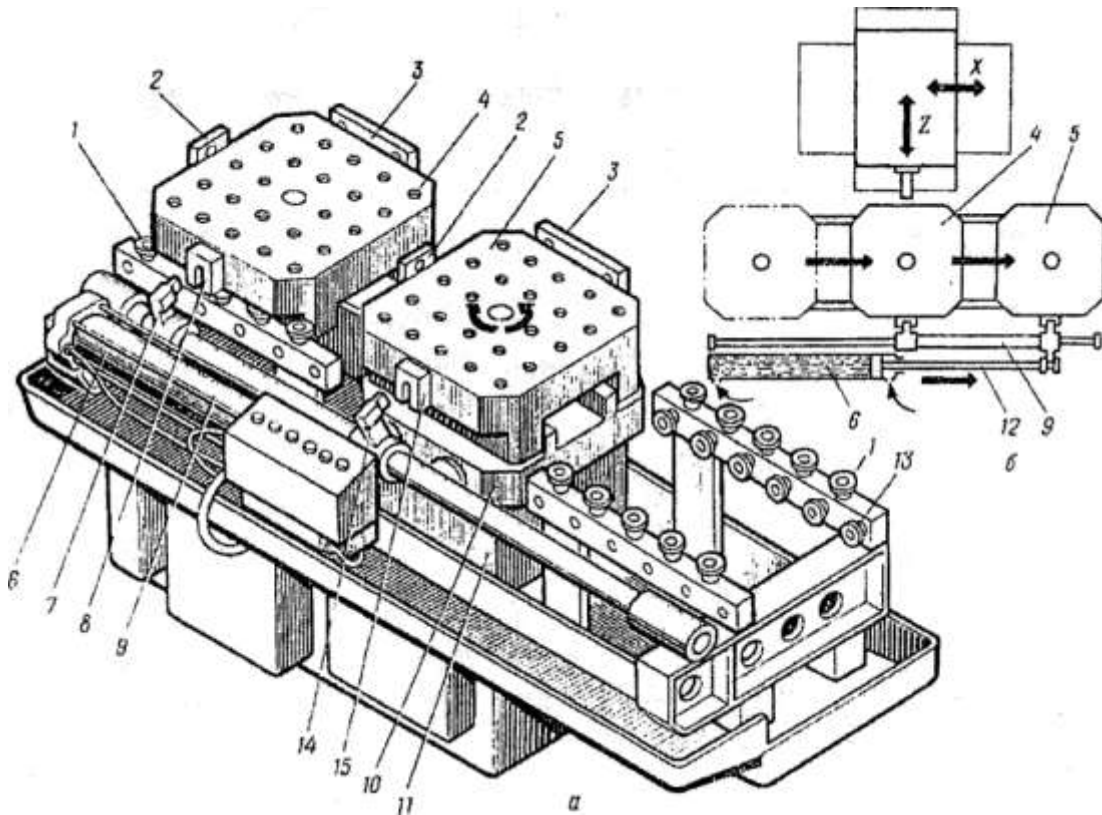


Рис. 8.10 Автоматизований завантажувач із застосуванням пристроїв-супутників (верстат ИР320ПМФ4): а – загальний вигляд; б – схема роботи;

Позначено: 1 – направляючі ролики; 2, 3 – базуючі планки;

4, 5 – плити-супутники; 6 – транспортуючий гідроциліндр;

7 – захват; 8 – замок; 9 – каретка; 10 – поворотний стіл станка;

11 – станина; 12 – шток; 13 – підтримуючі ролики; 14 – захват;

15 – замок; X, Z – координатні осі вузлів станка.

Використовують найчастіше два типи палет:

- європейського стандарту з Т-подібними пазами;
- японського типу: ряди точних гладких фіксуєчих отворів і ряди різбових, що чергуються (сітка).

Маються на увазі пази й отвори на робочій поверхні стола, тобто для закріплення заготовки й технологічного оснащення. На стіл верстата палети встановлюються по базовій поверхні. Орієнтація стола-супутника на столі верстата в першому випадку здійснюється фіксуєчими штирями.

Столи-супутники стандартизовані. В СРСР передбачали ширину 200...800 мм при одному напрямному Т-подібному пазу на базовій площині і ширину 1000-2000 мм при двох Т-подібних напрямних пазах. У горизонтальних ГВМ співвідношення L:B = 1:1 або 1,25:1, у вертикальних ГВМ – L:B = 1,6:1 або 2:1, тому що плоскі або призматичні деталі звичайно подовжені.

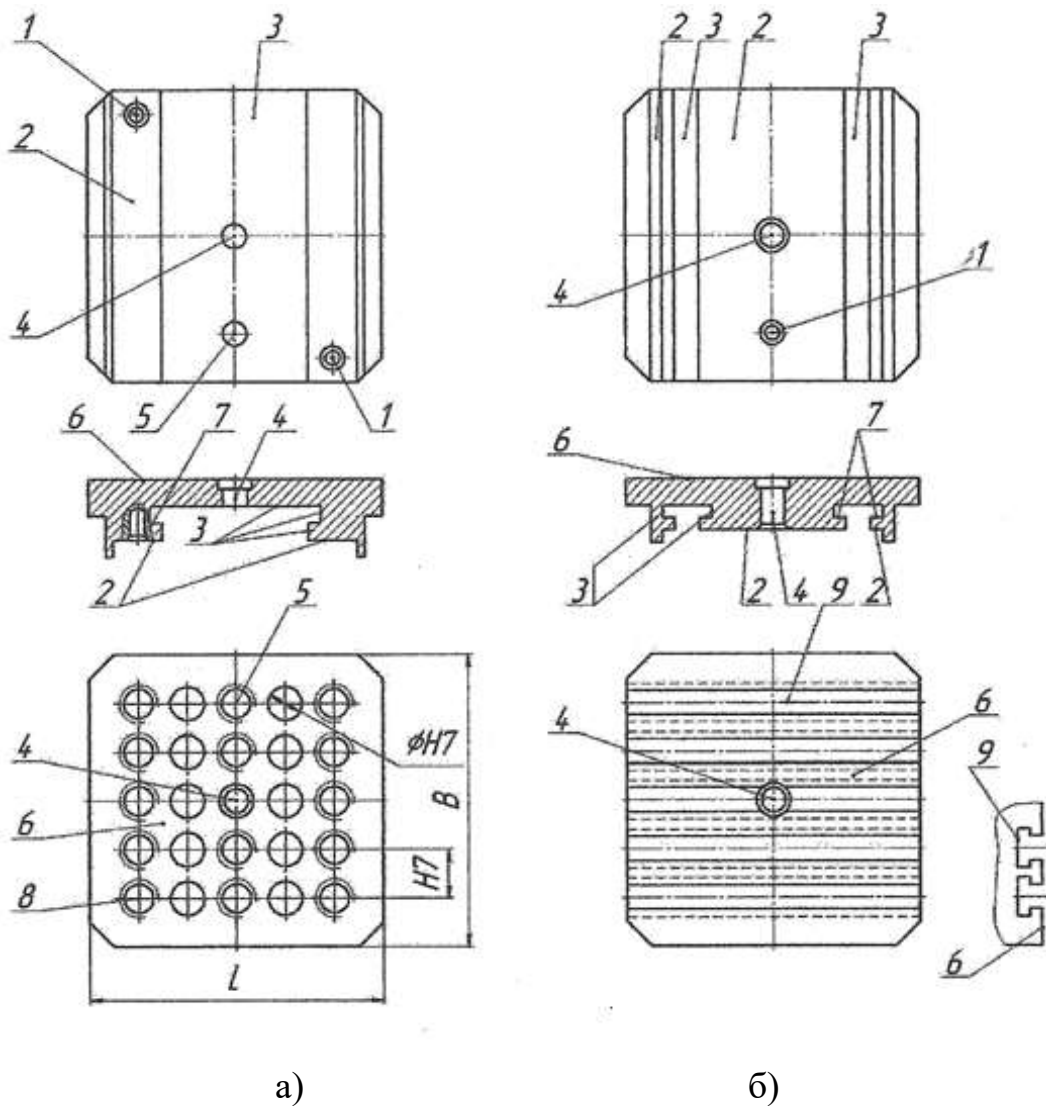


Рис. 8.11 Столи-супутники для призматичних заготовок. а) – європейський стандарт; б) – японський стандарт. Позначено: 1 – базовий отвір для орієнтації стола-супутника за допомогою штирів на столі верстата; 2 – базова площина для установки стола-супутника на стіл верстата; 3 – напрямні поверхні для орієнтування столів-супутників під час переміщення на накопичувачах; 4 – центрувальні отвори для орієнтації або вивірки заготовок або технологічного оснащення; 5 – перевірочний отвір; 6 – робоча поверхня стола-супутника (дзеркало); 7 – затискні поверхні для затиску стола-супутника на верстаті; 8 – кріпильні отвори; 9 – Т-подібні кріпильні пази.

Базові отвори 1 бувають циліндричними або конічними (в основному в прецизійних верстатах).

Елементи для базування й закріплення самих палет і деталей на палеті наведено в стандарті ISO 8526-1:1990. Метою є подальша універсалізація конструкцій. Зокрема вказано, що залежно від площі дзеркала робочі поверхні можуть мати різьбові отвори, радіальні Т-подібні пази, взаємно паралельні Т-образні пази з кроком 63 ... 160 мм, Т-подібні пази і шпонки, здвоєні Т-образні пази, що йдуть в радіальному напрямку, а також можуть бути гладкими. Палети можуть бути як квадратні, так і прямокутні.

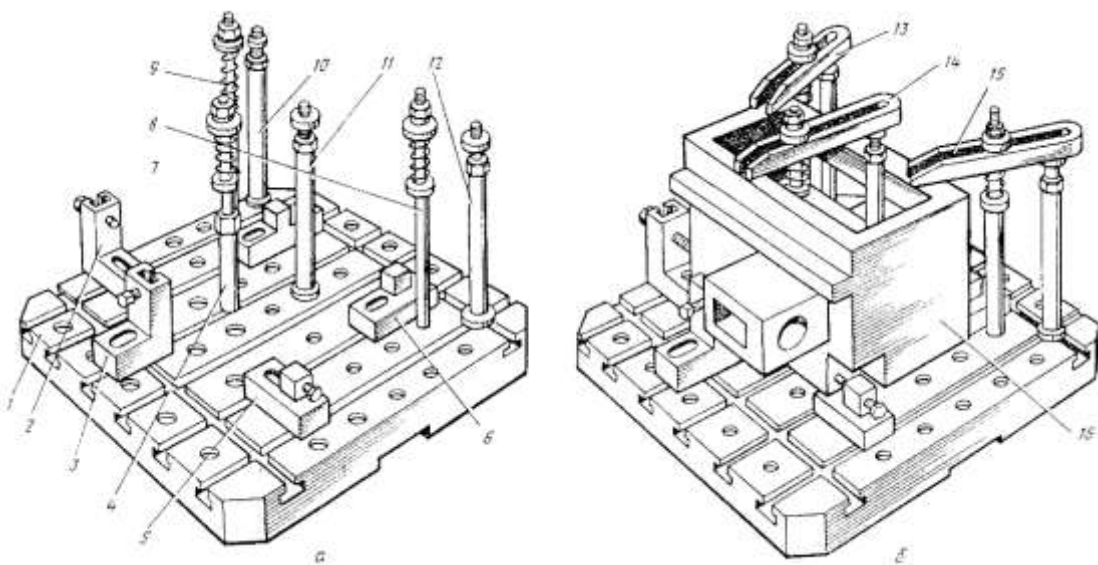


Рис. 8.12 Закріплення заготовки на палеті: а – плита з базовими кріпильними елементами;

б – пристрій – супутник із закріпленою заготовкою;

Позначено: 1 – плита; 2-6 – базові елементи; 7-9 – шпильки; 10-12 – упори;

13-15 – прихвати; 16 – заготовка

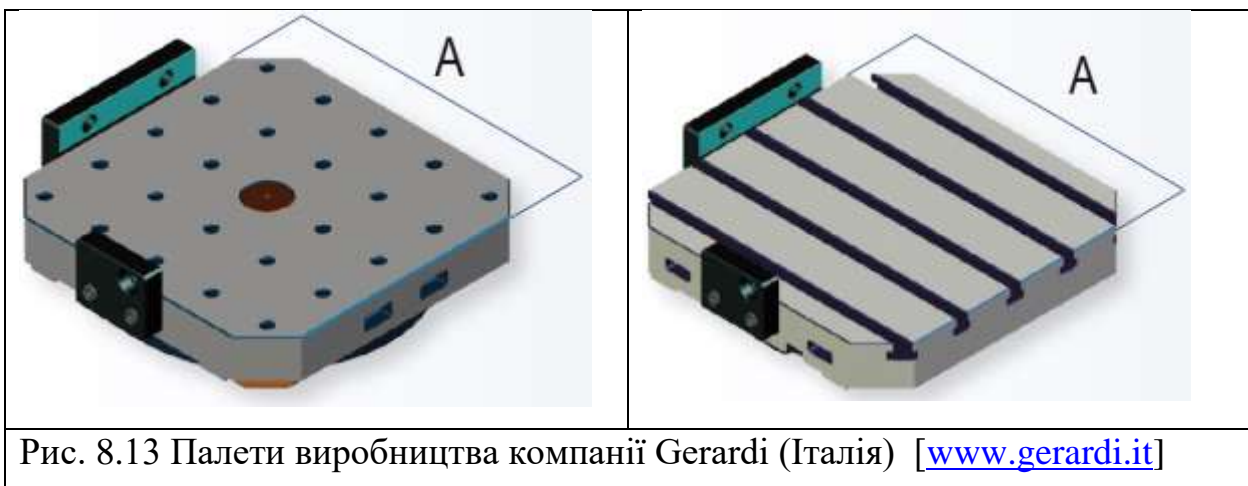


Рис. 8.13 Палети виробництва компанії Gerardi (Італія) [www.gerardi.it]

Показані на рис. 8.13 палети мають габарит $A = 400, 500, 630, 800$. Їх застосовують такі верстатобудівні компанії як Makino, Mazak, Mori-Seiki, Okuma та ін.

Система автоматичної зміни столів-супутників складається із двох частин: завантажувального пристрою й накопичувача столів-супутників.

Завантажувальні пристрої переважно використовують багатопозиційні системи (рис. 8.14) з лінійним розташуванням позицій завантаження або з коловим розташуванням позицій (поворотні).

На рис. 8.14 показані схеми одномісних завантажувальних пристроїв, які найширше застосовуються.

Поворотний завантажувальний пристрій (рис. 8.14, а): стіл 2 переміщується за однією чи двома координатами у позицію зміни заготовки, де взаємодіє із завантажувачем 4. Далі на вільну платформу завантажувача переміщується від верстата супутник 3 із обробленою деталлю. Завантажувач 4 повертається на 180° і з його другої платформи на верстат переміщується супутник з новою заготовкою.

Для досить великих ГВМ з шириною столів-супутників не менш за 1000 мм звичайно застосовують завантажувальні пристрої із роздільними платформами 4, які розташовані з двох протилежних сторін від стола верстата (рис. 8.14, б). Пристрій (рис. 8.14, в) навпаки має платформи 4, які розташовані з одного боку стола, та встановлені на рухомій або на нерухомій основі.

Всі завантажувальні пристрої мають механізми пересування (гідроциліндри, гвинтові чи ланцюгові передачі).

На рис. 8.15 зображено наступне.

а) – з лінійним розташуванням одномісних супутників: з обох боків від стола. При зміні супутника стіл верстата здійснює човникове переміщення: спочатку переміщається по осі X до вільного завантажувального пристрою для передачі супутника з

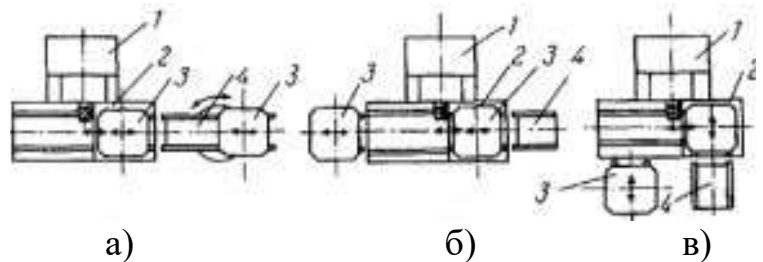


Рис. 8.14 Схеми завантажувальних пристроїв, які найширше застосовуються.

Позначено: 1 – верстат; 2 – стіл верстата;
3 – стіл-супутник; 4 – завантажувач.

обробленою заготовкою, потім – до завантажувального пристрою, на якому знаходиться супутник з новою заготовкою. Розташування із протилежних сторін стола застосовують у великих ГВМ, у тому числі з двома стойками, із шириною столів-супутників з палетами не менше 1000 мм;

б) – паралельне переміщення супутників уздовж осі Z. Схема зручна для приєднання верстатів до загальної транспортної системи або накопичувача супутників із заготовками. Якщо стіл верстата не має можливості переміщатися уздовж осі X, то застосовують двомісні завантажувачі, які можуть переміщатися по осі X, або переміщається сам завантажувач по напрямних чи переміщаються полозки по напрямних, розташованих на завантажувальному пристрої;

в) – Т-образна схема розташування столів-супутників. Завантажувальний пристрій розташовується із двох сторін від стола в одному з його крайніх положень по осі X. У цьому випадку переміщення супутників може здійснюватися одним приводом. Стіл є нерухомим;

г) – розташування столів у формі літери „Г“;

д) – завантажувальні пристрої розташовані під кутом один до одного. Схема застосовується у верстатах з поворотним столом. Необхідно сполучити напрямні стола й завантажувальних пристроїв. Стіл повертається на кут, що відповідає куту між навантажувачами;

е) – поворотний завантажувальний пристрій. Стіл переміщається в позицію зміни заготовок, стикується із завантажувачем, на вільну платформу завантажувача з верстата переміщається супутник з обробленою деталлю. Потім завантажувач повертається на 180° і з іншої платформи на верстат переміщається супутник з новою заготовкою. Однак у цьому випадку збільшується площа, займана модулем;

ж) – багатопозиційний поворотний стіл з однією позицією;

з) – пристрій перевантаження супутників поворотного типу;

и) – лінійне розташування позицій завантаження. Каретка 1 перевантажувача отримує лінійне переміщення вздовж позицій завантаження-розвантаження. Накопичувач (магазин) заготовок є нерухомим.

Таким чином, завантажувальні пристрої можуть бути:

- з роздільними платформами, які розташовано з одного боку стола або з протилежних боків;
- з платформами, які встановлено на нерухомій або рухомій основі, тобто для передачі й приймання заготовок може переміщатися стіл вздовж платформи завантажувального пристрою чи сама платформа;
- із завантажувальними пристроями, які можуть переміщатися лінійно чи мати поворотний стіл.

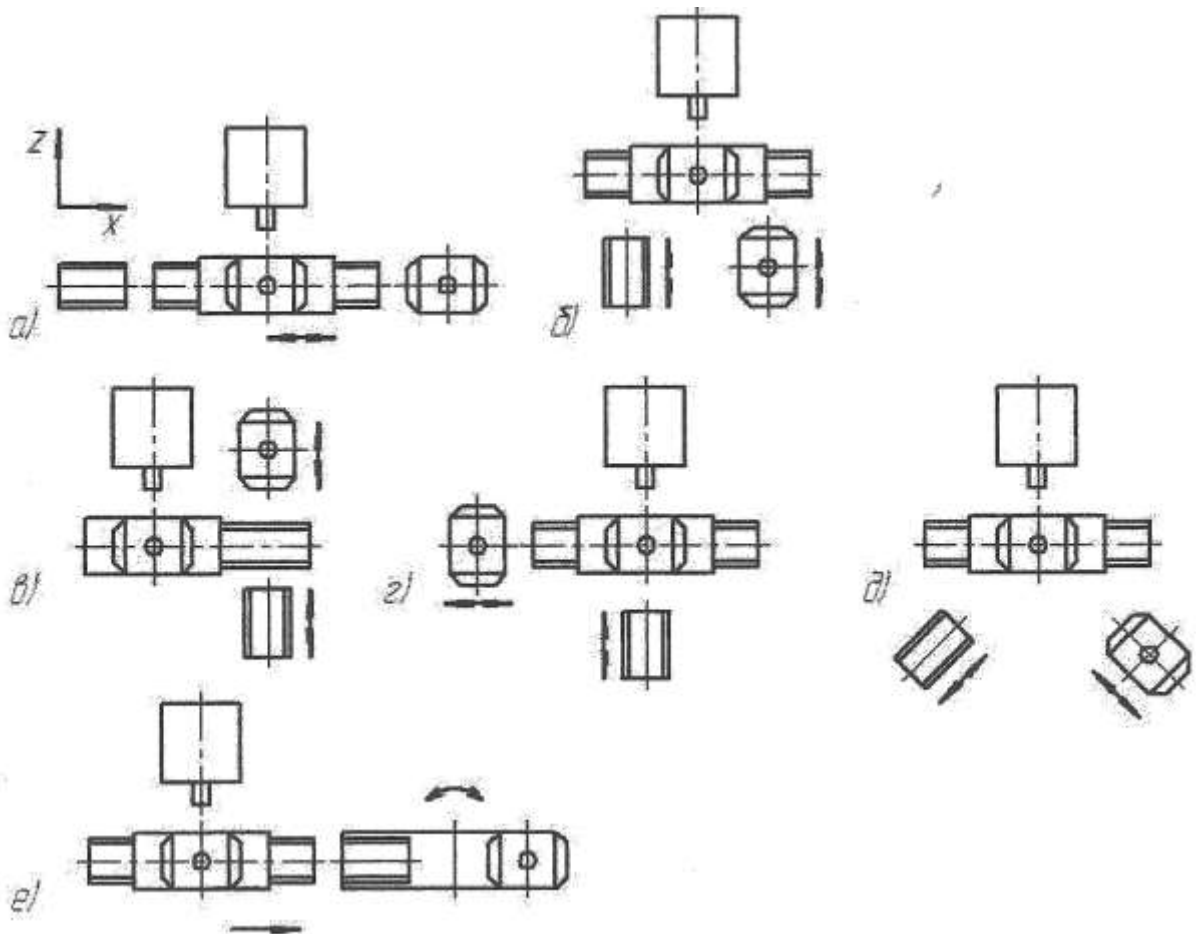


Рис. 8.15 Компоновки багатопозиційних завантажувальних пристроїв

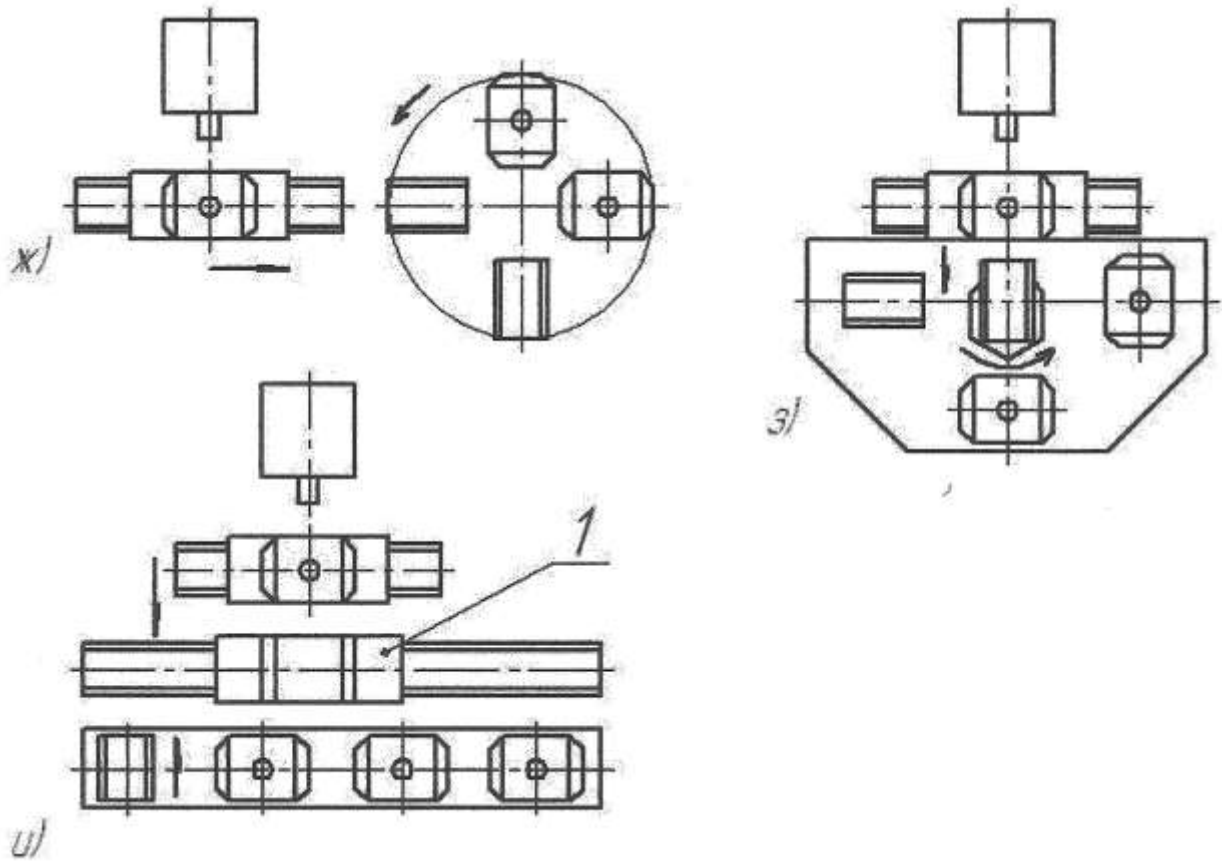


Рис. 8.15 (продовження) Компонувки багатопозиційних завантажувальних пристроїв

Як приклад типорозмірів наведена транспортна виробнича система PS 1250 (рис. 8.16) фірми MAUSER (для максимальних габаритів лінійки верстатів): розміри палети 1250×1250 мм; хід за осями 1600×1250×1250 мм.

До пристрою зміни палет може приєднуватися будь-яка із транспортних систем, які передбачені фірмою-виробником (рис. 8.16)

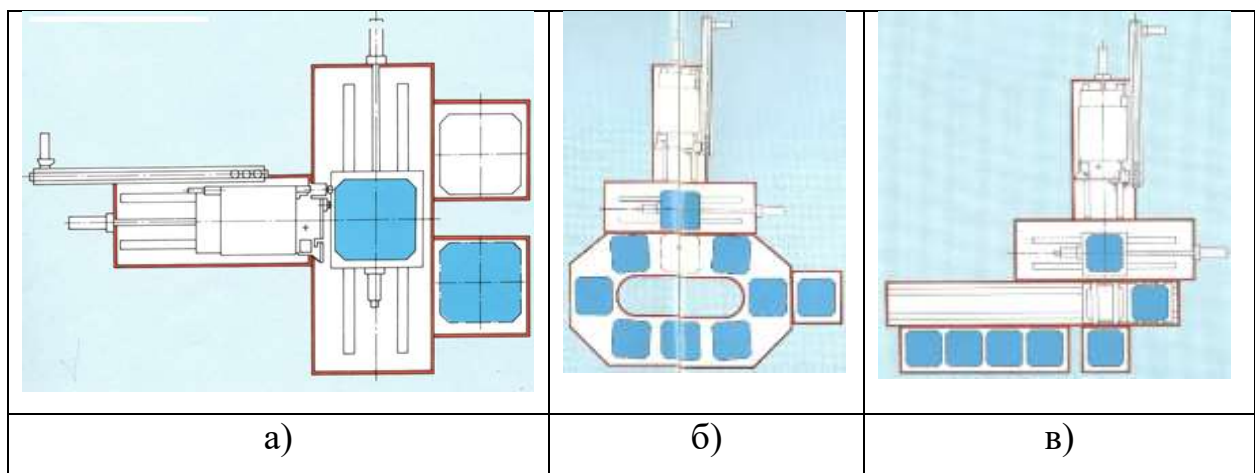


Рис. 8.16 Транспортна виробнича система PS 1250 фірми MAUSER

На рис. 8.16, б) показано накопичувач палет з транспортером на дві палети і позицією виводу й ремонту палет (основа для гнучкої системи). На рис. 8.16, в) показано коловий накопичувач палет з позицією виводу й ремонту палет.

На рис. 8.17 показано структуру системи В.Т.М./FRIDMIL, яка спрощує керування технологічним процесом та скорочує загальні витрати.

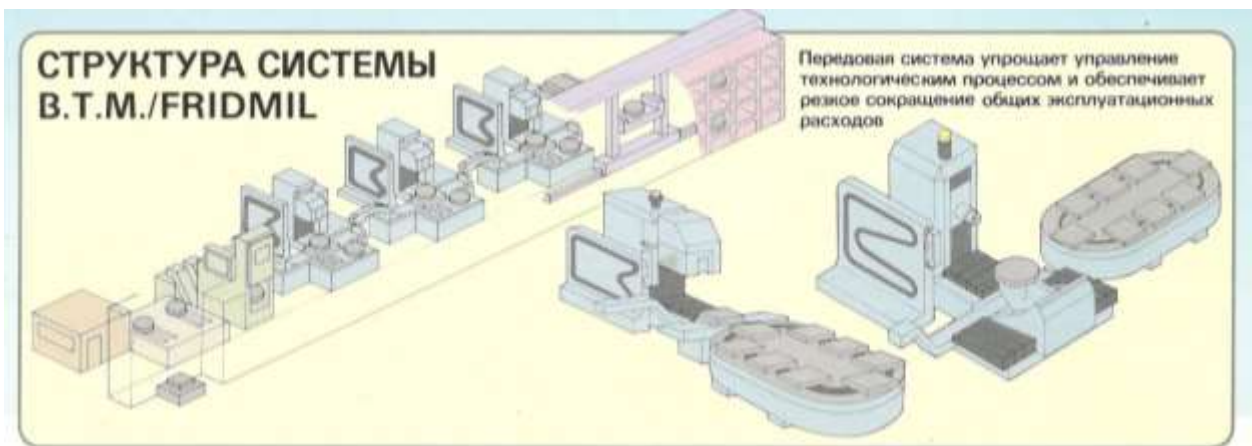


Рис. 8.17 Транспортна структура системи В.Т.М./FRIDMIL

Транспортні системи для заміни заготовок можуть бути досить складні й об'ємні, якщо вони призначені для ГВС.

Наприклад, ГВС (рис. 8.18) містить 5 обробних центрів BZ 20 та накопичувач палет MPS з мінімальною кількістю палет для передач, лінійний накопичувач на 30 палет, зовнішні магазини для палет. При завантаженні палети оснащуються пристосуваннями й деталями та кодуються. Транспортний візок доставляє палети до вільних місць у накопичувачі. За командою СЧПК транспортний візок подає палети до потрібного обробного центру та забирає відпрацьовані.

Різну компоновку може мати модульний палетний накопичувач. Наприклад, у накопичувачі MPS є 4-6 палет, розташованих у формі зірки (рис. 8.19, а, б) Кожна палета має пристосування у формі кубу чи призми, на якій розташовані одна або кілька затискних систем для встановлення деталі. Затиск деталей у багатомісному пристрої дає можливість раціональної обробки виробу. Палети кодують і обробка автоматично здійснюється за програмою. Палети оснащують на окремій позиції, що може розташовуватися поза верстатом або бути інтегрованою в устаткування і виконаної поворотною на 360° з метою зручності переналагодження. Оснащені палети безпосередньо вводять у накопичувач. Обробна система є компактною, скорочує втрати часу

(при достатній тривалості часу обробки), вільне спадання стружки завдяки вертикальному розташуванню палети при обробці сприяє зменшенню нагріву.

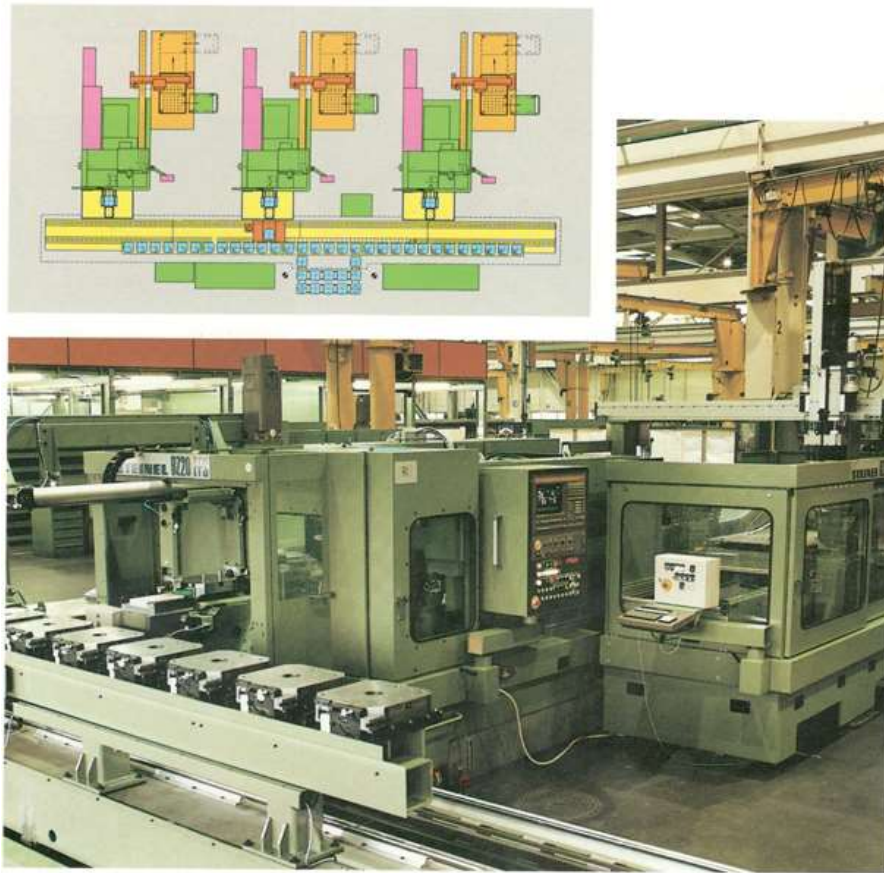


Рис. 8.18 ГВС для обробки оптичних деталей приладів з лінійним накопичувачем для виробів. (верстатобудівний завод Бернгард Штайнелъ).

Палетний накопичувач RUS (рис. 8.19, в) – це ланцюговий накопичувач циркулярного типу, який розраховано на базування 9-15 палет. Він є доречним в разі обробки значного спектру деталей та потребі реалізувати багатозмінну роботу без оператора.

Компонування одномісних і багатомісних завантажувальних пристроїв обирають у кожному конкретному випадку виходячи з:

- умов експлуатації верстатів;
- розташування обладнання;
- напрямку технологічних потоків;
- схеми транспортування оброблених деталей.

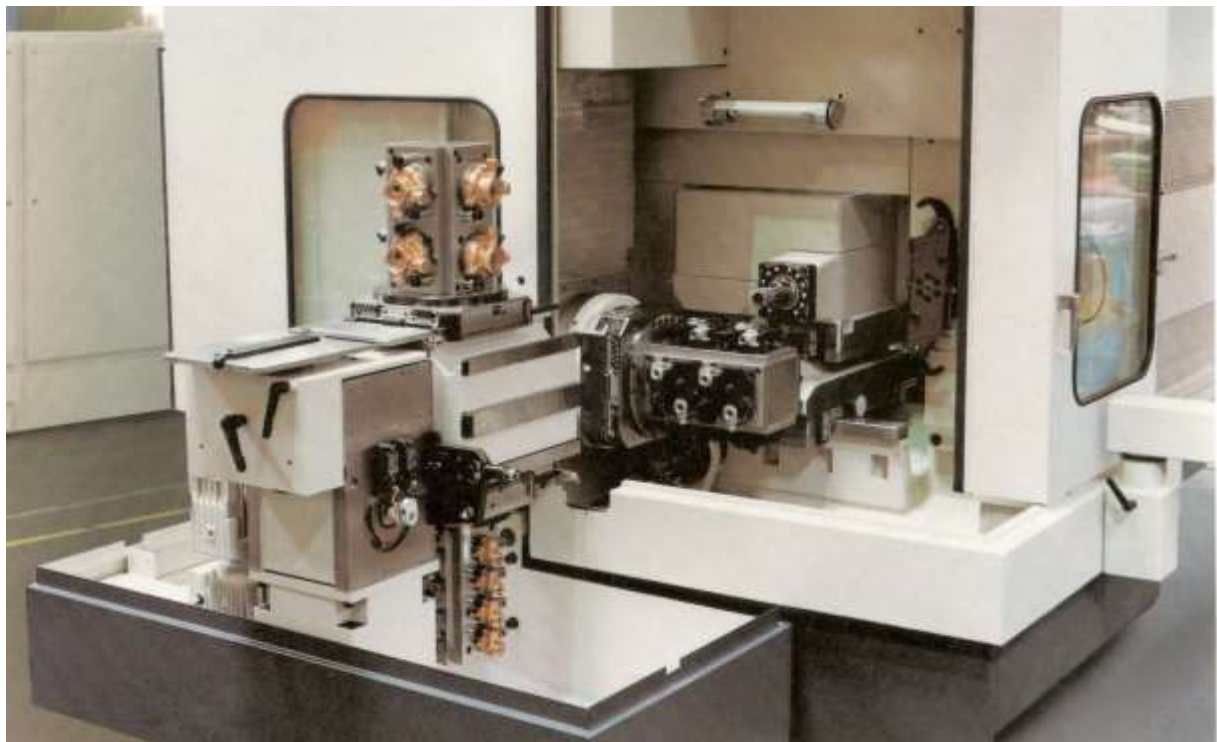
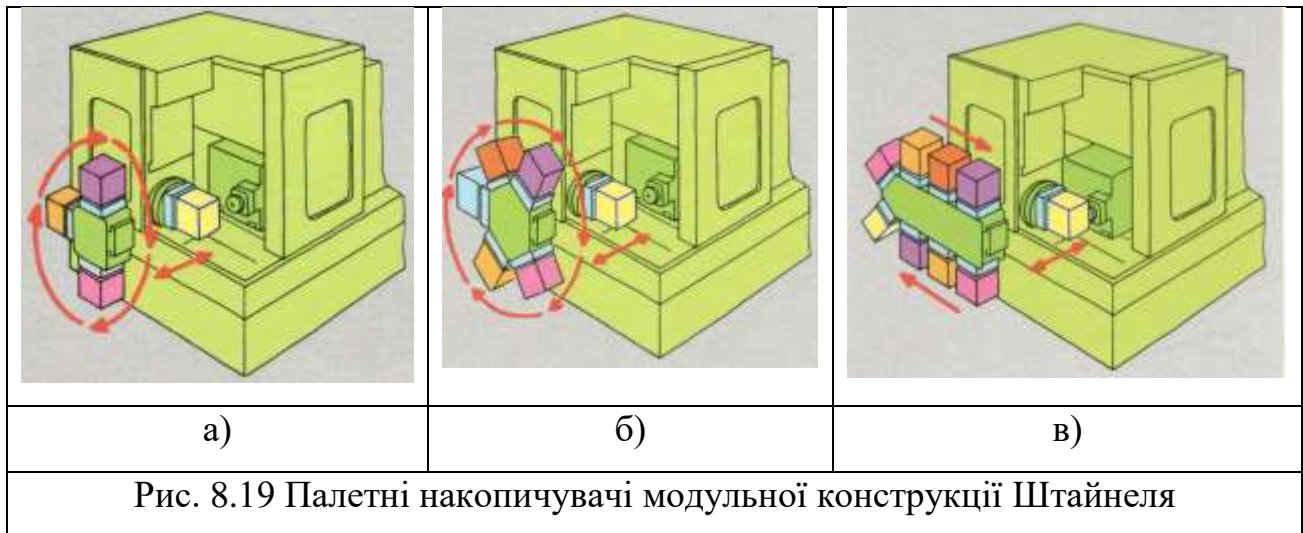


Рис. 8.20 Гнучкий виробничий модуль Штайнеля з накопичувачем MPS.

Передбачено також у разі значної ваги встановлення палети роботом або краном. Безпосереднє завантаження корпусної деталі або плити з використанням робота ускладнюється складною формою потрібного захвата.

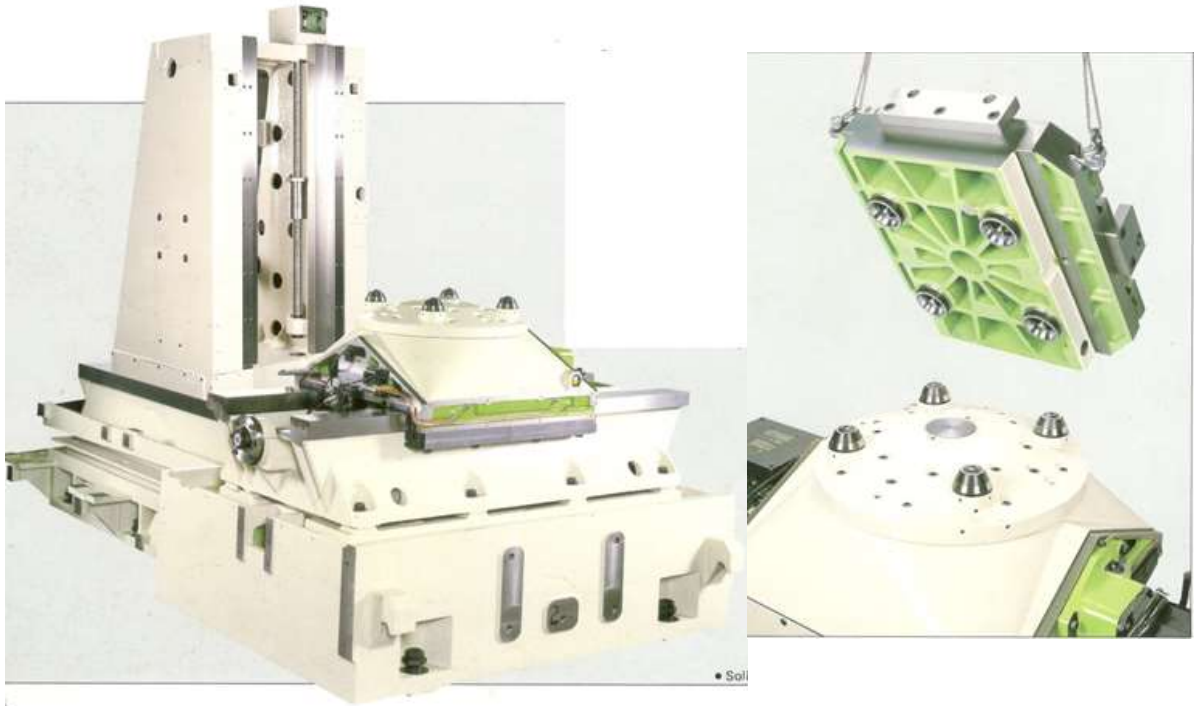


Рис. 8.21 Встановлення палети (обробний центр MC86 фірми Makino)

Пристрої автоматичної зміни оброблюваних заготовок сполучають із транспортними системами – магазинами супутників. Наприклад, конвеєр-накопичувач супутників або транспортний візок.

Наприклад, рис. 8.22:

а) – завантаження верстата із платформ, розташованих по осі X із двох протилежних сторін від стола (фірма Mandelli, Італія);

б) – накопичувач супутників із транспортним візком фірми «Huller Hille» (ФРН). У магазині 10 супутників 1, транспортний візок 3, який переміщається по напрямній 2. В візку змонтовано приводи переміщення самого візка й супутників з поворотним столом. Всі супутники переміщаються по конвеєру одночасно, самохідний візок доставляє до верстата 4 тільки один супутник, обраний згідно з програмою. У накопичувачі передбачена позиція з поворотним столом 5, що використовується для установки й зняття заготовок і зв'язку із зовнішнім транспортом. Така система може обслуговувати два багатоцільових верстата, дозволяє транспортувати різні заготовки.

Фірма Makino (Японія) випускає багатоцільовий верстат MC-60 з магазином на 6...8 або 12 палет, що розташований збоку від верстата, і автооператором для заміни палет. Аналогічним магазином оснащений багатоцільовий верстат 1115 фірми Yamazaki Machinery Work (Японія).

в) – багатомісний пристрій карусельного типу застосовують фірми Mitsui Seiki, Marwin (Англія), Kerney and Trecker (США) у верстаті Milwanke-Matic 200S (магазин на 10 палет), і у верстаті Milwanke-Matic 800 (на 6 або 8 палет, може працювати без оператора 10 годин). Багатоцільовий верстат моделі ТМС 500 (фірма Mauser, Німеччина) має поворотний стіл з горизонтальною віссю обертання, який забезпечує поворот шістьох палет площею 450x450 кожна.

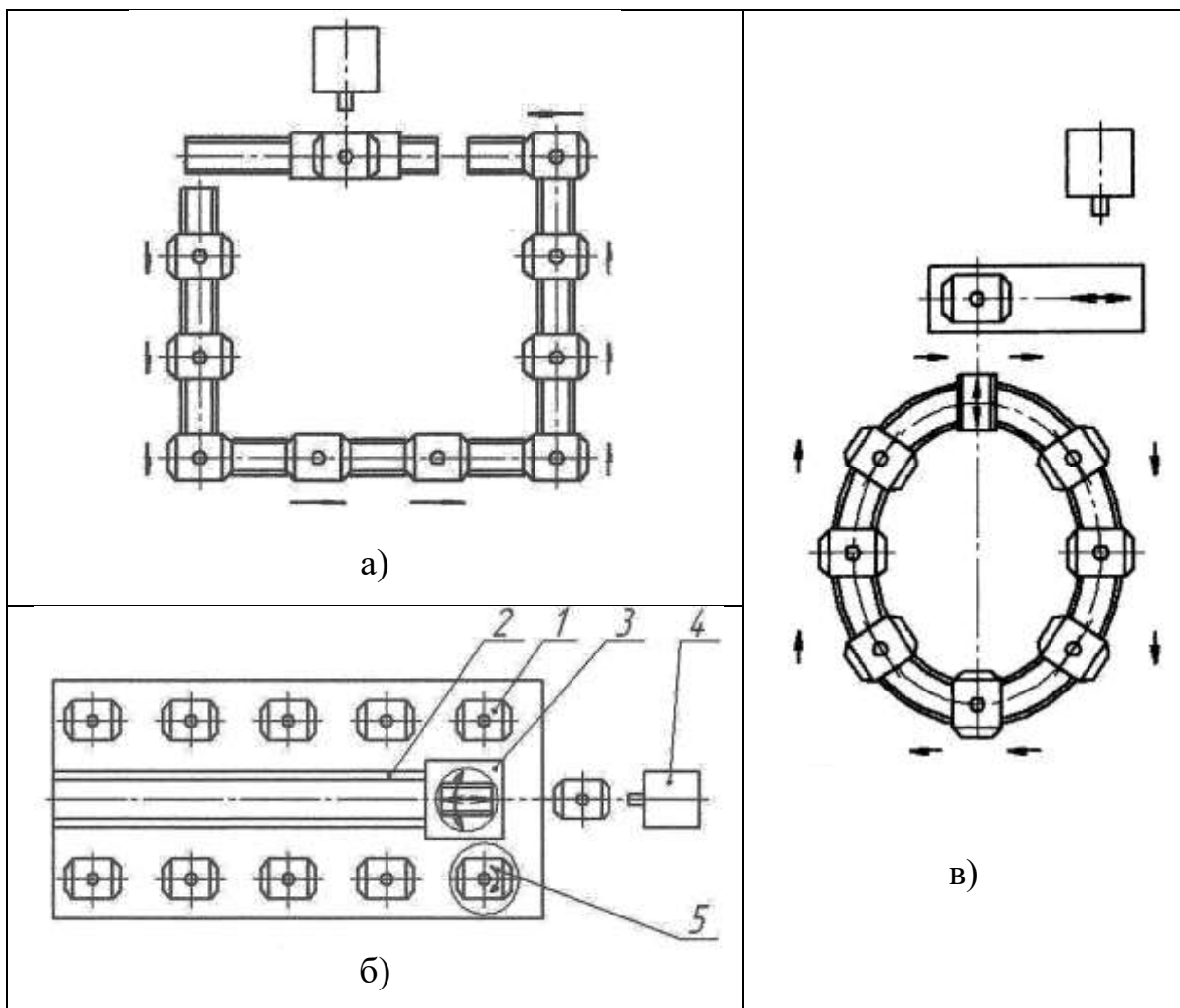


Рис. 8.22 Приклади сполучення пристроїв автоматичної зміни заготовок із транспортними системами.

Цікавим є рішення, запропоноване фірмою Цугами (Японія) : вертикальний магазин для супутників (10 супутників й один у робочій позиції – обробка до 11 різних заготовок). Номера супутників кодуються за допомогою спеціальних собачок. Потрібні програми обробки викликаються автоматично. Магазин обертається. Встановлюють і знімають заготовки із супутників тоді, коли супутник знаходиться у горизонтальному положенні. Економія місця

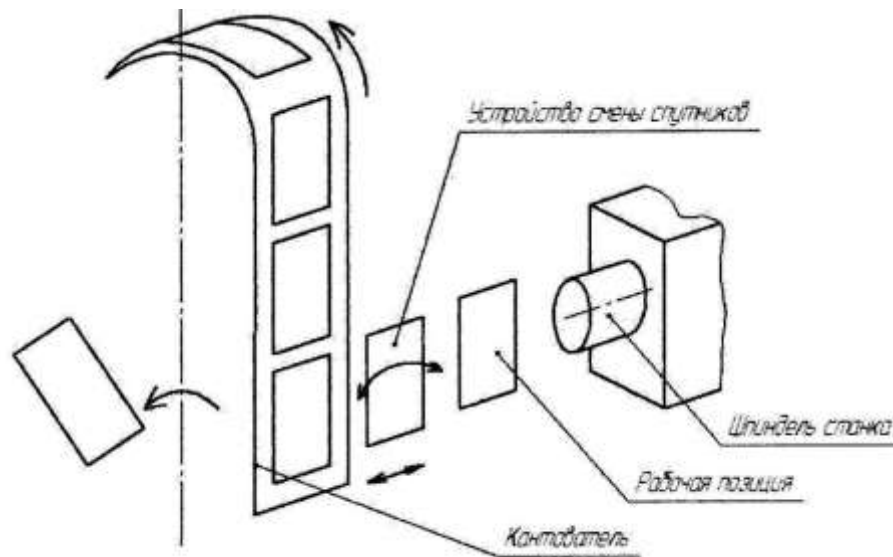


Рис. 8.23 Вертикальний магазин для супутників (фірма Цугами, Японія)

Таким чином, якщо необхідно забезпечити роботу верстата протягом 1-2 змін без втручання оператора, верстат оснащують або багатомісним завантажувальним пристроєм або пристроєм автоматичної зміни заготовок, що забезпечують зв'язок верстата з накопичувачем, магазином або загальною транспортною системою.

Пристрої зміни столів-супутників тільки підвищують коефіцієнт використання верстата, а накопичувачі супутників дозволяють, установивши заздалегідь заготовку, забезпечити роботу без участі оператора, обмеживши його роль контролем безперервності обробки.

Якщо автономних накопичувачів у верстатів недостатньо, то передбачають зовнішні накопичувачі, розташовані уздовж лінії верстатів із двох сторін ділянки. Завантажені в зовнішніх накопичувачів супутники транспортними візками переміщують до накопичувачів модулів.

Багатомісні пристрої можуть створювати запас деталей для обробки протягом робочої зміни, тобто виконують роль накопичувача.

Одна з найважливіших вимог – точність і стабільність фіксації пристроїв-супутників на столі верстата.

Пристосування фіксації й затискання – одні з найбільш відповідальних деталей. Повинні забезпечувати високу точність і жорсткість базування незалежно від способу базування. Ще одна вимога – забезпечити відведення стружки.

Способи базування супутників:

- напрямні типу «ластівчин хвіст» та упор;
- прямокутна призма й фіксатор;
- V – подібнана призма й упор;
- по двох фіксаторах.

Пристрої-супутники на столі затискають. Механізми затискача можуть бути пасивні й активні. Активні механізми – найчастіше гідравлічні, вбудовані в стіл верстата чи накладні.

Для обробки деталей типу тіл обертання на багатоінструментальних токарних чи шліфувальних верстатах як накопичувачі заготовок можуть використовуватися механізми, аналогічні по конструкції інструментальним магазинам, а для довгих валів – конвеєри з, наприклад, специфічними палетами.

Ще один різновид палет – для деталей типу тіл обертання (для токарних багатоцільових верстатів). Це, як правило, рамні конструкції, у яких є вставки для затиску деталі в патроні або центрах [44]. Такі палети можна штабелювати. Якщо деталі обробляють у центрах, то най-частіше їх вкладають в призматичні ложементи–металеві або пластмасові (рис. 8.24).

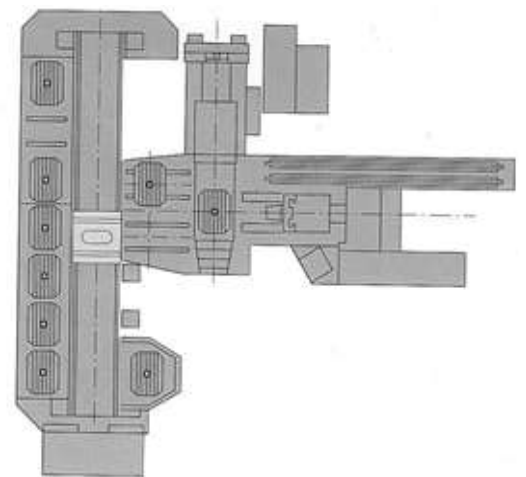


Рис. 8.24 Компоновка ГВМ DECKEL DC55 (Німеччина) – з палетами для токарної обробки

Переміщення деталей типу тіл обертання в ГВС здійснюються найчастіше з використанням найпростіших транспортних палет без закріплення на них виробів. Такі палети одночасно виконують функції транспортування і складування. Існують три різновиди, показані на рис. 8.25:

- одиночні палети: а) – для заготовок, які оброблюють у центрах, б) – для оброблених у патроні;
- висувні палети (в);
- багатоярусні палети (г).

Перспективним є створення універсальних палет модульної конструкції

Палети обирають за наступними критеріями: кількість виробів, розміщених на палеті, (залежить від розмірів і форми виробів); маса виробів і палет, мінімальний час обробки одного виробу і необхідний час безлюдної роботи ГВС.

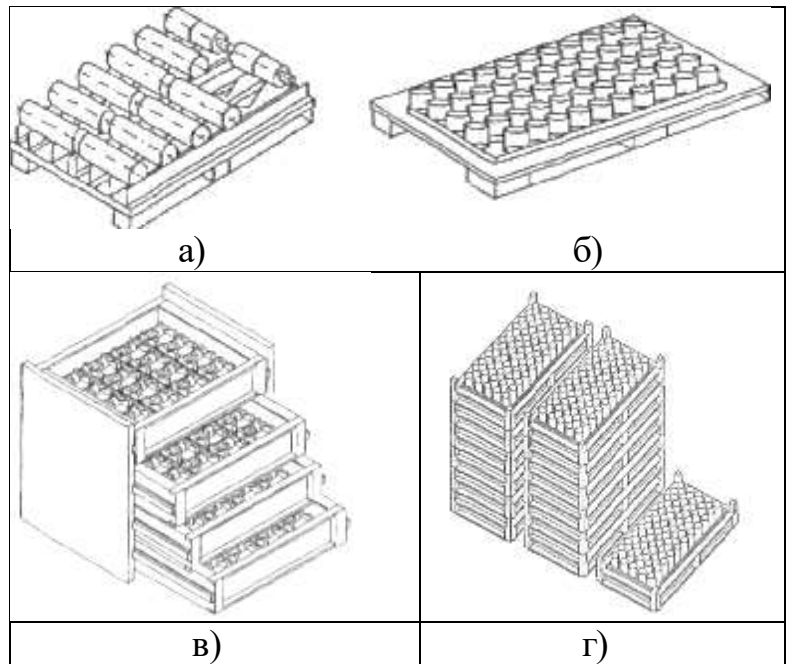


Рис. 8.25 Транспортні палети для тіл обертання.

Загалом можна рекомендувати:

- для виробів, що мають порівняно малі розміри і тривалий час обробки, коли запасу виробів на одній-двох палетах достатньо для забезпечення роботи ГВС у режимі безлюдної технології, використовувати одиночні палети;
- для великогабаритних виробів з малим часом обробки застосовувати висувні і багатоярусні палети з додатковими пристроями для маніпулювання ними. До таких палет належать палети зі змонтованими на них кріпильними пристосуваннями або спеціальні транспортні палети. Час, необхідний для заміни палет, можна значно скоротити, якщо дії закріплення-відкріплення заготовок виконувати на додатковому носії змінних палет поза робочою зоною. Пристрій повинен забезпечувати швидке повернення палет назад у робочу зону.

– найзручнішими є палети, призначені одночасно як для базування і закріплення деталей, так і для транспортування і маніпулювання ними. Такі палети мають уніфіковану робочу поверхню.

Для деталей типу тіл обертання широко поширені накопичувачі заготовок у вигляді тактових столів. Тактові столи переміщують заготовки по команді системи керування в позицію, з якої вони переносяться на верстат транспортним пристроєм. Заготовки на тактових столах можуть встановлюватися на кодованих супутниках для зміни в будь-якому порядку, що його задає програма.

На рис. 8.26 показано компоновку гнучкого виробничого модулю DECKEL DC55 (Німеччина) для токарної обробки з палетами, на яких передбачено встановлення заготовок типу валів.

Передбачається розвантаження деталі роботом безпосередньо з палет для встановлення на верстат і перестановки палет тим же роботом. Точність позиціонування повинна відповідати умовам роботи робота. Всі механізми для кріплення палет монтують на столі. При зміні палета рухається на ці пристрої, опускається й затискається.

Точність позиціонування при установці однієї палети $\pm 0,01$ мм. При використанні декількох палет – у межах $\pm 0,015$ мм.

З накопичувача будь-якого типу заготовки на верстат переносяться найчастіше також автооператором. Умовою реалізації є форма деталі, яка повинна бути зручною для захвату роботом (так звана транспортна база). Наприклад, використовують пристрої у вигляді маніпуляторів з поворотним чи важільним механізмом із захватом.

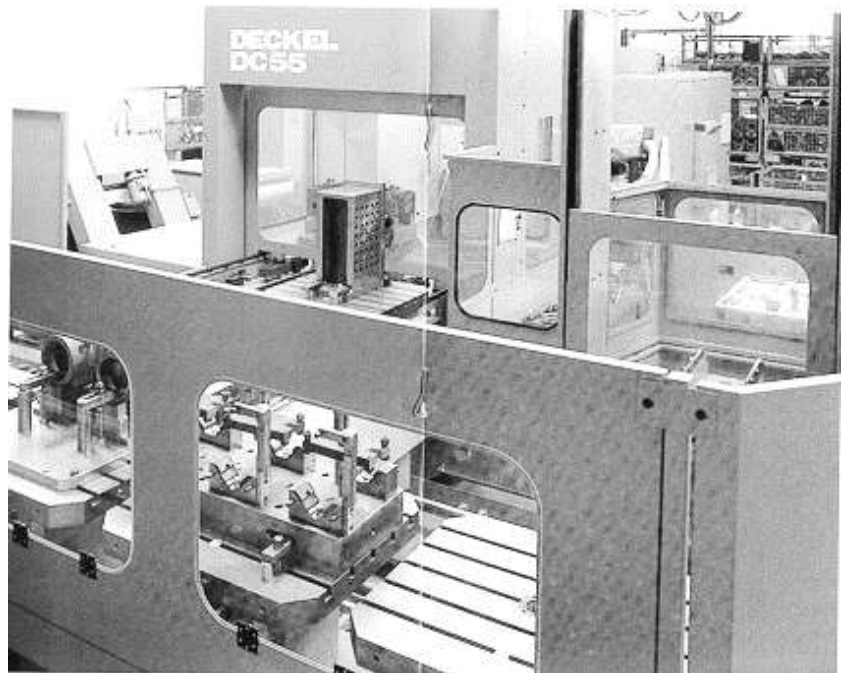


Рис. 8.26 ГВМ DECKEL DC55 (Німеччина)
для токарної обробки

Гіпоциклоїдальна траєкторія руху утворюється при одночасному обертанні захватного пристрою навколо своєї осі та повороту головки із захватом відносно паралельної осі, яку зміщено на величину ексцентриситету „ e “. При досягненні кінцевих положень (позиції 1, 2, 3) швидкість переміщення заготовки знижується, що сприяє точності позиціонування. За такої траєкторії руху центру захвату виключається небезпека зіткнення заготовки з різцетримачем, затискними та транспортними пристроями.

Колову траєкторію зручно використовувати із дворукиим завантажувальним пристроєм, який не змінює відносне розташування рук (визначається кутом φ), наприклад, при обслуговуванні двох робочих позицій на двошпindelному верстаті.

Поворотні завантажувальні пристрої можуть бути змонтовані на консолі, яку жорстко закріплено на каретці, що переміщується над верстатом по напрямних траверси. Таким чином отримуємо компактний пристрій, який може обслуговувати кілька позицій, розташованих вздовж траверси. Можлива реалізація, що передбачає нерухоме встановлення поворотної частини пристрою (рис. 8.27, б). В цьому разі механізм завантаження пересувається вздовж верстату.

Важільні завантажувальні пристрої використовують для важких заготовок (валів масою до 50 кг та довжиною до 3 м) та середніх за вагою фланцевих заготовок.

Конструктивно: висувні пристрої – це шток, що має на кінці захват і здійснює зворотно-поступальний рух, а поворотні – це рука із захватом та кількома (дві чи три) ступенями рухомості. Характерним є дворуке виконання: два маніпулятори встановлено на спільній каретці з можливістю зворотно-поступального руху по траверсі і таким чином, що маніпулятори, один з яких призначено для заготовки, а інший – для обробленої

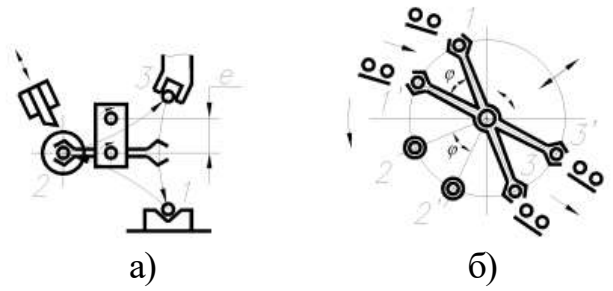


Рис. 8.27 Поворотні завантажувальні пристрої з різними траєкторіями руху: а) – гіпоциклоїдальна; б) – колова.

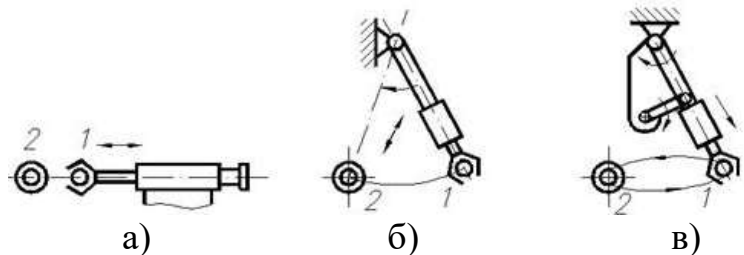


Рис. 8.28 Важільні завантажувальні пристрої з різними траєкторіями руху: а) – прямолінійна; б) – колова; в) – еліптична.

деталі, знаходяться завжди у протилежних позиціях, тобто всі дії виконуються по чергово. Для одночасного маніпулювання заготовкою й деталлю треба мати двозахватні маніпулятори із додатковим поворотом відносно осі руки на 180 °.

Завантаження заготовок типу кілець чи дисків, які базуються у накопичувачі, у магазині або на конвеєрі по торцю, вимагає кантування перед встановленням заготовки у патрон верстата та для встановлення деталі після обробки, а також при обробці заготовки з двох боків. Для кантування використовують додаткову позицію.

На рис. 8.29 показано токарний ГВМ, в якому реалізовано передачу деталей роботом у позицію кантування двопозиційною шпиндельною револьверною головкою.

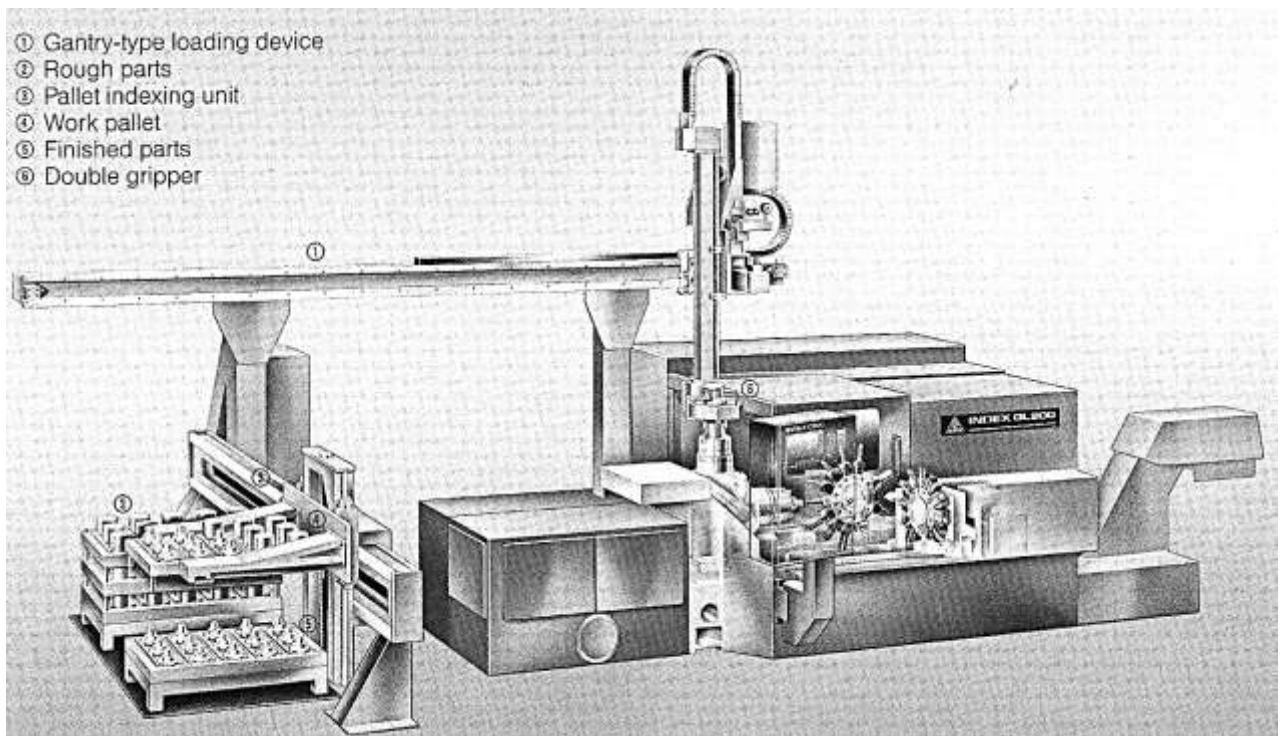


Рис. 8.29 Токарний ГВМ фірми INDEX

Заготовки на верстат можуть переноситись також за допомогою промислових роботів різної конструкції (найчастіше – порталної). На рис. 8.30 показано токарний ГВМ, в якому реалізовано передачу деталей роботом у позицію завантаження двопозиційної шпиндельної револьверної головки

На рис. 8.30 показано той самий верстат, але зміна заготовок реалізована інакше. В першому випадку це касети, в яких заготовки поступово замінюються обробленими деталями, потім ці касети штабелюються на стелажі. В другому випадку застосовано циркулюючу систему подачі заготовок і оброблених деталей.

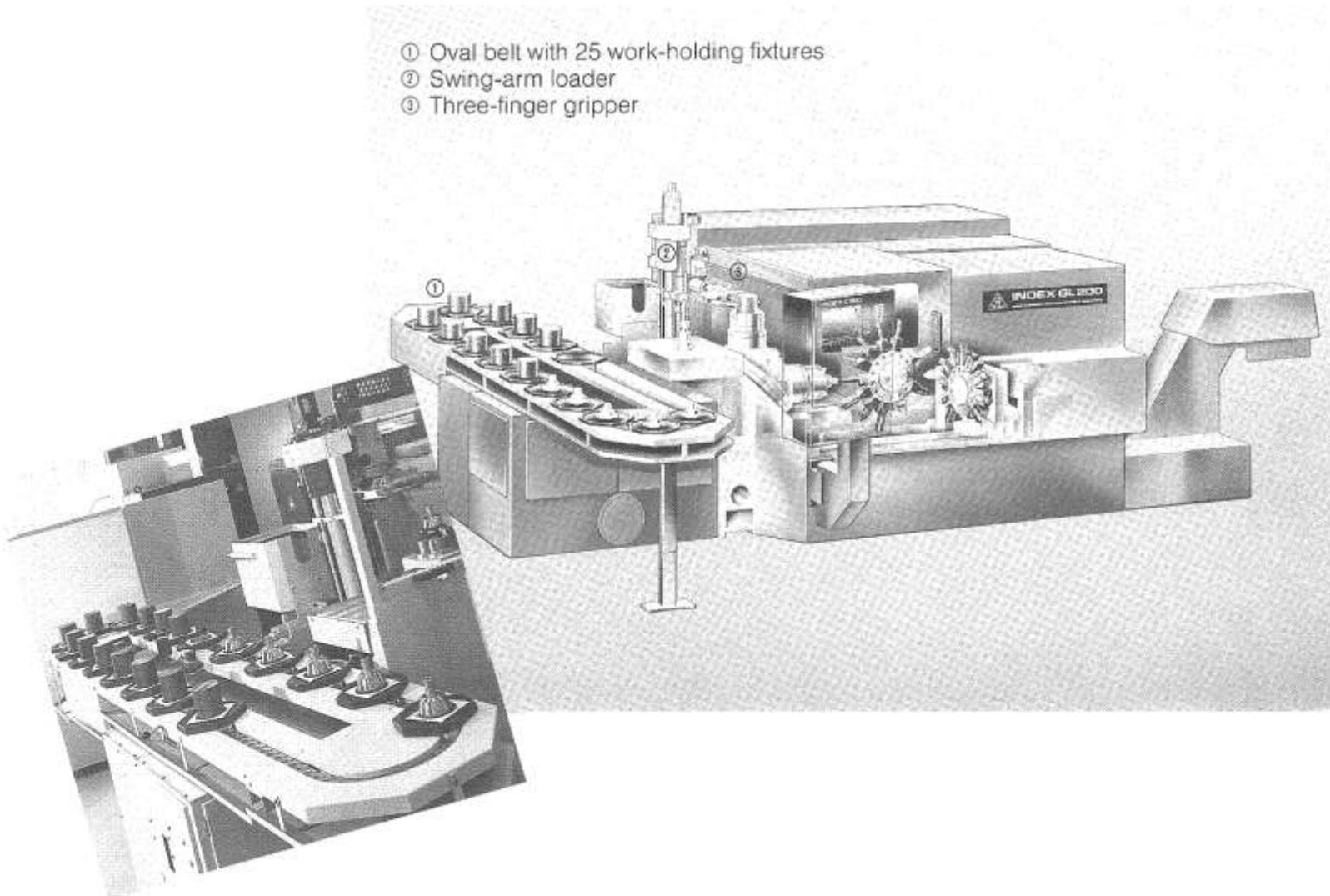


Рис 8.30 Токарний ГВМ фірми INDEX з циркулюючою системою, автооператором та кантувачем.

Токарні верстати з ЧПК серії VLC призначені завдяки модульній конструкції для комплексної обробки за рахунок інтеграції технологій. Практично може виконуватись будь-яка технологія групи EMAG – від точіння, шліфування, фрезерування, зубофрезерування до індукційного загартування (група EMAG,



Рис. 8.31 Високошвидкісний верстат із позицією Pick-up для завантаження заготовок.

<https://www.emag.com/ru/stanki/tokarnye-stanki/mnogofunkcionalnye-vlc/vlc-100.html>).

Верстат має вбудовану систему для автоматизації завантаження деталей — шпиндель, який знімає деталі з бокового транспортера і подає їх у робочу зону (технологія «Pick-up»). Забезпечується мінімальний час «від стружки до стружки», бо система обирає найкоротший шлях, навіть у разі реконфігурації робочої зони відповідно до обраного техпроцесу, наприклад, у разі потреби токарна обробка з використанням револьверних головок.

Довідка

<https://www.emag.com/ru/tekhnologii/tekhnologija-vertikalnogo-tochenija.html>

Токарні верстати Pick-up – це верстати вертикального точіння, тобто заготовка знаходиться у шпинделі, розташованому вертикально у пінолі на порталному супорті. Головний шпиндель одночасно виконує функції пристрою автоматичної зміни заготовок (по суті виконує функції рухомої руки): рухається до накопичувача заготовок (наприклад, бокового конвеєра), захоплює заготовку і переміщується із затиснутою в ньому заготовкою у зону обробки, де виконує переміщення за всіма осями ЧПК, які потрібні для обробки. Інструмент при обробці розташовано під оброблюваною деталлю і він є стаціонарним. Це забезпечує ідеальні умови для видалення стружки, яка просто падає вниз, де захоплюється рухомим пристроєм, значно спрощується обробка без МОР.

Верстати цього типу мають високу жорсткість, значні швидкості швидких переміщень.

Типові деталі: зубчасті колеса, зірочки, зсувні муфти, деталі клинопасових варіаторів, кільця підшипників, тощо.

На верстатах з технологією Pick-up розповсюдженою є циркулююча система (рис. 8.32), яка забезпечує адаптивність, зокрема й завдяки (рис. 8.33)

- регульованим напрямним;
- регульованій ширині гусеничних ланцюгів.

Такий варіант системи належить до типових аксесуарів для верстатів з технологією pick-up (впроваджено, наприклад, на верстаті NTX 1000 (www.dmgmoriseiki.com), на верстатах компанії MAG.



Рис. 8.32 Циркулююча система подачі заготовок та відведення деталей.

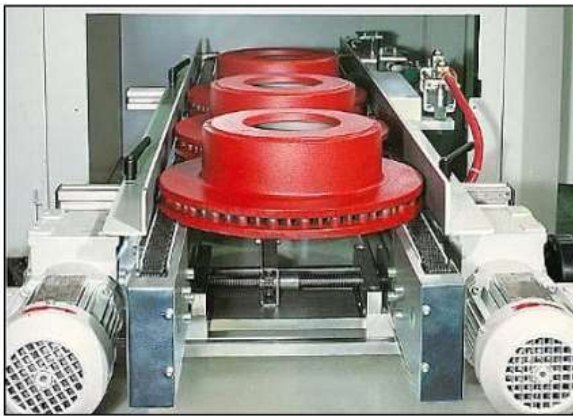


Рис. 8.33 Аксесуари для верстатів з технологією pick-up

На рис. 8.34 показано загальний вигляд верстата типу IVL (компанія KAAST) [<http://www.kaast.ru/catalog/46/948>] та подано у вигляді 3D-моделей можливі компонування гнучких виробничих модулів у разі використання для обробки револьверних головок.

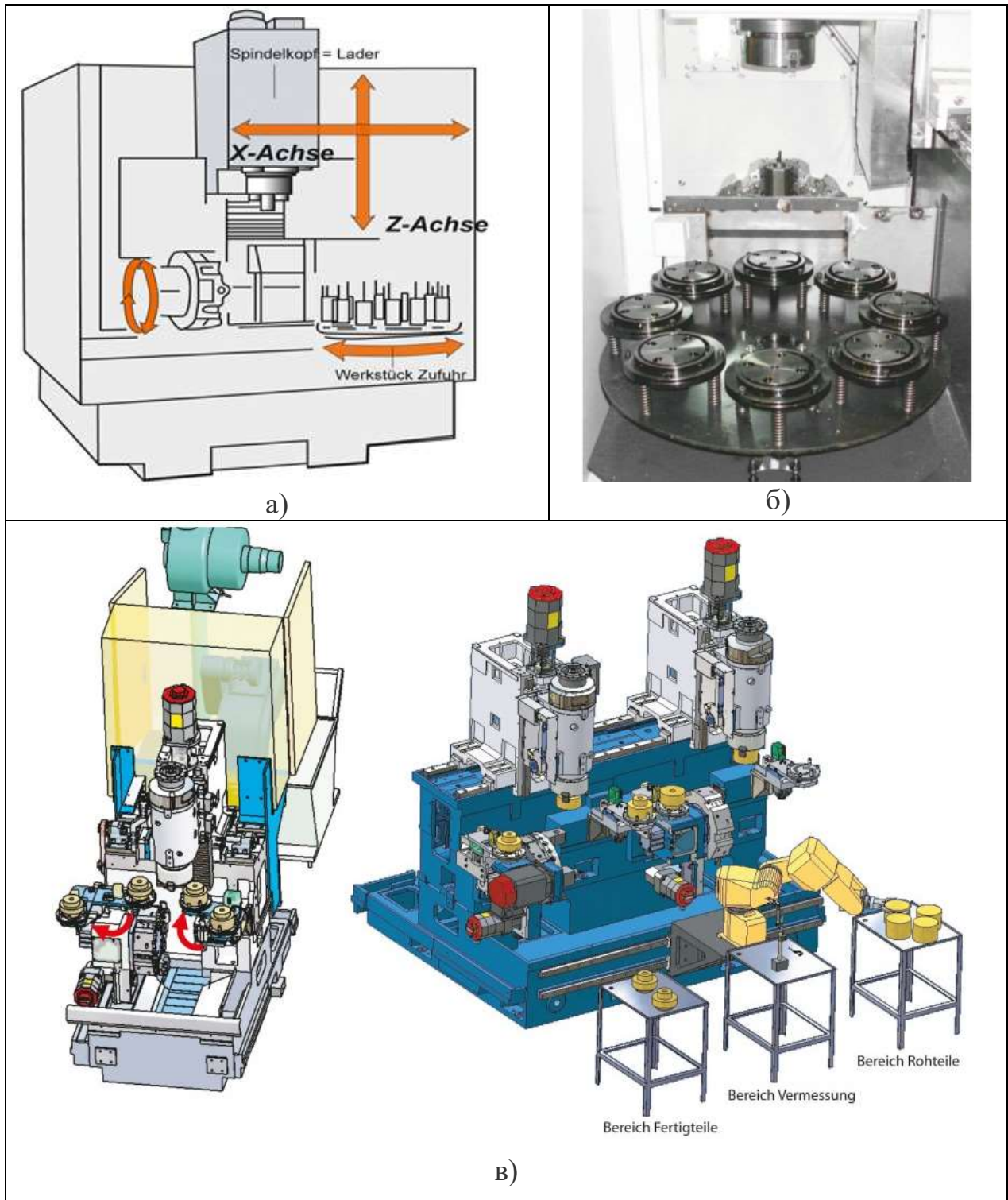


Рис. 8.34 Вертикальний токарний Pick-up верстат IVL 20 (25, 30):
а) – загальний вигляд верстата; б) – позиція завантаження заготовок (магазин за відсутності накопичувача; в) – 3-D моделі одношпindelного і двошпindelного гнучких виробничих модулів, які відрізняються організацією процесу АЗЗ (показані накопичувачі заготовок та готових деталей, область вимірювання, позиції завантаження й розвантаження).

Для зміни деталей, особливо при невеликій масі й простій формі, використовують ПР, що можуть обслуговувати кілька верстатів, або автооператор встановлений на верстаті, звичайно поблизу передньої бабки або на самій бабці, якщо мова йде про токарні верстати. Наприклад, каретка із двозахватним автооператором переміщається між верстатом і накопичувачем заготовок по траверсі. Накопичувач (наприклад, роликівий транспортер) доставляє заготовки до верстата й відводить оброблені деталі. Захвати автооператора змінні, час їхньої зміни не більше 10 хвилин.

Застосування роботів з верстатами з ЧПК (утворюють РТК) та іншими машинами для завантаження й розвантаження деталей дозволяє задати й здійснити оптимальний цикл роботи з машиною та обслуговувати декілька верстатів, що їх можна розташувати вздовж робота або навколо нього. Умовою безперервної роботи є безперебійна подача заготовок та відведення готових деталей. Якщо додатково використати 3D-систему технічного зору, то зникає потреба у точному позиціонуванні заготовок, які можуть лежати насипом у тарі (наприклад, у ящику). Така організація виробництва дозволяє підвищити продуктивність і реалізувати роботу в режимі 24/7. Обслуговування здійснюють кілька інженерів.

На рис.8.35 показано приклад використання промислового робота MITSUBISHI ELEKTRIC серії RV-F для завантаження-розвантаження деталей для токарної обробки.

Для РТК доволі зручно здійснювати попереднє встановлення орієнтованих заготовок у касетні магазини або на конвеєри, тощо.

Найбільшу кількість верстатів, які можуть обслуговуватися одним ПР, приблизно визначають із умови повного завантаження робота й максимального використання верстата, без урахування вимушених простоїв:

$$0 < \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_{Обі}} + 1 - n < 1,$$

T_i - час циклу робота i -го верстата;

$T_{Обі}$ - час обслуговування роботом i -го верстата;

n - число верстатів, що обслуговуються.

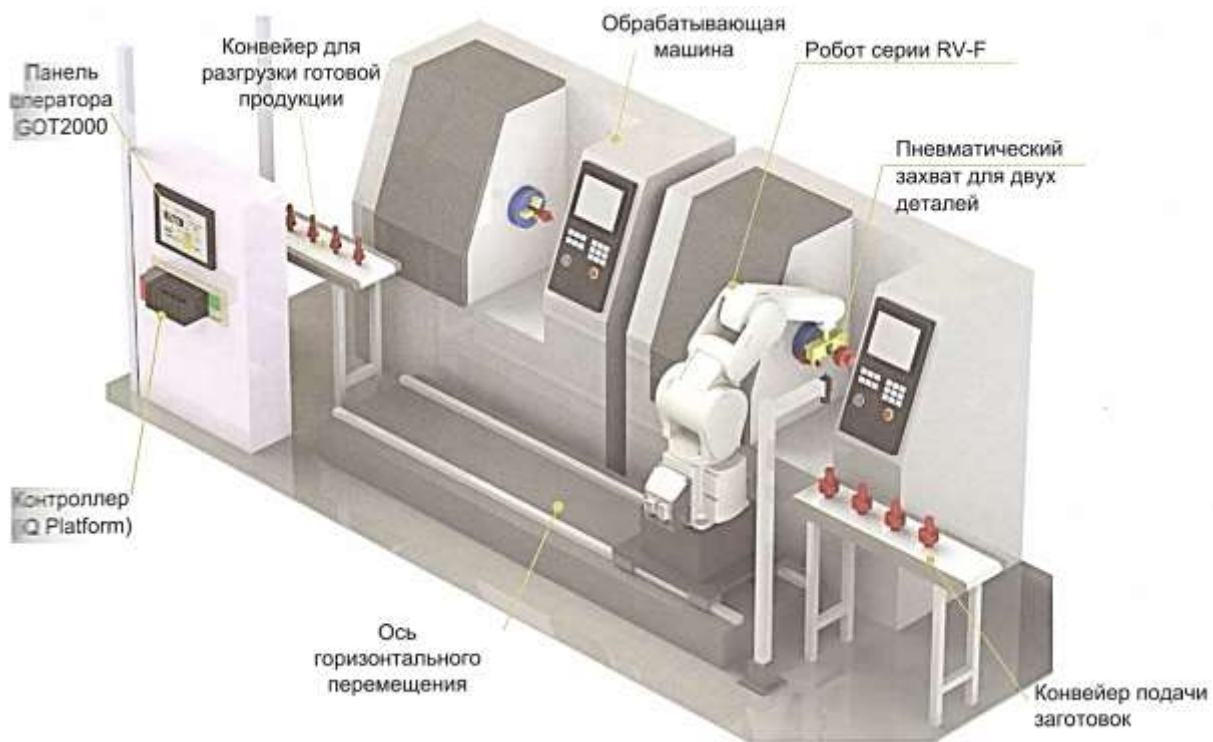


Рис. 8.35 Завантаження-розвантаження деталей промисловим роботом MITSUBISHI ELEKTRIC серії RV-F (www.ksk.ua).

Промислові роботи для завантаження заготовок для обробки на токарному верстаті використовують з багатомісними касетами, які встановлюють на столі біля верстата, обладнаного роботом.

Фірма Makino (Японія) випускає багатоцільовий верстат MC-60 з магазином на 6...8 або 12 палет, що розташований збоку від верстата, і автооператором для заміни палет. Аналогічним магазином оснащений багатоцільовий верстат 1115 фірми Yamazaki Machinery Work (Японія).

Питання для повторення та контролю знань

1. Типи транспортних підсистем: лінійна, маятникова та замкнута. Основні засоби транспортних підсистем
2. Транспортування заготовок між робочими позиціями або між верстатами
3. Безрейкові транспортні візки. Системи відстежування маршруту.

4. Системи самокерованих роботів як транспортний засіб: функції, область використання
5. Завантажувальні пристрої автоматизованих систем. Пристрої-супутники. Способи базування. Умови вибору.
6. Транспортні системи для заміни заготовок, які призначені для ГВС. Приклад модульного палетного накопичувача.
7. Столи-супутники для призматичних заготовок: конструктивна реалізація. Елементи для базування й закріплення самих палет і деталей на палеті.
8. Схеми завантажувальних пристроїв для заготовок, які найширше застосовуються. Система автоматичної зміни столів-супутників.
9. Накопичувачі заготовок та палети для обробки деталей типу тіл обертання на багатоінструментальних токарних чи шліфувальних верстатах.
10. Багатомісні завантажувальні пристрої. Пристрої автоматичної зміни заготовок з накопичувачами.
11. Переміщення деталей типу тіл обертання в ГВС: палети, тактові столи, технологія «Pick-up», циркулюючі системи, тощо

Список літератури

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для втузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк., 2004. – 415 с.
2. Анализ деталей по конструктивно-технологическим признакам – URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/stanki/mnogooperacionnye/analiz.shtml>
3. Аналіз світових трендів до 2030Е Український інститут майбутнього – URL: <https://strategy.uifuture.org/anal%D1%96z-sv%D1%96tovix-trend%D1%96v-do-2030e.html>.
4. Landscape Industry 4.0 in Ukraine: Аналітичний огляд інноваторів та стану інновацій в Україні в сфері Індустрії 4.0 – Київ: АППАУ, 2019 – 76 с.
5. Базилевич Д.С., Лісовол Є.В., Самсонкін В.М., Фельдман А.О., Юрчак О.В. Глосарій термінів напрямку „Індустрія 4.0“. – Київ, Інститут стратегічних досліджень ім.Голди Меїр, 2018. – 21 с.
6. Баранова И.В., Зайцев А.В. Реинжиниринг как инструмент модернизационной стратегии предприятия // Вопросы инновационной экономики, – 2016 – №6 (3) – doi: 10.18334/vines.6.3.36967 – URL: https://www.researchgate.net/publication/310590774_Reinziniring_kak_instrument_modernizacionnoj_strategii_predpriatia.
7. Баринов В.А. Реинжиниринг: сущность и методология – URL: https://www.cfin.ru/management/strategy/change/reengineering_methodology.shtml.
<http://www.elitarium.ru/reinzhiniring-biznes-process-kompanija-sotrudniki-rukovodstvo-izmeneniija/>
8. Бережливое производство. практическое руководство по внедрению: Вторая редакция / Управление производством. Выпуск №2, 162 с. 2019. – URL: http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/second-edition.html.
9. „LEAN. Бережливое производство. Практическое руководство“ деловой портал „Управление производством“, – URL: <http://www.up-pro.ru/shop/lean.html>.
10. Бобровников Б. Цифровая экономика в России: шаг вперед или два назад // CRN/RE («ИТ-бизнес») Регулярн выпуск №1 (454) 30 янв. 2017 г – URL: https://www.crn.ru/numbers/reg-numbers/detail_print.php?ID=116845&print=Y.

11. Брускин С.Н. Методы и инструменты продвинутой бизнес-аналитики для корпоративных информационно-аналитических систем в эпоху цифровой трансформации (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия)].
12. Верба І.І., Задерей О.М Сучасні затискні системи, як чинник похибок обробки різанням. // Збірник статей „Эффективные инструменты современных наук 2014“. Чехия, Прага, "Publishing House "Education and Science" s.r.o., 2014.
13. Верба І.І., Задерей О.М. Фрезерування в забезпеченні гнучкого виробництва. / Materials of the XI International scientific and practical conference, „Cutting-edge science“, – 2015. Volume 28. Technical sciences. Sheffield (England). Science and education LTD. P. 63-67. БД РИНЦ <http://elibrary.ru/item.asp?id=25692538>
14. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: основы компонетики // – М.: Машиностроение, 1978.
15. Вумек Дж. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс Вумек, Дэниел Джонс; Пер. с англ. – 7-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 472 с. – URL: <https://www.libfox.ru/510138-dzheyms-vumek-berezhlivoe-proizvodstvo.html>.
16. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. М.: Полиграфия, 2003. – 301 с.
17. Глосарій термінів Industry 4-0 – АППАУ, 2017 – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2017/07/06/%d0%b3%d0%bb%d0%be%d1%81%d0%b0%d1%80%d1%96%d0%b9-%d1%82%d0%b5%d1%80%d0%bc%d1%96%d0%bd%d1%96%d0%b2-%d0%b4%d0%bb%d1%8f-%d1%82%d0%bb%d1%83%d0%bc%d0%b0%d1%87%d0%b5%d0%bd%d0%bd%d1%8f-%d0%bb%d0%b0%d0%bd/>.
18. Дорожная карта цифровой трансформации железнодорожной отрасли Украины. Версия 1.0 (Roadmap_Railway-UA v1.pdf). 37 с. – URL: <https://mautic.appau.org.ua/asset/61:roadmaprailwayua-v1pdf>
19. [Друри К.](#) Управленческий и производственный учёт: учебный комплекс для студентов вузов. – М.: Юнити-Дана, 2012. – 1423 с.
20. Золотых Н.Ю. Машинное обучение и анализ данных (Machine Learning and Data Mining) – URL: <http://www.uic.unn.ru/~zny/ml/>.

21. Индустрия 4.0 на практике: готовые платформы решений Advantech - система OEE (Overall Equipment Effectiveness) и FEMS (Factory Energy Management System) – URL: <http://ua.automation.com/content/proxis-industry4>.
22. Ілляшенко О., Бабешко Є., Харченко В. Кібербезпека індустріальних систем. Стандарти серії ІЕС 62443 – Київ: АППАУ, 2019. – 60 с. – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/12/18/white-papers-on-technical-standards/>.
23. Індустрія 4.0 в машинобудуванні. Стан в Україні та перспективи розвитку: аналітичний звіт – АППАУ – 2018 – вип. №1 – 39 с. – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2018/10/18/%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82-%D1%96%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F-4-0-%D0%B2-%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BE/>.
24. Індустрія 4.0 та регіональні політики. Звіт АППАУ по заходам 1-го півріччя 2018 – К.: АППАУ, липень 2018. – 25 с.
25. Індустрія 4.0. Агенти змін. 5 ролей лідерів змін в розвитку української Індустрії 4.0 Аналітичний огляд АППАУ – Січень 2020. – 37 с. – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2020/01/14/agenti-zmin-novij-analitichnij-oglj/>.
26. Колка И.А. Кувшинский В.В. Многооперационные станки. – М.: Машиностроение, 1983 – 136 с.
27. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. –512 с.
28. Interpipe. Курс на Индустрию 4.0: Benchmarking Case Study – Interpipe/ АППАУ, 2019 – 24 с.
29. Лукина С.В. Управление стоимостью инновационного обновления парка средств оснащения обрабатывающих производств. Сборник докладов III конференции «МТИ-2010». – М., МГТУ „Станкин“, 2010, с. 137-142. – URL: <http://mirprom.ru/public/avtomatizaciya-kak-metod-effektivnogo-tehperevooruzheniya-predpriyatij.html>
30. Макаров В.М., Лукина С.В., Лебедь П.А. Имитационное моделирование в задачах технологического инжиниринга. // Ритм, № 2, 2012. С. 20-26.

31. [Маніфест платформи Industry4Ukraine](https://www.industry4ukraine.net/docs/e-manifesto.pdf) – URL:
<https://www.industry4ukraine.net/docs/e-manifesto.pdf>.
32. Маслов А.Р. Конструкции и эксплуатация прогрессивного инструмента. М.: Издательство „ИТО“, 2006. – 166 с.
33. Маслов А.Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента. / М.: Машиностроение, 2008. – 240 с.
34. Мехович С.А. Формирование региональных межотраслевых связей на основе концепции технологического реинжиниринга: монография / Мехович С.А., – Х: „Щедра садиба плюс“. – с. 352.
35. Мещерякова В.Б., Стародубов В.С. Металлорежущие станки с ЧПУ: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 336 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/5721.
36. Національна стратегія Індустрії 4.0. Проект для Кабінету міністрів України – 2018 – 49 с. – URL: <https://bitly.su/nClamSP>.
37. Олександр Юрчак. Бенчмаркінгові та конкурентні аналізи – машинобудування / – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2018/05/19/benchmarking-and-competitive-analysis/>.
38. Позиціонування інноваторів 4.0 – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/03/03/positioning-of-innovators-4-0-why-and-how/>.
39. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т3. Проектирование станочных систем / А.С.Проников и др. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э.Баумана: Машиностроение, 2000. – 584 с.
40. Пупена О., Клименко О., Шишак А., Міркевич Р.– Інтегрування систем керування підприємством та виробництвом. Сучасний стан та стандарти. (ІЕС 62264 / МЕК 62264) – Київ: АППАУ, 2019 – 52 с. – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/12/18/white-papers-on-technical-standards/>.
41. Пупена О., Клименко О., Шишак А., Міркевич Р.– Стандарт керування порційним виробництвом: сучасний стан та перспективи в Україні. (ІЕС 61512)– К.: АППАУ, 2019 – 55 с. – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/12/18/white-papers-on-technical-standards/>.
42. Рашка С. Р28 Python и машинное обучение / пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 418 с.: с ил.

43. Редченко К. Таргет-костинг – URL:
https://www.cfin.ru/ias/target_costing.shtml?printversion.
44. Соломенцев Ю.М. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей: Учебн. пособ. для втузов / Ю.М. Соломенцев, К. П. Жуков, Ю.А. Павлов и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1989. – 193 с.
45. Industry4Ukraine Спільна платформа нової промисловості (форум, червень 2019) – URL: <https://www.industry4ukraine.net/>.
46. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / – М.: ДМК Пресс, – URL:
<https://www.litres.ru/?art=22678129&lfrom=159481197>.
47. Discovery 4.0: формування експертної спільноти технічних експертів – лідерів в розвитку Індустрії 4.0 – URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/02/21/discovery-4-0/>.
48. Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы / под ред. д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 807 с.
49. Черняк Л. [Платформа Интернета вещей](#). // [Открытые системы. СУБД](#), №7, 2012. – URL: <http://www.osp.ru/os/2012/07/13017643/>.
50. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение [Текст]: докл. к XX Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 9-12 апр. 2019 г. / Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишнеvский, Л. М. Гохберг и др.; науч. ред. Л. М. Гохберг; Нац. исслед. ун-т „Высшая школа экономики“. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – 82 с.
51. Юрчак О., Степанець О., Некрашевич О. Виробничі КПЕ (ключові показники ефективності): актуальний стан та перспективи розвитку в Україні. Стандарт ISO 22400 – Київ: АППАУ, 2019 – 45 с. – URL:
<https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/12/18/white-papers-on-technical-standards/>.
52. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособие для студ. высш. учебн.заведений – М.: Изд. Центр „Академия“, 2008. – 176 с.

Додатки

Додаток 1.

Компоновки токарних багатоцільових верстатів.

Багатофункціональність є одним із основних критеріїв до сучасних верстатів (можливість одночасної багатозадачної обробки). Тому важливим питанням є забезпечення можливості здійснювати контурне фрезерування, позацентрове свердління й фрезерування, прорізування різного типу канавок, зокрема й фасонних на верстатах токарного типу. Найвірогідніші шляхи для досягнення цієї цілі – застосування незалежних револьверних головок з обертовими інструментами або фрезерного шпинделя, поворотного чи з поворотною інструментальною головкою. Технологічні можливості визначатимуться кількістю та просторовим розташуванням РГ, кількістю й швидкісними можливостями приводних позицій РГ. Додаткове розширення технологічних можливостей надає використання кількох (як правило, двох) шпинделів, функції яких дублюються або є різними. Сучасні токарні центри часто мають можливість виконувати операції фрезерування за рахунок наявності фрезерного шпинделя.

Токарно-фрезерні центри, які випускаються багатьма фірмами, порівняно з токарними й фрезерними центрами мають певні переваги (скорочення часу циклу обробки, підвищення точності й гнучкості, значно ширші технологічні можливості), але й певні недоліки: висока вартість і складність проектування технологічного процесу через необхідність враховувати значну кількість керованих осей, зокрема, при розробці керуючих програм. Вибір способу оброблення на багатоцільовому обладнанні також є неоднозначним.

На базі потреб для оброблення далі обирається необхідна компоновка та конструкція верстату. При об'єднанні операцій точіння та фрезерування на токарному верстаті його компоновка може значно змінюватись.



Рис. Д1.1 Токарні обробні центри Microcut Challenger

Характерні приклади

Токарні обробні центри Microcut Challenger (виробник BUFFALO MACHINERY CO., LTD, Тайвань, [www.bpk-spb.ru] мод. LT-42/52/65 призначені для обробки деталей розміром $\varnothing 210 \times 460$ мм. Потужність двигуна головного руху 11 кВт постійно та 15 кВт – 30 хв. Мають вісь С (контроль кутового положення шпинделя) та фрезерну функцію (одну РГ), які значно розширюють технологічні можливості верстата й дозво-

ляють виконувати фрезерування, осьове свердління й розточування, нарізування різьби, тощо. Верстати інших серій мають додаткову ось Y з переміщенням ± 50 , що дозволяє виконувати фрезерування різьби, об'ємне фрезерування поверхонь.

Верстат, наприклад, має частоту обертання 3500 об/хв., контршпиндель – 6000 об/хв, 12-ти позиційна РГ – швидкість приводного інструмента 4000/5000 об/хв.

Час індексації між сусідніми позиціями – 0,79 с.,

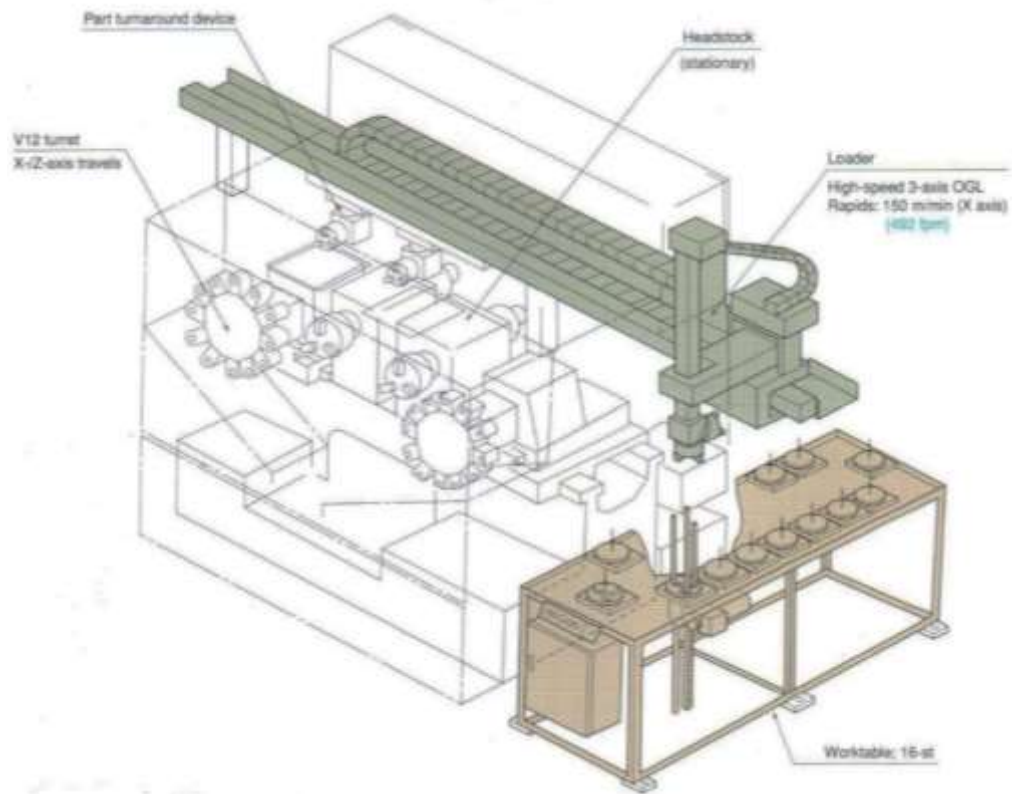


Рис. Д1.2 Верстат фірми Advanced Automation
[<https://www.advanced-automationinc.com>]

Має дві дванадцятипозиційні револьверні головки та два шпинделя із двигунами потужністю 7,5 кВт та частотою обертання від 50 до 4,500 об/хв. Максимальний діаметр оброблюваної деталі складає 150 мм.



Рис. Д1.3 Токарно-фрезерний верстат з ЧПК серії ТТ (TAKISAWA, [www.deg.ru])

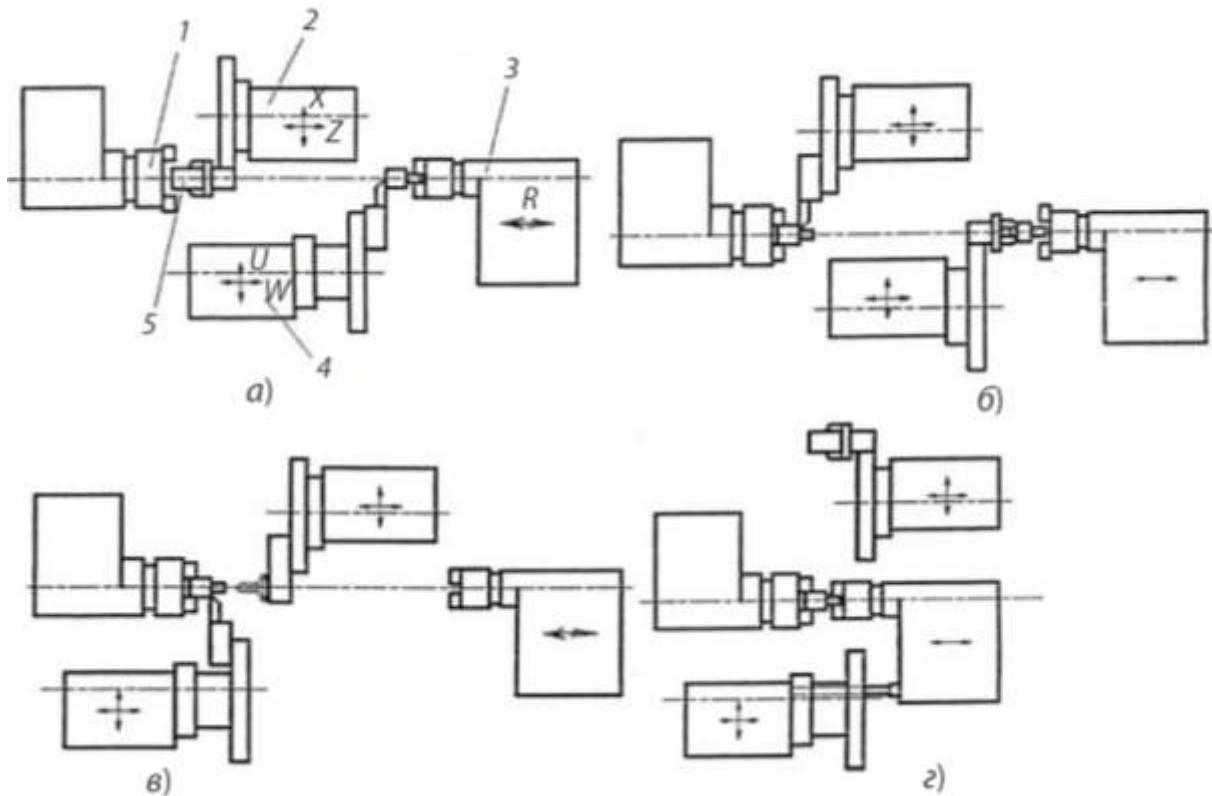


Рис. Д1.4 Послідовність обробки заготовки на верстаті з двома револьверними головками і протишпинделем: а – установка заготовки в шпиндель верстата; б – обточування заготовки з револьверної головки 2; в – підрізування з револьверної головки 4; г – перехоплення заготовки в протишпиндель 3 [1].

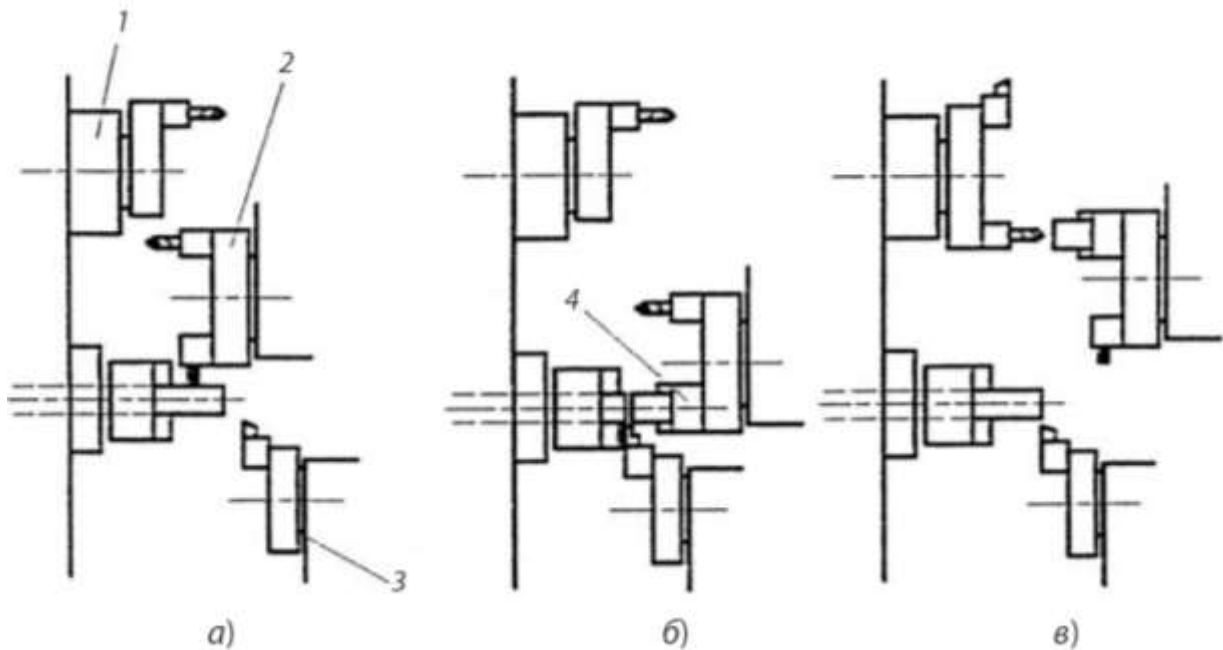


Рис. Д1.5 Послідовність обробки заготовки на верстаті з трьома револьверними головками: а) – обточування заготовки з револьверної головки 2; б) – затиск заготовки в револьверної голівці 4 і її відрізка з револьверної головки 3; в) – обробка заготовки осьовим інструментом з револьверної головки 1 [1].

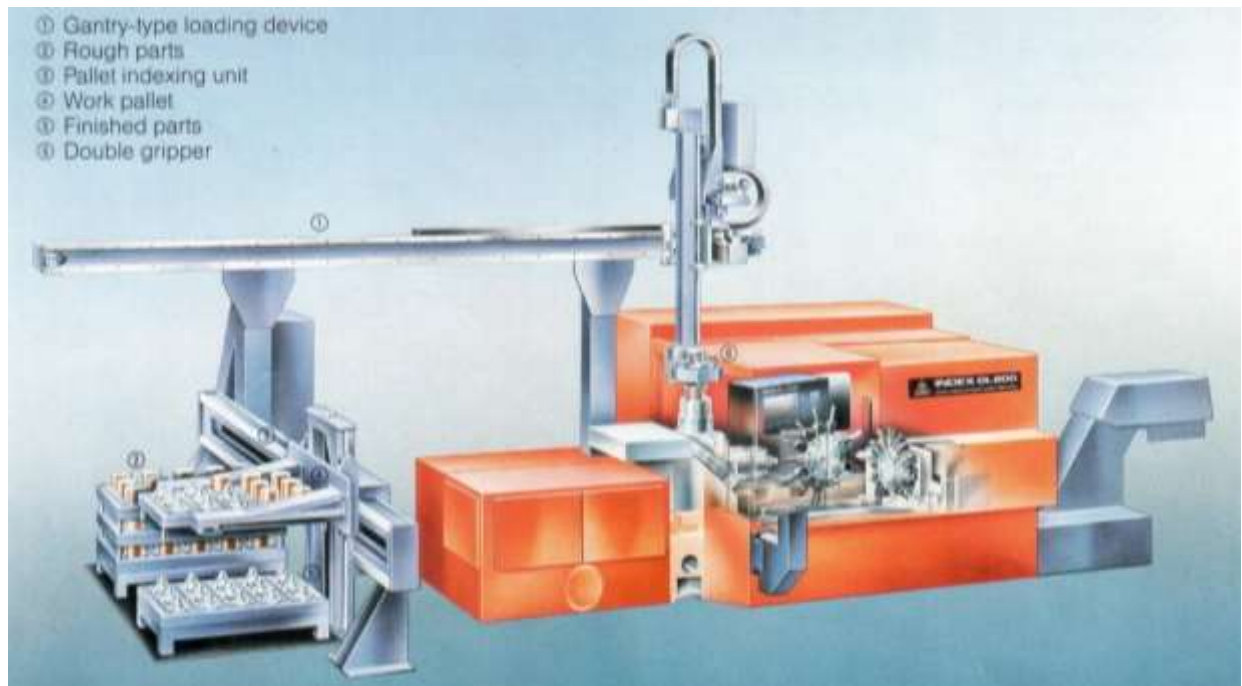


Рис. Д1.6 Верстат Index GL200 [<https://ru.index-traub.com/ru/>]

Має дві дванадцятипозиційні головки що розміщуються перпендикулярно одна до одної. Це дозволяє також оброблювати осьові отвори у заготовках розміром від 20 до 200 мм діаметром. Також ця версія верстата спроектована разом з хватом, що переміщує заготовки та готові деталі спеціально для автоматичного безлюдного виробництва

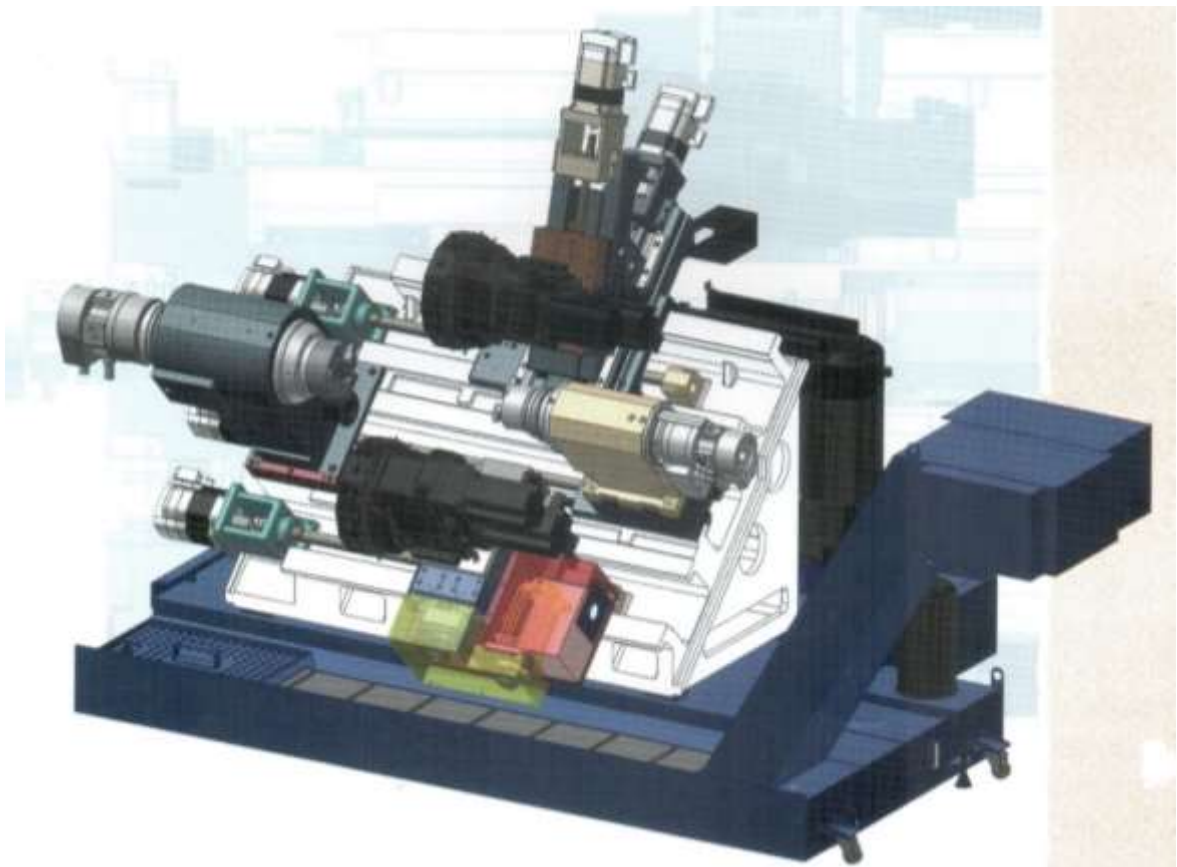


Рис. Д1.7 Двошпindelний верстат мод. ТТС 300

Оснащений двома шпинделями. Головний шпиндель має 10 кВт потужності та 6000 об/хв; протишпиндель у свою чергу – 6 кВт потужності й 7000 об/хв. Обробний центр може оброблювати заготовки до 400 мм.

Револьверні головки оснащені приводними інструментами з потужністю двигуна 2,2 й 2,6 кВт та зі швидкістю обертів 6000 об/хв. Кожна головка має місце для дванадцяти інструментів.

Точна синхронізація обертань шпинделя й контршпинделя та переміщення контршпинделя строго співвісно до осі шпинделя дозволяє передати деталь з патрону шпинделя до патрону контршпинделя для обробки з протилежного боку без зупинки.

Верстати подібного типу передбачають можливість виконання комплексної обробки, а саме:

- точіння зовнішнього та внутрішнього діаметрів з можливістю обрати різний інструмент для чорної й чистової обробки у межах одного циклу;
- контурна токарна та фрезерна обробка;
- свердління й глибоке свердління (центрування, розточування, нарізування різьї мітчиком тощо);
- прорізування канавок будь-якої форми канавковим інструментом або контурною обробкою;
- точне виконання шпонкових пазів, позацентрове свердління, фрезерування, фрезерування різьї завдяки переміщенням за віссю Y;
- нарізування різьї будь-якого профілю, з будь-якою кількістю проходів інструменту
- обробка фрезеруванням за подачею або проти карманів, порожнин з будь-якими виступами.

Представлені типи обробок, котрі може виконувати токарний обробний центр.

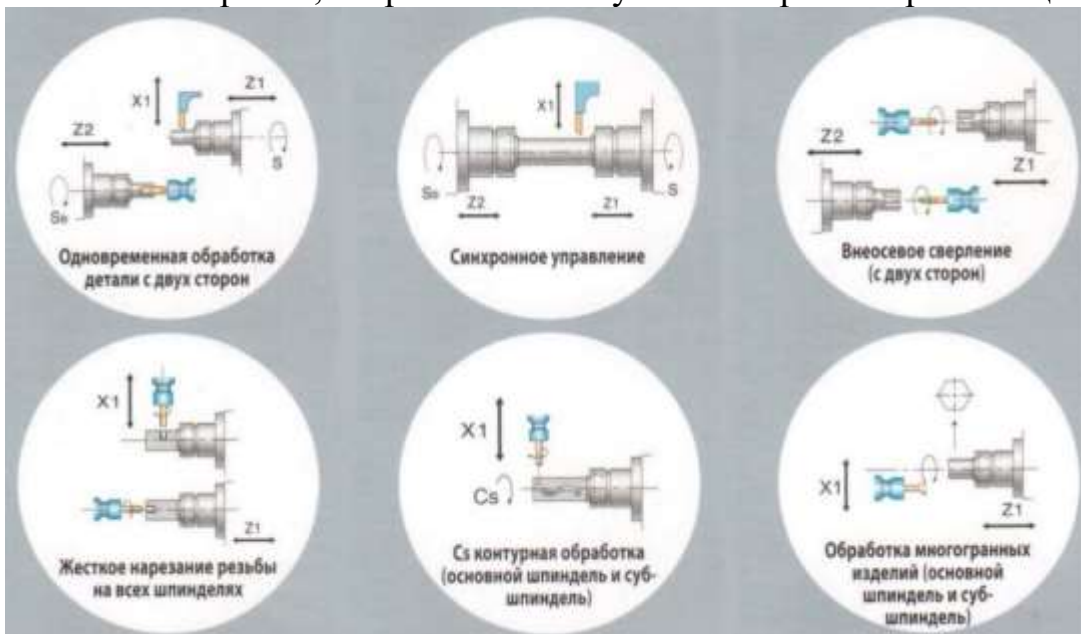
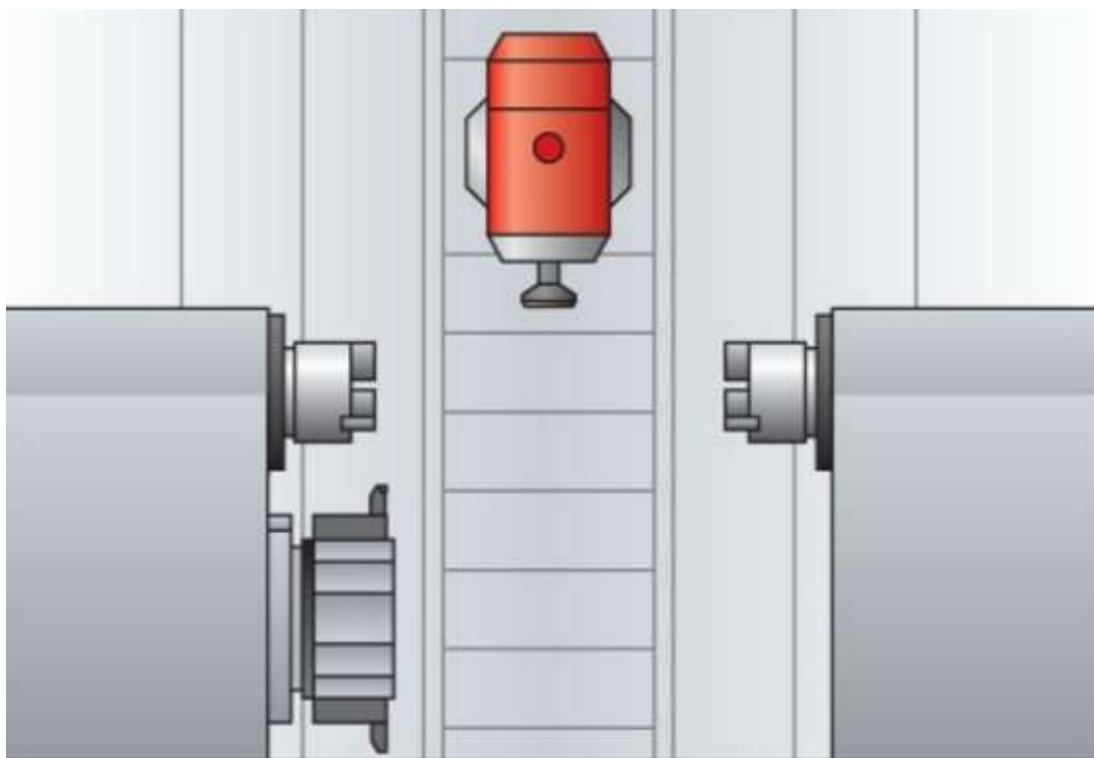


Рис. Д1.8 Типы обробок, які виконуються на токарних обробних центрах



Рис. Д1.9 Багатофункціональні фрезерні й фрезерно-токарні центри з ЧПК (STAMA, Італія) [www.deg.ru]

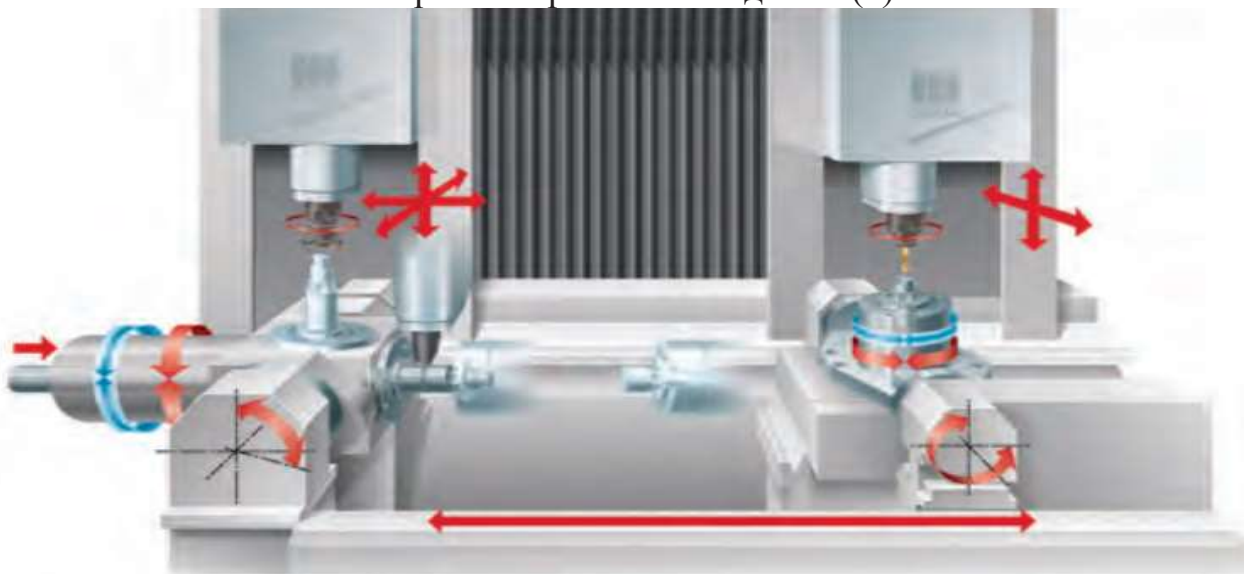


а)

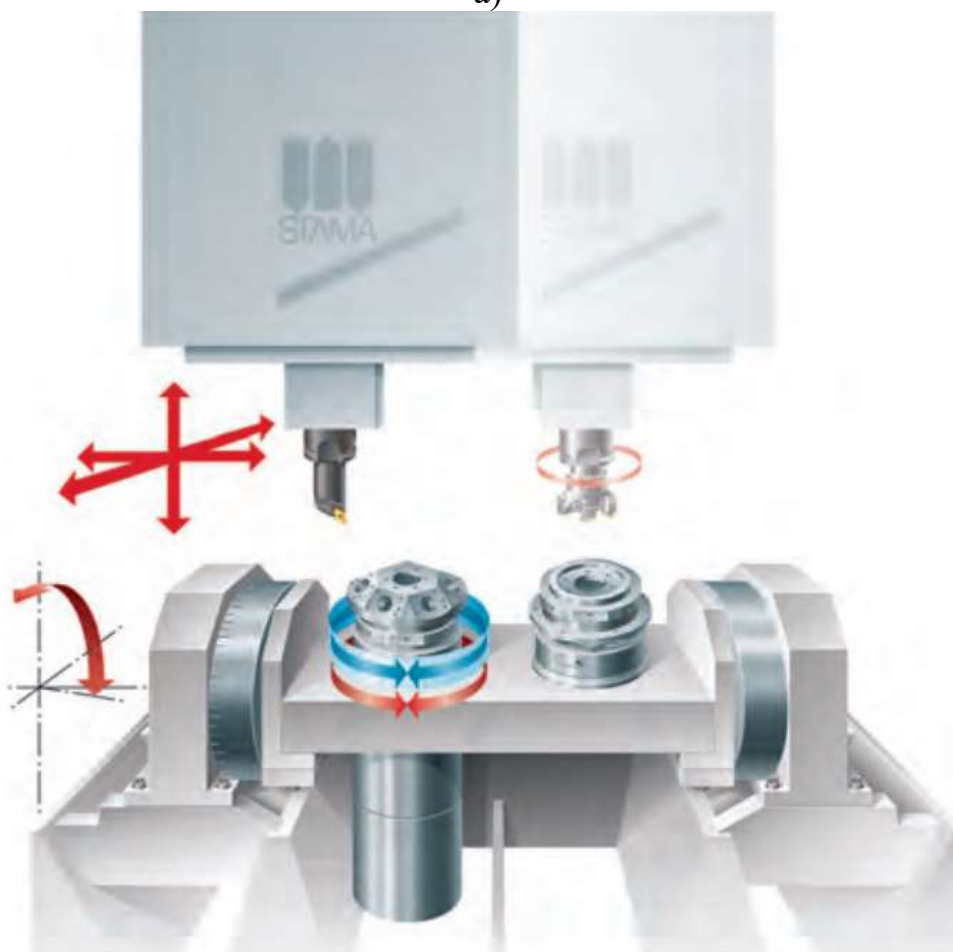


б)

Рис. Д1.10 Компоновка верстата серії NT (Mori Seiki) з торцевою фрезою (а)
та зразок оброблюваної деталі (б)



а)

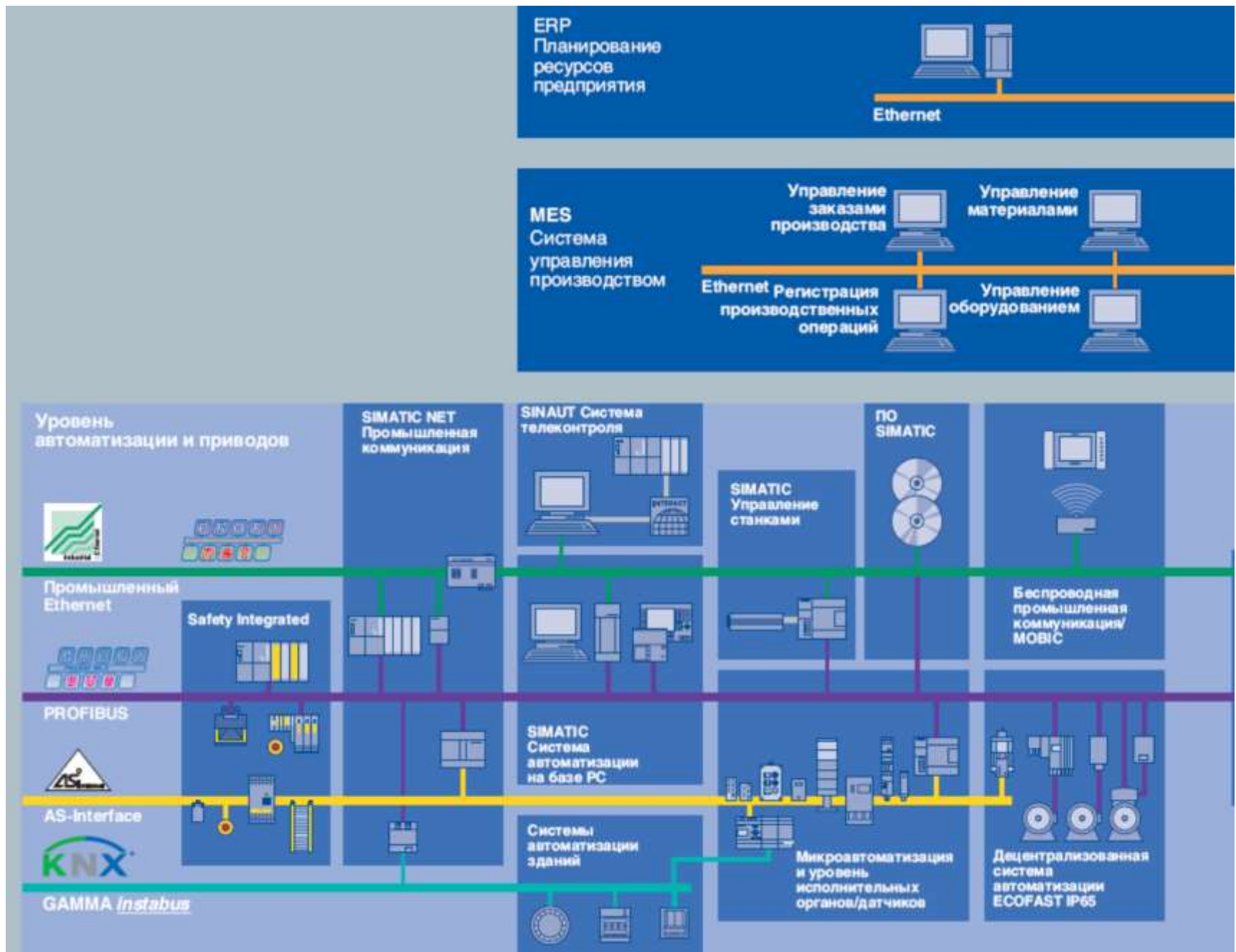


б)

Рис. Д1.11 Фрезерно-токарні центри, призначені для комплексної обробки:
а) – прутка або штучної заготовки з використанням контршпинделя;
б) – заготовки у патроні чи спеціальному пристосуванні [www.deg.ru]

Додаток 2

Рис. Д2.1
Схема системи
керування
підприємством,
запропонована
фірмою
SIEMENS



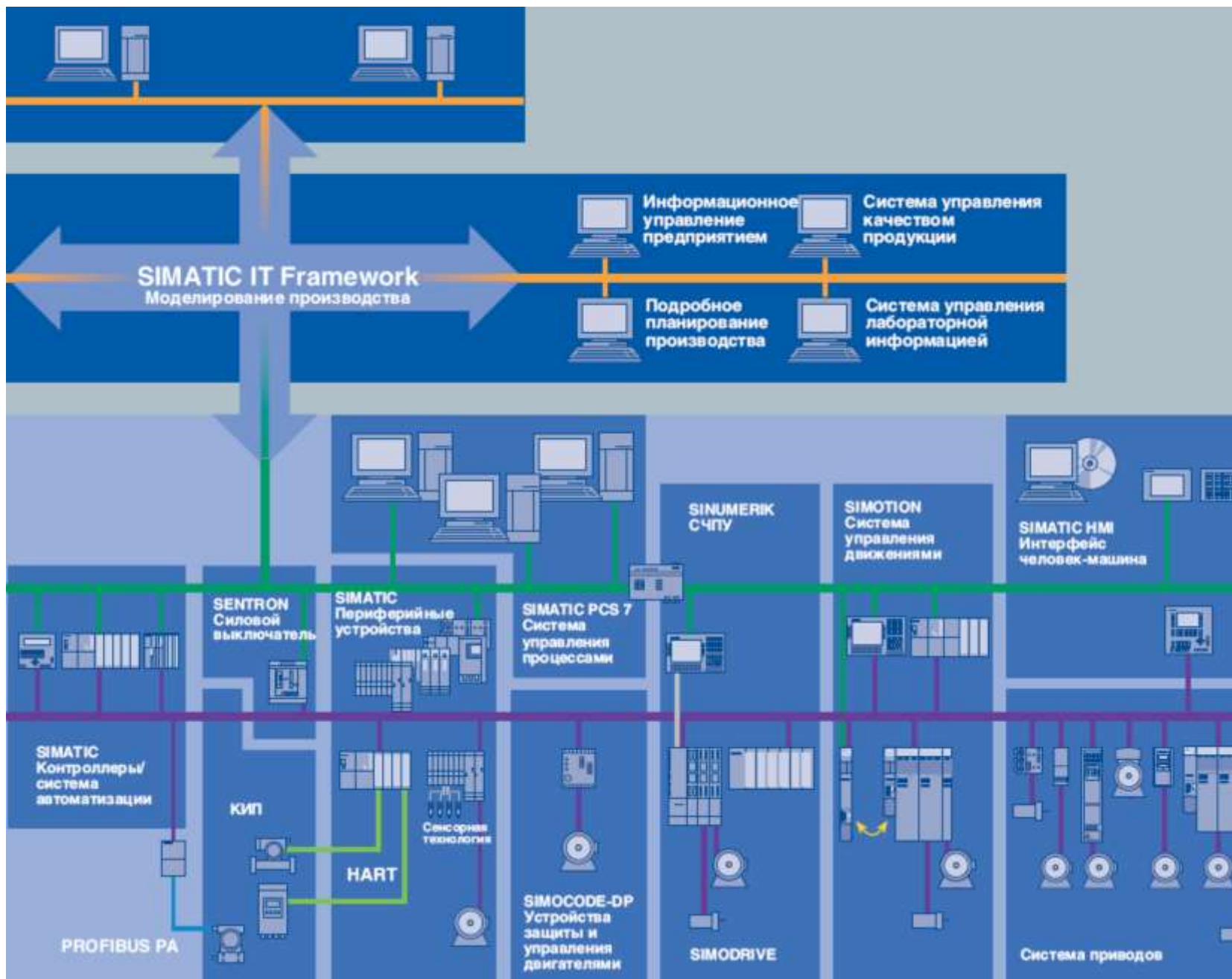


Рис. Д2.1
(продовження)
Схема системи
керування
підприємством,
запропонована
фірмою SIEMENS