

***Ю. В. ТКАЧОВ***

***Є. О. ДЖУР***

***Є. Ю. НІКОЛЕНКО***

***ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ  
ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ  
МАШИНОБУДІВНИХ ЦЕХІВ***

***2006***

Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет

---

**Ю. В. ТКАЧОВ, Є. О. ДЖУР, Є. Ю. НИКОЛЕНКО**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ  
ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ  
МАШИНОБУДІВНИХ ЦЕХІВ**

*Ухвалено вченою радою університету як навчальний посібник*

Дніпропетровськ  
РВВ ДНУ  
2006

**Рецензенти:**

засл. діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, проф.,  
зав. кафедрою технології машинобудування Національної металургійної  
академії України **О. Є. Проволоцький**;  
д-р техн. наук, проф., зав. відділом Інституту технічної механіки НАН  
України та Національного космічного агентства України **В. О. Шувалов**;  
засл. машинобудівник України, голов. технолог ДП «ВО Південний  
машинобудівний завод ім. О. М. Макарова» **В. О. Туров**

Т 48 **Ткачов Ю. В.** Технологічні основи вибору обладнання ма-  
шинобудівних цехів: Навч. посіб. /Ю. В. Ткачов, Є. О. Джур,  
Є. Ю. Ніколенко.—Д.: РВВ ДНУ, 2006.—136 с.

Наданий матеріал про структуру сучасного машинобудівного виробництва в цілому, будову його окремих підсистем, особливості підходу до створення ділянок і цехів гнучкого автоматизованого виробництва, які оснащені верстатами з різним рівнем автоматизації та продуктивності. У посібнику викладені принципи вибору устаткування при розробці технологічних процесів виготовлення виробів та проектуванні цехів і ділянок, призначених для реалізації цих процесів, при відомій виробничій програмі й заданому рівні якості й економічної ефективності з урахуванням особливостей різних типів виробництва.

Для студентів ДНУ, які навчаються за напрямками «Авіаційна й ракетно-космічна техніка», «Інженерна механіка», може бути використаний аспірантами, а також інженерами й науково-технічними працівниками в галузі машинобудування. Навчальний посібник укладено відповідно до «Методичних рекомендацій щодо структури, змісту та обсягів підручників і навчальних посібників для вищих навчальних закладів» (лист №1/9-398 від 01.08.2005 р.).

© Ткачов Ю. В., Джур Є. О., Ніколенко Є. Ю., 2006

## ВСТУП

У наш час у галузі вітчизняного загального машинобудування набули широкого використання автоматизовані потокові лінії, що поєднують комплекси автоматично працюючих агрегатних верстатів і верстатів-автоматів. Недоліком таких комплексів є їх вузька спеціалізація на виготовлення певного виду виробів без можливості швидкого переналадження. У зв'язку з цим подібні засоби можна використовувати тільки там, де виробництво носить масовий, стійкий характер. З метою вирішення протиріч, зумовлених, з одного боку, дрібносерійністю об'єктів виробництва, а з іншого—їх великою номенклатурою та обсягами виготовлення, розроблені й впроваджені методи групової технології. Проте у промислово розвинених країнах великосерійне й масове виробництво становить лише 20%, а одиничне, дрібносерійне й серійне—80%. Така структура виробництва пояснюється мобільною кон'юнктурою ринку збуту та прагненням до безперервного вдосконалення як технологічних процесів виготовлення, так і характеристик вироблюваної продукції з метою забезпечення її конкурентоспроможності.

Перспективним кроком на шляху автоматизації сучасного виробництва є введення в експлуатацію програмованого, і за рахунок цього гнучкого та швидко переналаджуваного устаткування, тобто верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ), у тому числі обробних центрів, промислових роботів тощо. Ще більшу гнучкість мають системи, безпосередньо керовані комп'ютером. Подібні системи в різних джерелах називають по-різному: гнучка автоматизація; гнучкий виробничий комплекс; гнучка виробнича система (ГВС); гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ). Узвичаєними назвами в технічній російськомовній літературі є останні дві.

**Головним завданням гнучкої автоматизації** в єдиному циклі виробництва є ефективне використання інтелектуальної праці в поєднанні з роботизацією й комп'ютеризацією керування. У зв'язку з цим у сучасному верстатобудуванні велику увагу приділяють удосконаленню конструкцій нових моделей верстатів і верстатних комплексів із ЧПУ, багатоопераційних верстатів типу «обробний центр», важких верстатів, верстатів високої й особливо високої точності, гнучких виробничих систем, автоматизованих і роботизованих комплексів та ліній. **Основні напрямки розвитку сучасного верстатобудування** такі: підвищення продуктивності та якості обробки; зниження витрат на обробку; по-

ліпшення умов праці; інтелектуалізація виробництва; розширення технологічних можливостей устаткування. Ці напрямки сприяють рішенню низки техніко-економічних і соціальних питань шляхом максимальної автоматизації виробництва, розвитку нових технічних систем підготовки виробництва, а також широкого впровадження комплексної автоматизованої системи наукових досліджень.

## Частина I ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ПИТАННЯ ПОБУДОВИ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

### Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ШЛЯХИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

**Виробничий процес** у машинобудуванні—це сукупність дій, які необхідні для випуску готових виробів із заданими при їх проектуванні експлуатаційними характеристиками й рівнем якості. Основою виробничого процесу є **технологічний процес** виготовлення виробів, під час якого відбувається зміна якісного стану об'єкта виробництва. Усі інші процеси, що входять до складу виробничого процесу, є допоміжними. Вони забезпечують його безперебійне виконання.

Виробничий процес, досить умовно, можна поділити на такі **етапи** (процеси): одержання та складування заготовок і напівфабрикатів; транспортування заготовок до робочих позицій; механічна та інша розмірна обробка заготовок і формоутворення; переміщення заготовок між робочими позиціями обробки; зберігання деталей на складах; складання вузлів і агрегатів; загальне складання виробів; технічний контроль якості на всіх етапах виробництва; регулювання й випробування; нанесення захисних і декоративних покриттів; оздоблення; упакування; відправлення.

Різні етапи виробничого процесу на машинобудівному підприємстві можуть виконуватись в окремих цехах. У цьому разі виробничий процес виготовлення продукції поділяють на певні частини та називають відповідно до етапів, наприклад, виробничим процесом заготівельного виробництва, виробничим процесом механоскладального виробництва тощо. Якщо виробничий процес здійснюється в одному цеху, тоді його називають **комплексним виробництвом**.

Виробничі процеси з погляду їх організації можуть бути потоковими й непотоковими. Якщо заготовки, деталі чи вироби в процесі виготовлення переміщуються з постійним тактом у розглядуваний проміжок часу, то виробничий процес називають **потокowym**. Такий рух до-

сягається шляхом вирівнювання часу виконання операцій відповідно до такту виробництва. Наприклад, це означає, що нова заготовка, яка надійшла до першої операції обробки, зараз же після її завершення передається на другу операцію, де в цей час уже завершилась обробка попередньої заготовки, і так до останньої операції. У цьому разі час простою заготовки може дорівнювати або бути кратним такту виробництва. Якщо процес виготовлення характеризується різною тривалістю операцій та, як наслідок, різним часом простою заготовок, деталей або виробів між операціями, тобто їх рух не є синхронізованим у розглядуваній проміжок часу, то такий виробничий процес називають **непотоковим**. Рух заготовок, напівфабрикатів або виробів у процесі виробництва може здійснюватись поштучно чи партіями. **Партією** зазвичай називають визначену кількість заготовок, напівфабрикатів або виробів, які одночасно надходять на робочу позицію (місце).

Будь-яке виробництво можна охарактеризувати **виробничою потужністю**, тобто максимально можливим обсягом випуску виробів установленої номенклатури й кількості, який може бути здійснений за розглядуваний період часу при заданому режимі роботи. Зазвичай розрізняють проектну та дійсну потужність виробництва. **Проектна потужність**—це задана проектом будівництва чи реконструкції виробництва визначеними в проекті засобами, кадровими ресурсами, а також формами його організації. **Дійсна потужність** виробництва не є постійною й залежить від рівня технічної підготовки робітників, ефективності використання основних і оборотних фондів, змінності роботи, рівня механізації й автоматизації, ступеня досконалості застосовуваних технологій та інших факторів.

Певний виробничий процес, окрім потужності, додатково характеризують наведені нижче критерії. **Обсяг випуску**—це кількість виробів, які мають бути виготовлені за певний проміжок часу—рік, квартал, місяць або тиждень. **Програма випуску**—це сукупність виробів установленої номенклатури, які виготовляються в заданому обсязі протягом року. **Виробничий цикл**—це календарний час виготовлення виробу від початку виробничого процесу до його закінчення.

Під **автоматизацією виробництва** розуміють комплекс заходів, спрямованих, по-перше, на створення автоматично діючих і високопродуктивних засобів виробництва, по-друге, на розробку таких технологічних процесів, які звільняють робітників від будь-яких дій, пов'язаних із безпосереднім виконанням технологічного процесу та оперативним

керуванням ним. Тобто автоматизація—це самокерування.

**Рівень автоматизації** виробництва може бути частковим або комплексним (повним). Зазвичай для комплексної автоматизації необхідно створювати автоматичні лінії, цехи чи заводи. Проте іноді комплексна автоматизація може бути виконана для повного циклу обробки певної деталі (від початкових матеріалів до готового виробу) та здійснена на одному верстаті. Прикладом є технологічний процес виготовлення гвинта зі шліцом із прутка на одношпindelному токарно-револьверному автоматі при наявності шліцефрезерного пристрою.

Автоматизацію обробки матеріалів різанням умовно можна розділити на дві **форми**—жорстку та гнучку.

Найважливішими показниками під час визначення шляхів автоматизації виробництва є характеристики устаткування, зокрема верстатів. Ключовою характеристикою є ступінь універсальності обладнання, від якого залежать досяжний рівень, форми й засоби автоматизації.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Що розуміють під терміном «виробничий процес»?
2. З яких процесів складається виробничий процес, який з цих процесів є основним?
3. Що відбувається під час реалізації технологічного процесу?
4. Якими можуть бути форми організації виробничих процесів?
5. Що розуміють під терміном «виробнича потужність»?
7. Якими основними критеріями характеризують виробничий процес?
8. На що спрямовані заходи з автоматизації виробництва?
9. За якими найважливішими критеріями можна визначити досяжний рівень автоматизації?
10. Які форми автоматизації є найбільш застосовуваними?

## Розділ 2

### ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ У СУЧАСНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Сучасний етап розвитку машинобудівного комплексу, й зокрема верстатобудування, характеризується такими тенденціями:

—широким застосуванням концентрації операцій, яке дозволяє знизити їх трудомісткість та підвищити продуктивність обробки;

—упровадженням ресурсозберігаючих, маловідходних і безвідходних технологій, які підвищують коефіцієнт використання матеріалів і скорочують витрати енергоносіїв;

—сполучанням на одному устаткуванні декількох методів обробки з метою зменшення кількості технологічного обладнання й зниження трудомісткості, наприклад, розрізання та пластичного деформування, зубофрезерування й зубошліфування тощо;

—агрегатно-модульним принципом побудови верстатів та іншого технологічного устаткування, який дозволяє збільшити надійність і ремонтпридатність обладнання в цілому, підвищити ступінь стандартизації й уніфікації окремих модулів, а також скоротити терміни та видатки на їх проектування й виробництво;

—прагненням до безлюдної технології з метою підвищення коефіцієнтів змінності й використання обладнання за рахунок гнучкої комплексної автоматизації, широкої роботизації та застосування діагностичних систем;

—мініатюризацією систем управління й можливістю нарощування керуючих координат систем ЧПУ;

—застосуванням верстатів із ЧПУ навіть у великосерійному і масовому багатонаменклатурному виробництві поряд із високопродуктивними верстатами-автоматами;

—упровадженням прецизійної обробки (для високоточних деталей типу дзеркальних поверхонь телескопів, магнітних та оптичних дисків пам'яті, елементів інтегральних схем тощо), яка сприяє підвищенню якості й точності обробки та дозволяє знизити матеріаломісткість устаткування завдяки скороченню кінематичних ланцюгів і заміні механічних ланцюгів електричними;

Зазначені тенденції визначають завдання пошуку нових технологічних рішень, заміни дробової технології обробки на окремих однопо-

зиційних й одноопераційних верстатах груповою технологією обробки на багатопозиційних та багатоопераційних верстатах і автоматичних верстатних системах шляхом сполучання операцій. Актуальність заощадження матеріальних й енергетичних ресурсів при виробництві матеріаломісткої продукції, яка вимагає залучення великих сировинних, паливно-енергетичних та інших ресурсів, зумовлює необхідність застосування заготовок, що наближаються за формою до готових деталей. Це в багатьох випадках стимулює розвиток технологій заготівельного виробництва й заміни обробки різанням іншими маловідходними методами. Об'єднання декількох методів обробки вимагає змін структури, компонування й схемних рішень технологічного устаткування. Це спостерігається в еволюції окремих верстатів, систем ЧПУ, промислових роботів та іншого обладнання. Нинішній рівень технології виробництва інтегральних мікросхем визначає тенденцію комп'ютеризації систем ЧПУ, тобто їх побудову за архітектурою обчислювальних машин, реалізацію функцій керування обробкою засобами програмного забезпечення.

Прагнення до безлюдної технології особливо чітко проглядається в тому, що на зміну механізації й жорсткій автоматизації приходять комп'ютеризація управління й роботизація, які дозволяють істотно скоротити частку фізичної праці та перевести її на інтелектуальний рівень. Особливу роль у цьому відіграють ГВС, оснащені найсучаснішим технологічним устаткуванням, обчислювальною технікою й робототехнічними системами. Модульна, багаторівнева **гнучка виробнича система складається** з трьох основних компонентів:

—обробних і складальних ділянок, оснащених верстатами з ЧПУ, верстатними модулями, роботами-маніпуляторами, транспортними засобами, автоматизованими складськими комплексами тощо;

—системи автоматизованого або автоматичного керування на основі засобів обчислювальної техніки, адаптивних комутаційних приладів і мереж зв'язку;

—автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва, яка містить номенклатуру деталей та інструмента, маршрути й режими обробки деталей.

Іншими словами, ГВС складається із системи керування й виконавчої системи, що містить технологічну, транспортну та складську системи. Зазначені компоненти об'єднані єдиною системою планування й керування виробництвом із керуючим комп'ютером, оснащеним базою даних, пристроями та приладами автоматизованого контролю, систе-

мою діагностики, підготовки й обробки інформації. ГВС функціонує на принципах програмного керування й групової орієнтації виробництва. На етапі впровадження ГВС може бути автоматизованою, тобто технологічний процес містить операції, виконувані за участю людини.

**Ефективність ГВС** залежить від застосовуваного устаткування, причому найбільш ефективними є багатопозиційні обробні центри з високим рівнем інтеграції операцій. Уведення в експлуатацію таких систем дозволяє в 5 разів зменшити трудомісткість обробки, у 3 рази скоротити обслуговуючий персонал, майже у 2 рази зменшити вартість і терміни підготовки виробництва, у 2–4 рази підвищити коефіцієнт використання обладнання.

Аналіз структури й характеристик існуючих гнучких виробничих систем дозволяє зробити деякі висновки: керування транспортними системами та роботою основного устаткування здійснюється одним чи декількома окремими комп'ютерами; кількість верстатів становить від 2 до 50, проте 80% ГВС складається з 4–5 верстатів, 15% мають 8–10 верстатів, а 30–50 верстатів нараховують лише 2–3% систем; більший економічний ефект від використання ГВС досягається при виготовленні складних корпусних деталей, порівняно з обробкою менш складних, наприклад деталей типу тіл обертання; ступінь гнучкості застосовуваних систем різний, найменш гнучкі орієнтовані на номенклатуру в межах 4–10 найменувань, більш гнучкі переналагоджуються для обробки 50–200 деталей; нормативний термін окупності ГВС становить 2–4,5 роки.

**Основні переваги ГВС** порівняно з ділянками, оснащеними універсальними верстатами такі:

- зменшення капітальних вкладень, площ і чисельності обслуговуючого персоналу, скорочення видатків на заробітну плату, насамперед за рахунок тримісного (цілодобового) режиму роботи, при цьому дві зміни знаходяться практично під постійним спостереженням оператора;

- значне збільшення продуктивності виробництва в процесі виготовлення одиничної й дрібносерійної продукції завдяки більш високому коефіцієнту завантаження обладнання;

- зменшення кількості транспортувань і точок управління виробництвом, забезпечення прямого, більш раціонального потоку матеріалу;

- скорочення часу виробничого циклу в кілька разів;

- зменшення обсягу незавершеного виробництва, тобто продукції, що знаходиться у виробництві, та запасів деталей на складах;

- швидке реагування на зміну вимог замовників виробів;

- значне підвищення ефективності управління, рівня якості продукції та стабільності виробничого процесу за рахунок усунення помилок і порушень технологічних режимів, неминучих при ручній праці, тобто виключення «людського фактора»;

- поліпшення умов роботи персоналу, тобто уникнення складних, трудомістких і важких операцій та звільнення робітників від низькокваліфікованої та монотонної праці.

**Наступним етапом удосконалення** вже впроваджених та налагоджених гнучких систем може бути:

- подальше підвищення ефективності та гнучкості виробництва;

- підвищення ступеня автоматизації виробництва без зменшення гнучкості;

- удосконалення контрольно-вимірювальних методів, які в процесі обробки забезпечують моніторинг стану інструмента й оброблюваних заготовок, із метою подальшого впровадження систем автоматичного адаптивного налагоджування устаткування;

- зменшення кількості технологічного приладдя та пристроїв за рахунок автоматизації закріплення деталей;

- уведення в маршрутну технологію ГВС таких операцій, як промивання, нанесення покриттів, термічна обробка, складання тощо;

- розвиток профілактичного техобслуговування.

Реальний виробничий досвід упровадження гнучких систем виявив низку **типових проблем**, а саме:

- на ринку мало постачальників, які можуть надавати системи необхідного рівня складності, а через нестачу досвіду важко вибрати потрібний тип устаткування;

- тривалий термін виконання проекту від конструювання до запуску системи;

- уведення в експлуатацію комплексної ГВС виявилось складним, проблемним та вартісним із причин несумісності або важкої сполучуваності конструктивних елементів ГВС, а саме верстатів, системи керування, периферійних пристроїв, особливо у випадках поетапних поставок, розрізнених у часі;

- виробничий персонал найчастіше не має достатньої кваліфікації та не готовий до експлуатації складної системи, у деяких випадках при некваліфікованому використанні виявлена слабка фактична гнучкість системи;

- ГВС не вирішила поставлених завдань за рентабельністю, тобто

прибутки від її впровадження виявились значно меншими витратів на налагодження устаткування й транспортної системи.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Якими тенденціями характеризується сучасний етап розвитку машинобудівного комплексу?
2. У чому полягає актуальність упровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій?
3. Які питання вирішуються впровадженням безлюдної технології?
4. З яких основних компонентів складається гнучка виробнича система?
5. Від чого залежить ефективність упроваджуваної ГВС?
6. Які характеристики та структуру мають існуючі ГВС?
8. Які переваги забезпечують ГВС у порівнянні з ділянками, оснащеними окремими універсальними верстатами?
9. На що можуть бути спрямовані заходи щодо вдосконалення вже впроваджених та діючих гнучких систем?
10. Які типові проблеми виникають при введенні в експлуатацію нових ГВС?

## Розділ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА Й ВИБІР ЗАСОБІВ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 3.1. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ВИПУСКУ ВИРОБІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ НОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Проектування цехів може виконуватись за точною, приведеною чи умовною програмою. Подетальну виробничу програму випуску складають за певною формою, яка повинна містити всі необхідні дані для проектування.

**Точна виробнича програма** містить повну й остаточно визначену номенклатуру виробів, а також усіх складових деталей і вузлів, запасних частин, що підлягають виготовленню. Вона має бути забезпечена всіма необхідними робочими кресленнями, специфікаціями й технічними умовами. **Проектування за точною програмою** вимагає докладної поопераційної розробки технологічних процесів виготовлення кожної з деталей й складання виробів, а також вибору оптимального устаткування та розрахунку технічно-обґрунтованих норм часу, необхідних для виконання кожної операції. На основі цих розрахунків визначають потрібну кількість обладнання й коефіцієнти його завантаження. Розробка точної програми випуску є обов'язковою при проектуванні цехів для масового і великосерійного виробництва, які вимагають високої точності всіх технологічних розрахунків.

**Приведена виробнича програма** складається з декількох типових виробів, які повністю характеризують усю номенклатуру, що підлягає виготовленню. Типовий виріб повинен якомога об'єктивніше відображати конструктивно-технологічні особливості тих виробів, що входять до групи. **Проектування за приведеною програмою** застосовується в умовах великої та розмаїтої номенклатури виробів, які підлягають виготовленню, а також у випадках, коли повні вихідні дані зазначені лише для представників груп. Розрахунки за приведеною програмою здебільшого виконують при проектуванні цехів для дрібносерійного, середньосерійного й одиничного виробництва.

При застосуванні цього методу можливі два варіанти формування груп і вибору **виробів-представників**. Перший варіант застосовують при виготовленні в цеху подібних деталей або виробів, які розрізняють-



ся за своїми характеристиками у визначеному діапазоні. У цьому разі зазначений діапазон характеристик розділяють на декілька інтервалів. Далі формують декілька груп виробів за цими інтервалами, а виробом-представником вибирають один із виробів, що увійшов до певного інтервалу характеристик. Другий варіант застосовують при виготовленні деталей, які суттєво відрізняються за конструкцією. У цьому випадку всі деталі, що виготовляються в цеху, об'єднують у групи за схожими технологічними ознаками, тобто їх поділяють на вали, втулки, плоскі деталі, корпусні деталі тощо. Після цього для представника кожної групи розробляють технологічний процес і виконують нормування операцій. Після формування груп для виробів-представників визначають трудомісткість виготовлення.

Для визначення трудомісткості інших виробів, що входять до групи, застосовують **коефіцієнт приведення**  $K_{np}$ , який визначає змінювання трудомісткості кожного виробу групи відносно трудомісткості виробу-представника. Він є добутком ряду коефіцієнтів:

$$K_{np} = K_c \cdot K_m \cdot K_{сер} \cdot \dots \cdot K_n,$$

де  $K_c$ —коефіцієнт, що враховує різну складність конструкції виробів;  $K_m$ —коефіцієнт, який враховує відмінність мас виробів;  $K_{сер}$ —коефіцієнт, що враховує розходження в серійності виробів;  $K_n$ —коефіцієнт, який враховує інші особливості виробу. Іншими особливостями, наприклад, можуть бути розбіжності між точністю виробу із групи й точністю виробу-представника, наявність коопераційних комплектувальних поставок окремих вузлів і агрегатів для якогось із виробів групи тощо.

**Коефіцієнт складності**  $K_c$  є добутком коефіцієнтів, які враховують зв'язки між конструктивними відзнаками виробів та їх впливом на трудомісткість виготовлення:

$$K_c = \prod_{i=1}^n K_i^{\alpha_i},$$

де  $K_i$ —коефіцієнти, що враховують розбіжності відповідних технічних параметрів розглядуваного виробу й виробу-представника;  $\alpha_i$ —показники, які характеризують ступінь впливу відповідних технологічних параметрів на трудомісткість обробки. Зазвичай коефіцієнт  $K_c$  для виробу-представника дорівнює одиниці, а для інших представників групи розраховується проектувальними організаціями на основі даних, які надані замовниками.

**Коефіцієнт розбіжності мас**  $K_m$ , що враховує розбіжності між масою виробу-представника та іншим виробом із групи, визначається зі співвідношення

$$K_m = C_o \left( \frac{m}{m_{np}} \right)^{\frac{2}{3}} + C_{доп} \left( \frac{m}{m_{np}} \right)^{\frac{1}{3}},$$

де  $C_o$ —коефіцієнт, який враховує частку основного технологічного часу в штучному часі;  $C_{доп}$ —коефіцієнт, що враховує частку допоміжного часу в штучному часі;  $m$ —маса розглядуваного виробу з групи;  $m_{np}$ —маса виробу-представника. Для визначення  $C_o$  і  $C_{доп}$  залежно від маси виробів й типу виробництва користуються номограмою з праці [8] або технологічних довідників. Для геометрично подібних деталей можна застосовувати більш просту формулу:

$$K_m = \left( \frac{m}{m_{np}} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

**Коефіцієнт серійності**  $K_{сер}$  визначається відношенням річної програми випуску виробу-представника до річної програми випуску розглядуваного виробу з групи, тобто

$$K_{сер} = \frac{\Pi_{np}}{\Pi}.$$

**Умовна виробнича програма** також складається з декількох типових виробів, які характеризують усю номенклатуру, що підлягає виготовленню. **При проектуванні за умовною програмою** вибирають виробу-представники, для яких розраховують трудомісткість виготовлення. Проте розрахунки, які виконують для виробу-представника, цілком переносять на всі вироби, що входять до групи без застосування коефіцієнта приведення.

### 3.2. ТИПИ ВИРОБНИЦТВА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Залежно від виробничої програми випуску, характеристик виробів, а також технічних і економічних умов виконання виробничого процесу усі виробництва поділяють на три основних види—одиничне, серійне (дрібносерійне, серійне, великосерійне) та масове. Тип виробництва зазвичай визначають умовно за кількістю виготовлюваних протягом року

деталей одного найменування й типорозміру або за значенням коефіцієнта закріплення операцій.

Як уже було зазначено, найважливішими показниками під час визначення шляхів автоматизації виробництва є характеристики устаткування, зокрема верстатів. Ключовою характеристикою є ступінь універсальності обладнання, від якого залежать досяжний рівень, способи й форми автоматизації. Автоматизацію умовно можна розділити на дві форми—жорстку й гнучку.

**Жорстка автоматизація** може застосовуватись винятково в масовому й великосерійному виробництві. Її основою є застосування спеціальних і спеціалізованих верстатів, але при переході на інший або новий вид продукції необхідні великі витрати часу та значні видатки на переналагодження виробництва. Якщо верстат, окрім робочих ходів, самостійно виконує й холості (допоміжні) ходи, то він вважається автоматом або напівавтоматом.

**Верстатом-автоматом** називають автономну (самокеровану) робочу машину, яка при виконанні заданого технологічного процесу самостійно виконує всі робочі й холості рухи циклу обробки та потребує тільки попереднього налагодження й поточного контролювання роботи. Ступінь автоматизації верстата можна підвищити шляхом уведення автоматичних позациклових механізмів і пристроїв, які не беруть безпосередньої участі в робочому циклі автомата. Наприклад, пристрій для заміни й регулювання інструмента або для збирання відходів тощо.

**Верстатом-напівавтоматом** називають робочу машину, що реалізує автоматичний цикл, для повторення якого потрібне втручання робітника. Наприклад, завантаження заготовок, розвантаження деталей, запуск верстата, орієнтація або перевертання заготовок і т. ін.

Для здійснення автоматизації застосовуються різні засоби (рис. 3.1). В умовах жорсткої автоматизації при масовому й великосерійному виробництві для виготовлення нескладних деталей необхідний верстат-автомат, для складних корпусних деталей—агрегатний верстат, для більш складних деталей—автоматична лінія.

Автомати й напівавтомати різнопланового технологічного призначення застосовуються давно. Автоматизація руху в таких верстатах здійснюється різноманітними кулачками, командоапаратами, конодами, шарнірами та іншими кінематичними елементами, які задають величину й швидкість переміщення робочого органа. Процес перетворення інформації у верстаті-автоматі полягає в перетворенні дискретних сигналів, заданих конструкторською й технологічною документаці-

єю, на безупинні (аналогові) сигнали механізму керування. Недоліками таких механізмів керування є, по-перше, похибки перетворення дискретних сигналів на аналогові, по-друге, зношення кінематичних елементів, яке призводить до зниження точності керування, по-третє, висока вартість виготовлення кінематичних елементів і, насамкінець, складність переналагодження й велика трудомісткість регулювання. Утім через високу надійність і простоту вони й досі є ефективним засобом автоматизації.

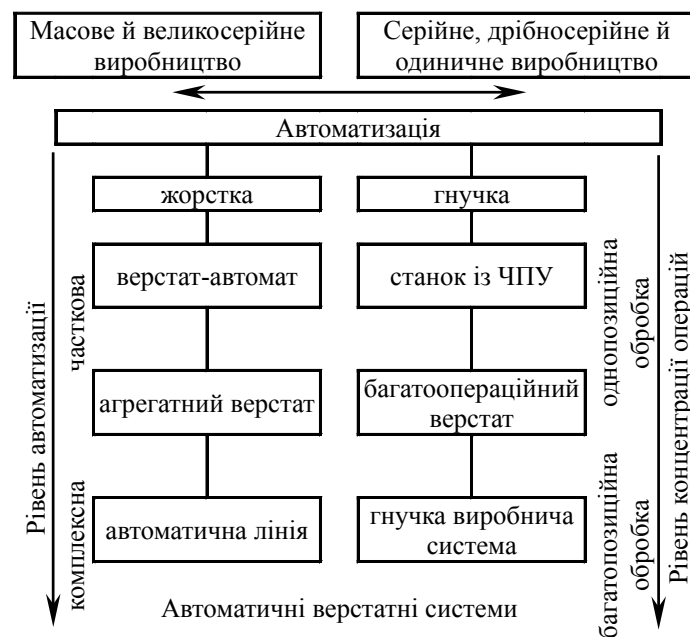


Рис. 3.1. Рівні, форми та засоби автоматизації при різних типах виробництва

Завдяки тому що більшість рухів і процесів є циклічними, для ув'язування роботи окремих механізмів автоматів і напівавтоматів зручно користатися умовними діаграмами—циклограмами. **Циклограми** найчастіше показують залежність переміщень робочих органів верстата від часу або від відповідних кутів повороту розподільного вала. Зазвичай використовують такі види циклограм [7]:

—кругові в полярній системі координат, у яких циклу руху кожного механізму відповідає круг довільного радіуса, на якому зображені фази руху з пояснювальними написами;

—лінійні, у яких роботі кожного механізму відповідає відрізок прямої чи смуги із зображенням фаз руху і пояснювальними написами;

—синхронні з умовним зображенням робочих органів у прямокутній системі координат (є найчастіше застосовуваними); такі циклограми можуть будуватися для переміщень ( $s-t$ ), швидкостей ( $v-t$  чи  $\omega-t$ ), прискорень, навантажень, тиску в гідросистемі тощо, вони дають можливість перевірити правильність циклу та, ймовірно, сполучити в часі й «ущільнити» його елементи;

—спільні циклограми руху робочих і керуючих органів, де числами позначений час подачі команд і положення органів керування протягом циклу; кожне одночасне переключення органів керування називають тактом, а послідовність переключення зображують тактограмми;

—спрощені лінійні в координатах  $v-s$  для відображення зворотно-поступального руху робочого органа верстата.

Проте сьогодні більшість виробів випускається невеликими партіями. Як було зазначено раніше, це пов'язано з постійним прагненням до вдосконалення характеристик виробів та зменшення термінів морального зносу устаткування, що зумовлюється швидкою змінюваністю об'єктів виробництва. Достатньо пригадати, що до одиночного й дрібносерійного виробництва належить майже все важке машинобудування, зокрема виробництво великих і унікальних верстатів, ракетобудування, суднобудування, авіабудування та багато інших галузей.

Тому актуальною є **гнучка автоматизація** одиночного та дрібносерійного виробництва, що можлива тільки завдяки засобам, які, з одного боку, мають високу продуктивність, порівнянну з продуктивністю автоматів і напіваавтоматів, а з іншого—широкі технологічні можливості, а головне—вони повинні бути швидкопереналагоджуваними. Таким устаткуванням, безперечно, є верстати з ЧПУ. В умовах гнучкої автоматизації (див. рис. 3.1.) при серійному, дрібносерійному й одиночному виробництві нескладних деталей потрібен верстат із ЧПУ, складних деталей—багатоопераційний верстат, більш складних деталей—гнучка виробнича система.

Верстат із ЧПУ також є верстатом-автоматом і відрізняється від попередніх тільки способом перетворення інформації. Перетворення інформації у верстатах із ЧПУ—це процес переробки цифрових дискретних сигналів на дискретні рухи, тому для нього властиві дві основ-

ні переваги: по-перше, це можливість виконання складних рухів за рахунок керування декількома координатами; по-друге, це абстрактний і однозначний характер інформації. Останній факт дозволяє автоматизувати процес програмування за допомогою ЕОМ та комплексно автоматизувати ланцюжок «проекування-програмування-виробництво».

Характерним прикладом гнучкої автоматизації без застосування ЧПУ може бути копіювально-фрезерний верстат. Проте, автоматизація на основі копіювальних верстатів із приводом стеження ускладнюється великими витратами часу на виготовлення контурних шаблонів, а за умов виробництва широкої номенклатури фасонних виробів складної форми це призведе до істотного підвищення собівартості обробки. В останньому випадку єдиним раціональним шляхом буде застосування більш гнучких і мобільних систем керування, до яких, безумовно, належать системи ЧПУ.

### 3.2.1. Одиночне виробництво

При одиночному виробництві однакові вироби виготовляються обмеженою кількістю або навіть в одному екземплярі. При такому виробництві конструкції та розміри нових виробів постійно змінюються, причому вірогідність повторювання виробів, що вже виготовлялися в минулому, дуже мала чи зовсім відсутня. Одиночне виробництво є універсальним, воно охоплює різноманітні типи виробів, вимагає високої кваліфікації робітників та характеризується значною гнучкістю й пристосованістю до виконання різноманітних завдань. Застосовуване устаткування, оснастка й приладдя також є універсальними. В умовах одиночного виробництва доцільно використовувати багатоінструментальні верстати з ЧПУ або інтегровані гнучкі виробничі системи, які складаються з декількох взаємозамінних верстатів.

Використання багатоінструментального верстата є доцільним у випадках, коли: річна програма випуску виробів не перевищує можливості верстата за продуктивністю в умовах його нормативної експлуатації; за вимогами до точності розмірів не допускаються переустановлення чи перезакріплення заготовки під час обробки; велика маса й значні габарити заготовки ускладнюють її переміщення між робочими позиціями в процесі обробки.

### 3.2.2. Серійне виробництво

Серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим. У цьому разі виготовлення здійснюється партіями чи серіями, які складаються з однойменних, однотипних за конструкцією й однакових за розмірами виробів, що запускаються у виробництво одночасно. Основною відзнакою такого типу виробництва є виготовлення всієї партії (серії) цілком як при обробці деталей, так і при їх складанні. Поняття «**партія**» застосовують до кількості деталей, а «**серія**»—до кількості виробів, які починають виготовляти одночасно.

Серійне виробництво залежно від кількості виробів у серії, їх характеристик і трудомісткості виготовлення, а також частоти повторюваності серій протягом року називають дрібносерійним, середньoserійним або великосерійним. В умовах серійного виробництва застосовують як універсальні, так і спеціалізовані, автоматизовані й агрегатні верстати з універсальною переналаджуваною оснасткою. Це вимагає робітників середньої кваліфікації.

У випадках частої зміни партій однотипних заготовок їх обробку варто здійснювати на звичайних верстатах із ЧПУ або інтегрованих виробничих системах, які складаються з взаємодоповняльних верстатів. У цьому разі використання багатоінструментальних верстатів із багатошпиндельними головками та багатоінструментальними наладками зазвичай знижує гнучкість виробничої системи, але вагомо підвищує її продуктивність. Тому останні раціонально застосовувати тільки у великосерійному виробництві.

На вибір типу автоматизованого устаткування також впливає співвідношення основного й допоміжного часу в загальній трудомісткості механічної обробки. Якщо основний технологічний час обробки заготовки малий, то її доцільно виконувати на багатоінструментальних верстатах із ЧПУ, оскільки використання інтегрованих виробничих систем буде збільшувати допоміжний час через часті переустановлення. Якщо основний технологічний час обробки великий, навпаки, доцільніше використовувати інтегровані виробничі системи та навіть верстати з ЧПУ, на яких установка оброблюваних заготовок здійснюється ручним способом.

### 3.2.3. Масове виробництво

Масове виробництво характеризується випуском великої кількості однакових виробів, їх виготовлення здійснюється шляхом безупинного виконання на робочих місцях однакових, відносно простих і постійно повторюваних операцій. Кожна технологічна операція виконується на визначеному робочому місці. Усі верстати розташовуються в порядку виконання операцій технологічного процесу. Деталь від верстата до верстата переміщується вручну або за допомогою транспортних засобів. Для виконання відносно простих операцій при цьому типі виробництва необхідні робітники низької кваліфікації.

Вважається, що автоматизацію такого виробництва раціонально здійснювати застосуванням агрегатних верстатів, верстатів-автоматів і напівавтоматів, а також спеціальної оснастки. Незамінними також є автоматичні лінії, що складаються з високопродуктивних спеціалізованих верстатів і верстатів-автоматів із системою ЧПУ, технологічні можливості яких не обмежуються тільки однією механічною обробкою заготовок, тобто вони можуть застосовуватись і для автоматизації інших операцій технологічного процесу.

## 3.3. ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Кожному типу виробництва властива певна форма його організації. Розрізняють такі форми: цехова за типами устаткування (за видами обробки); предметна (групова); багатомономенклатурна потоково-серійна (потоково-змінна); одномономенклатурна прямотечійна; одномономенклатурна безупинним потоком.

**Цехова форма** властива одиничному виробництву і характеризується тим, що верстати розташовуються за ознакою однакових видів обробки, тобто створюються ділянки токарних, фрезерних, свердлильних верстатів і т. ін.

**Предметна форма** властива серійному виробництву. Вона передбачає розташування верстатів у порядку технологічного процесу. Обробка виконується партіями. Час виконання операцій на конкретному верстаті не погоджений з часом виконання операцій на інших верстатах. Заготовки під час роботи зберігаються біля верстата на спеціальних площадках або просто між верстатами, а згодом по закінченні обробки транспортуються всією партією.

**Потоково-серійна форма** характерна для серійного виробництва і також передбачає розташування устаткування в порядку технологічного процесу. Вона характеризується: спеціалізацією робочих місць; розташуванням робочих місць у порядку операцій технологічного процесу; вирівнюванням часу виконання операцій на кожному робочому місці; використанням транспортних засобів між робочими місцями. Основною характеристикою для потоково-серійної форми є середній такт випуску  $\tau_{cp}$  (середній такт потокової лінії)—інтервал часу, через який періодично здійснюється випуск готових виробів. Він визначається співвідношеннями

$$\tau_{cp} = \frac{\Phi_0}{A + K_1 B + K_2 B + \dots}, \quad K_1 = \frac{T_B}{T_A}, \quad K_2 = \frac{T_B}{T_A}, \dots,$$

де  $\Phi_0$ —дійсний фонд часу роботи лінії;  $A, B, B$ —річні програми випуску виробів, закріплених за лінією;  $K_1, K_2, \dots$ —коефіцієнти, які враховують відміни в трудомісткості виготовлення виробів, закріплених за лінією;  $T_A, T_B, T_B$ —трудомісткість виготовлення виробів, закріплених за лінією, відповідно з річними програмами  $A, B, B$ .

Виробництво виконується партіями, причому деталі кожної партії можуть відрізнятися за розмірами чи конструкцією, але вони повинні допускати обробку на тому самому устаткуванні. Виробництво організоване таким чином, що час обробки на одному верстаті погоджений з часом обробки на наступному верстаті. Заготовки з однієї партії переміщуються між верстатами в порядку виконання технологічних операцій, створюючи безперервний рух. Перехід на обробку іншої партії вимагає незначної технічної підготовки виробництва й переналагодження верстатів.

**Прямотечійна форма** характерна для масового виробництва. Вона передбачає розташування устаткування в порядку технологічного процесу. За кожним верстатом закріплена одна операція. Передача деталей з верстата на верстат здійснюється поштучно. Синхронізація часу окремих операцій виконується на всіх ділянках лінії, тому що час виконання окремих операцій не завжди кратний або дорівнює такту. Унаслідок цього поряд із верстатами, у яких час операцій перевищує такт, створюються заділи необроблених деталей. Передачу виробів від одного верстата до іншого здійснюють за допомогою рольгангів або інших транспортних пристроїв.

При організації виробництва **безупинним потоком** верстати розташовані в порядку технологічного процесу. За кожним верстатом закріплена одна операція. Час виконання всіх операцій точно визначений,

він дорівнює або кратний такту випуску. Цим шляхом досягається повна синхронізація всієї потокової лінії. Залежно від способів керування тактом, засобів транспортування виробів між робочими місцями виділяють різновиди організації роботи безупинним потоком, а саме:

- робота безупинним потоком із передачею виробів вручну;
- робота з передачею виробів транспортними пристроями;
- робота з визначеним тактом, який регламентується за допомогою різних сигналів, що вказують на закінчення часу такту;
- робота з періодичною примусовою подачею виробу.

Такт випуску також є основною характеристикою для прямотечійної форми виробництва й виробництва безупинним потоком, його визначають за формулою

$$\tau = \frac{\Phi_0}{N} r,$$

де  $\Phi_0$ —дійсний фонд часу роботи лінії;  $N$ —кількість виробів, що випускаються за одиницю часу;  $r$ —коефіцієнт використання лінії.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3

1. При проектуванні цехів якими способами можна задавати виробничу програму виготовлення виробів?
2. При проектуванні цехів для масового і великосерійного виробництва яким способом має бути задана виробнича програма, що вона повинна містити?
3. Яким способом має бути задана виробнича програма при проектуванні цехів для середньосерійного, дрібносерійного й одиничного виробництва, що вона повинна містити?
4. При проектуванні цехів за приведеною виробничою програмою, яким чином задається та визначається трудомісткість виробів?
5. Для чого застосовують коефіцієнт приведення та як він визначається?
6. Які коефіцієнти застосовують при проектуванні цехів за приведеною виробничою програмою, які відміни в параметрах виробів вони враховують?
7. Чим відрізняються методи визначення трудомісткості виробів при проектуванні за умовною та приведеною виробничою програмою?
8. Які форми застосовуються для автоматизації виробництва?
9. При яких типах виробництва може застосовуватись жорстка автоматизація?

## Розділ 4

### ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ЦЕХІВ І ДІЛЯНОК

10. Яке устаткування може застосовуватись як засіб жорсткої автоматизації?
11. Як складність виготовлюваних виробів впливає на рівень автоматизації виробництва?
12. Що розуміють під терміном «верстат-автомат»?
13. Що розуміють під терміном «верстат-напівавтомат»?
14. Якими пристроями здійснюється автоматизація рухів у верстаках при жорсткій автоматизації?
15. З якою метою застосовують циклограми, що вони показують?
16. Залежності яких параметрів показують циклограми?
17. Чому в наш час застосування гнучкої автоматизації є найбільш актуальним?
18. При яких типах виробництва гнучка автоматизація виробництва буде найбільш виправданою?
19. Чому основою для гнучкої автоматизації є застосування верстатів із ЧПУ?
20. Які засоби гнучкої автоматизації доцільно застосовувати в одиночному виробництві?
21. Які засоби гнучкої автоматизації доцільно застосовувати в серійному виробництві?
22. Які засоби гнучкої автоматизації доцільно застосовувати в масовому виробництві?
23. Чим визначається вибір тієї чи іншої форми організації виробництва?
24. Які існують форми організації виробництва?
25. Яка форма організації найбільш властива одиночному виробництву?
26. Які форми організації найбільш властиві серійному виробництву, чим вони відрізняються?
27. Який параметр є основною характеристикою потоково-серійної форми організації виробництва?
28. Які форми організації найбільш властиві масовому виробництву, чим вони відрізняються?
29. При організації виробництва безупинним потоком або при прямих поточних формі який параметр є основною характеристикою?
30. Які виділяють різновиди організації виробництва безупинними потоком?

#### 4.1. ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Машинобудівне підприємство має складну будову. Його структура й діяльність безпосередньо залежать від типу та складності продукції, технологічного процесу її виготовлення й обсягу виробництва. **Вибір регіону й місця будівництва** промислових підприємств виконується відповідно до таких вимог: наявність сировинних баз і невеликої відстані від них; забезпеченість паливом; наявність джерел електропостачання; наявність, задовільний стан і можливість використання транспортних шляхів; прийнятна відстань до місць споживання продукції; наявність місцевих будівельних матеріалів і робочої сили; близькість промислового регіону та населених пунктів; наявність вільних площ, придатних для будівництва заводу; сприятливі гідрометеорологічні й кліматичні умови. При проектуванні підприємства одночасно розробляють і виконують економічні, технічні й організаційні завдання.

**Економічні завдання** такі: визначення виробничої програми підприємства, номенклатури виробів та їх конструктивно-технологічних характеристик, вартості одного виробу та всієї кількості за програмою; визначення типу виробництва; з'ясування джерел сировини, матеріалів, напівфабрикатів, палива, електроенергії, води, газу; визначення й вибір найбільш зручного географічного розташування заводу; визначення необхідних обсягів основних і оборотних коштів; рішення питань фінансування підприємства; складання плану розгортання заводу; з'ясування потреб у житловому й соціально-культурному будівництві.

**Технічні завдання** такі: проектування технологічних процесів обробки сировини, напівфабрикатів, заготовок; визначення необхідного фонду робочого часу; підбір та розрахунок необхідної кількості основного, допоміжного устаткування й оснастки; визначення потрібної робочої сили та персоналу; розрахунок необхідних виробничих площ; визначення потрібної кількості сировини, матеріалів, напівфабрикатів, палива й енергії усіх видів (електрики, газу, води тощо); розрахунок вантажообігу, опрацювання питань транспортування й вибору підйомних пристроїв; вибір і розрахунок систем освітлення, опалення, венти-

ляції та каналізації; компонування й планування цехів; вибір типу будівель та споруд, проектування допоміжних служб і систем, рішення питань технічної естетики; розробка генерального плану заводу.

**Організаційні завдання** такі: розробка структури заводууправління; розподіл функцій і зв'язків між відділами й окремими посадовими особами; розробка питань щодо організації праці; установлення порядку проходження замовлень, документації, форм звітності та контролю по цехах і всьому заводу; розробка заходів із підготовки кадрів; опрацювання заходів із техніки безпеки.

## 4.2. СТРУКТУРА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Організаційна структура та склад** промислового підприємства визначається: обсягом випуску продукції; характеристиками виробничого процесу; вимогами до якості виробів; спеціалізацією виробництва; кооперацією заводу з іншими підприємствами. Наприклад, якщо завод по кооперації одержує вилівки з іншого підприємства, то в його складі не повинно бути ливарного цеху.

Залежно від складу заводу й етапів виробничого циклу машинобудівні підприємства розділяють на три види. До першого виду належать заводи з **повним виробничим циклом**, який складається з усіх етапів виготовлення продукції. До другого виду відносять **заготівельні підприємства**, які випускають тільки заготовки для виготовлення деталей машин, а саме: вилівки; прокат; ковани, пресовані та штамповані напівфабрикати тощо. Основними цехами таких заводів є ливарні й кувалдно-пресові, а також зрідка можуть бути механічні цехи для обдирної механічної обробки заготовок. До третього виду належать **механо-складальні підприємства**, які виконують механічну обробку заготовок, одержаних на інших підприємствах, та складання виробів, а також заводи, що здійснюють тільки складання виробів із деталей, вузлів і агрегатів, отриманих з інших заводів. У першому випадку основними цехами будуть обробні та складальні, у другому—тільки складальні.

До складу заводу з **повним виробничим циклом** входять такі групи цехів і підрозділи: обробні цехи; складальні цехи; допоміжні цехи; складські, енергетичні, транспортні, санітарно-технічні, загальнозаводські підрозділи.

**Обробні цехи**—механічний, складальний, металевих конструкцій, термічної обробки, холодного штампування, фарбувальний, гальваніч-

них та інших покриттів, деревообробний і тарний.

**Допоміжні цехи**—чавуноливарний, сталеливарний, ливарний кольорових металів, кувалдний, кувалдно-пресовий, кувалдно-штампувальний і заготівельний.

**Складська система**—склад металу, склад напівфабрикатів (заготовок), центральний інструментальний склад, склад шихтових і формувальних матеріалів, склад готових виробів, склад палива, склад пально-мастильних матеріалів, склад деревини.

**Енергетична система**—електростанція чи електрична підстанція, котельня, компресорні установки, газогенераторна установка, електромережа, паропроводи, газопроводи, мережа подачі стисненого повітря й нафтопроводів.

**Транспортна система**—залізниця (рейкова мережа), гаражі, підйомно-транспортні пристрої.

**Санітарно-технічні підрозділи**—центральне опалення, вентиляція, водопостачання, каналізація, очисні спорудження, водоймище, водонапірні башти.

**Загальнозаводські підрозділи**—центральна лабораторія, технологічна лабораторія, вимірювальна лабораторія, головна контора чи заводууправління, прохідна, заводські навчальні заклади, лікарня та медпункти, їдальня, охоронна й пожежна сигналізація, промисловий зв'язок, автоматична телефонна станція, пожежна частина й відомча охорона.

## 4.3. ПЕРЕДПРОЕКТНІ РОБОТИ: ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА

Особливе значення при створенні виробництва мають **передпроектні роботи**, виконувані з метою: формування вихідних даних; аналізу існуючого рівня виробництва; розробки техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) або техніко-економічного розрахунку доцільності створення нового чи розширення, реконструкції або технічного переозброєння діючого виробництва; розробки технічної заявки на проект і підготовки різних технічних матеріалів для проведення проектних робіт.

Передпроектні роботи найчастіше виконують за два **етапи**: передпроектне дослідження й розробка ТЕО; розробка й затвердження технічної заявки на створення та впровадження нової виробничої системи.

Для реконструкції виробництва зазвичай необхідно більше вихідних даних, ніж при проектуванні нового, тому що в проекті використо-

вуються вже існуючі будівлі, споруди, устаткування тощо. Через це на початку реконструкції представники проектної організації вивчають діюче виробництво, підбирають і систематизують необхідні відомості про існуючий завод та його цехи. Основною метою такого дослідження є вивчення виробничих, матеріальних, фінансових і людських ресурсів діючого виробництва. За **результатами передпроектного дослідження** формується звіт, який складається з таких частин:

— **загальна частина** містить дані про діюче виробництво, а саме: його склад, виробничу програму, номенклатуру продукції, що випускається, та виробничу кооперацію;

— **техніко-економічна частина** охоплює дані про виробничі фонди, склад робітників та їх кваліфікацію, рівень заробітної плати, собівартість продукції, а також загальні висновки й основні техніко-економічні показники;

— **технологічна частина** містить відомості про призначення й регламент роботи цехів, про продукцію, яку вони випускають, форми організації виробництва, а також структуру технологічних процесів, заводський технологічний маршрут, схему розташування цехів, склад цехів, верстатомісткість і трудомісткість виготовлення продукції;

— у **будівельній частині** наводять дані про природні й інженерно-геологічні умови площадки заводу, характеристики споруд і будівель, умови здійснення будівництва;

— **частина про транспорт і складське господарство** охоплює відомості про внутрішньоцеховий і внутрішньозаводський транспорт, підйомно-транспортне устаткування, цехову й загальнозаводському складську систему;

— у **санітарно-технічній частині** наводять схему виробничого водопостачання та відомості про існуючі джерела водопостачання, системи і споруди виробничої каналізації, внутрішньоцехові санітарно-технічні пристрої;

— **енергетична частина** охоплює дані про електропостачання, теплопостачання, а також джерела тепла, пари, повітря й газу.

На підставі узагальнених результатів передпроектного дослідження та їх аналізу **розробляють техніко-економічне обґрунтування** доцільності створення нової виробничої системи. Воно повинне містити коротку оцінку поточного стану виробничої системи, її готовності до перетворення, передбачуваних масштабів перебудови з урахуванням специфіки підприємства і продукції, що випускається.

У ТЕО визначають техніко-економічні показники, а саме: змен-

шення трудомісткості і верстатомісткості, підвищення продуктивності праці, збільшення коефіцієнта завантаження устаткування, зменшення кількості робітників, скорочення тривалості виробничого циклу і т. ін. Основні параметри виробничої системи—верстатомісткість, трудомісткість, кількість робітників, типи й кількість устаткування, виробничі площі тощо—визначаються на основі попередніх укрупнених розрахунків. Вони підлягають уточненню на наступних етапах, тобто під час розробки аванпроекту й технологічної частини робочого проекту. ТЕО затверджується керівниками проекту, представниками замовника. Воно є підставою для розробки аванпроекту і технічної заявки на створення виробничої системи.

**Аванпроект** розробляє Головна проектувальна організація на основі даних ТЕО. На цьому етапі: підбирається номенклатура оброблюваних матеріалів і заготовок; формуються основні принципи побудови виробничого процесу; складаються маршрутні технологічні процеси; за виробничою програмою будуються графіки завантаження обладнання; за даними про завантаження обладнання й програму випуску визначається верстатомісткість обробки; на основі розрахунків верстатомісткості визначається кількість устаткування; уточнюються коефіцієнти завантаження обладнання; підбирається номенклатура різального, вимірювального інструмента й оснастка; попередньо вирішуються питання організації керування виробництвом; уточнюються техніко-економічні показники; визначається економічна ефективність виробничої системи.

**Заявка на створення виробничої системи** розробляється на основі затвердженого аванпроекту. У заявці зазначають: підстави для розробки та її мету; призначення виробничої системи; коротку технічну характеристику виробничої системи; основні техніко-економічні показники; основних виконавців проекту; виробників устаткування; терміни виготовлення спеціального устаткування; терміни проведення проектних робіт; джерела фінансування.

#### **4.4. ПРОЕКТНІ РОБОТИ: РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ Й РОБОЧОГО ПРОЕКТУ. ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ ЦЕХІВ**

Розробку **технічного завдання** (ТЗ) на проектування виконує замовник проекту разом із проектною організацією на підставі даних, отриманих за передпроектний період. У технічному завданні: викону-



ють обґрунтування вибору площадки для будівництва нового виробництва (цеху); зазначають номенклатуру й обсяг виробів, що підлягають випуску; указують, які заготовки, напівфабрикати й готові вироби виробництво буде отримувати, а які виготовляти за кооперацією; визначають режим роботи виробництва й фонди часу роботи устаткування, робочих місць і робітників; розробляють вимоги до захисту навколишнього середовища; надають вказівки до передбаченого розширення виробництва на підставі ТЕО; намічають терміни будівництва; наводять вимоги до розробки варіантів проекту або його частин; розробляють перелік основних вимог до архітектурно-художнього оформлення інженерних, службових, побутових і виробничих приміщень.

До ТЗ додають висновок Головного інституту галузі про технічний рівень виробів, що підлягають випуску на цьому виробництві, і перспективність їх випуску.

**Робочий проект** розробляють на підставі ТЗ на проектування. Він визначає технічні можливості й економічну доцільність майбутнього будівництва (реконструкції або розширення), загальну вартість будівництва, техніко-економічні показники, а також обґрунтовує вибір основних технічних рішень. Робочий проект містить такі розділи: загальна пояснювальна записка; генеральний план; транспорт; технологічні рішення; наукова організація праці; будівельні рішення; організація будівництва; охорона навколишнього середовища; житлово-цивільне будівництво; кошторисна документація; паспорт робочого проекту.

Після затвердження робочого проекту розробляють **робочу документацію**, яка містить: робочі креслення будівель, споруд, фундаментів і спеціального устаткування; кошторисну документацію для визначення вартості створюваного виробництва; відомості про обсяг будівельних і монтажних робіт; відомості про потреби в матеріалах; специфікації устаткування; креслення устаткування й виробів; проектно-кошторисну будівельну документацію; вимоги до розробки нестандартного устаткування.

Основними **вихідними даними для проектування цехів** є податальна виробнича програма, яка формується на підставі загальної виробничої програми заводу. Обов'язковими додатками до неї є креслення, специфікації, описи конструкцій і технічні умови на виготовлення деталей і виробів.

Вихідні дані для проектування цеху містять: цеховий список, тобто номенклатуру виробів, вузлів і деталей, які підлягають виготовленню та (або) складанню; річну програму випуску виробів і деталей за кож-

ним найменуванням відповідно до цехового списку; перелік та кількість найменувань запасних частин; режим роботи цеху; заводський технологічний маршрут, який визначає потік матеріалу по цехах підприємства, починаючи із заготівельного виробництва до цехів загального складання; директивний (основний) технологічний процес; генеральний план заводу.

**Цех** є окремим виробничим і адміністративно-господарським підрозділом заводу. Він складається з виробничих ділянок, допоміжних підрозділів, службових і побутових приміщень, а також приміщень громадських організацій. Склад виробничих ділянок і допоміжних підрозділів визначається конструкцією виготовлюваних виробів, технологічним процесом, програмою випуску й формою організації виробництва. Для виконання виробничого процесу робочі місця мають бути розташовані відповідним чином. Виходячи з організаційних міркувань, декілька робочих місць об'єднують, утворюючи виробничу ділянку.

**Виробничою ділянкою** називають частину цеху, де розташовані робочі місця та здійснюються технологічні процеси виготовлення виробів визначеної номенклатури. Робочі місця ділянки з'єднують транспортно-накопичувальним устаткуванням, засобами технічного, інструментального, метрологічного обслуговування, а також передбачають відділ охорони праці та керівний підрозділ.

**Допоміжними підрозділами цеху** можуть бути відділення з відновлення різального інструмента, контрольне відділення, ремонтне відділення, відділення для виготовлення й постачання мастильно-охолодних рідин; відділення для переробки відходів.

При проектуванні механоскладального цеху в зазначеній послідовності розв'язуються такі задачі:

- розрахунок кількості основного технологічного устаткування;
- вибір складу та кількості виробничих ділянок;
- розрахунок складу й кількості устаткування на ділянках;
- визначення алгоритму роботи устаткування на ділянках;
- формування вимог до умов роботи устаткування;
- розробка завдань на проектування нестандартного устаткування;
- компонування виробничих ділянок;
- планування основного устаткування;
- попередній розрахунок цехового персоналу;
- розрахунок виробничої площі;
- проектування складської системи;
- проектування транспортної системи;

- проектування системи забезпечення інструментом;
- проектування системи ремонтного й технічного обслуговування;
- проектування системи контролю якості;
- розробка системи охорони праці;
- проектування системи керування й підготовки виробництва;
- уточнення компоновання цеху;
- уточнення планування устаткування;
- уточнення складу й кількості цехового персоналу;
- визначення загальної площі цеху та його габаритів;
- розрахунки техніко-економічних показників;
- вибір оптимального варіанта проекту.

Варто зауважити, що реалізація такої послідовності проектування механоскладальних цехів можлива тільки при наявності розробленого технологічного процесу виготовлення виробів.

Наступним етапом є проектування всіх допоміжних систем. Після цього виконують просторове ув'язування всього устаткування. Проектування кожної з допоміжних систем здійснюється за такою ж послідовністю, як і для основної системи.

Варіанти проекту отримують після багаторазового проходження послідовності проектування. Причому вибір оптимального проекту виконується порівнянням варіантів.

#### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Від чого залежить структура машинобудівного підприємства?
2. Яким вимогам має відповідати ділянка для будівництва нового машинобудівного підприємства?
3. Які групи завдань виконують при проектуванні нового заводу?
4. Які економічні завдання необхідно виконувати при проектуванні нового заводу?
5. Які технічні задачі необхідно розв'язувати при проектуванні нового заводу?
6. Які організаційні питання необхідно вирішувати при проектуванні нового заводу?
7. Чим визначається структура та склад промислового підприємства?
8. Які види підприємств розрізняють відповідно до етапів виробничого циклу?

9. Які групи цехів і підрозділів входять до складу заводу з повним виробничим циклом?

10. Які цехи будуть основними у складі заготівельного підприємства відповідно до етапів його виробничого процесу?

11. Які цехи будуть основними у складі механоскладального підприємства відповідно до етапів його виробничого процесу?

12. Які цехи будуть основними, а які допоміжними у складі заводу з повним виробничим циклом?

13. При проектуванні виробництва з якою метою виконують передпроектні роботи?

14. З яких етапів складаються передпроектні роботи при проектуванні виробництва?

15. Які обов'язкові частини повинен мати звіт, що складається за результатами передпроектного дослідження?

16. З якою метою, на підставі яких даних виконують техніко-економічне обґрунтування проекту створення або реконструкції виробництва?

17. Які показники визначаються при техніко-економічних розрахунках або під час розробки техніко-економічного обґрунтування?

18. З якою метою, на підставі яких даних розробляють аванпроект?

19. Які дані повинна містити заявка на створення виробничої системи?

20. Які роботи виконують під час розробки технічного завдання на проектування виробничої системи?

22. З яких розділів повинен складатись робочий проект виробничої системи?

23. Які документи розробляють після затвердження робочого проекту виробничої системи?

24. Які вихідні дані необхідні при проектуванні цехів?

25. Які задачі розв'язуються при проектуванні цехів?

## Розділ 5 ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ

### 5.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Вивчення сучасного виробництва, розробок і проектів показує, що спектр рішень гнучких виробничих систем охоплює діапазон від виробничих модулів на базі одного верстата з ЧПУ до керованих комп'ютером виробничих ділянок і цехів. Основними класифікаційними ознаками ГВС є масштабність структури, сфера використання (за групами галузевих виробництв, видами робіт, масою й габаритами виробів), технічний рівень (за ступенем автоматизації або гнучкості, ростом продуктивності).

За масштабністю структури ГВС класифікують у такий спосіб.

**1. Гнучкий виробничий модуль (ГВМ)**—це одиниця технологічного устаткування з ЧПУ для виробництва виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик, яка автономно функціонує, автоматично здійснює всі функції, пов'язані з виготовленням, та має можливість вбудовування в гнучку виробничу систему.

**2. Роботизований технологічний комплекс (РТК)**—це сукупність одиниць технологічного устаткування, промислового робота (ПР) й засобів оснащення, що автономно функціонує та здійснює багаторазові робочі цикли. РТК, призначені для робіт у ГВС, повинні мати можливість автоматизованого переналагодження та вбудовування у виробничу систему. Безпосередньо як технологічне устаткування може бути використаний промисловий робот. Засобами оснащення РТК можуть бути накопичувачі, пристрої для орієнтації або поштучної видачі об'єктів виробництва та інші засоби, які забезпечують функціонування РТК.

**3. Гнучкий виробничий осередок (ГВО)**—це сукупність двох одиниць технологічного устаткування (наприклад, верстатів), що пов'язані автоматичною системою транспортування й маніпулювання деталями, оснащені необхідними контрольними пристроями й утворюють працездатну одиницю.

**4. Гнучка виробнича система**—це сукупність устаткування з ЧПУ в різних комбінаціях, роботизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих модулів, окремих одиниць технологічного устаткування, а також систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу. Вона має властивість

автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик.

**5. Гнучка автоматизована лінія (ГАЛ)**—це автоматично діюча система верстатів та інших машин, розташованих у послідовності операцій технологічного процесу та пов'язаних загальними засобами транспортування, керування, накопичування, видалення відходів тощо.

**6. Гнучка автоматизована ділянка**—це гнучка виробнича система, що функціонує за технологічним маршрутом, у якому передбачена можливість змінювання послідовності використання технологічного устаткування.

**7. Гнучкий автоматизований цех (ГАЦ)**—це гнучка виробнича система, що є сукупністю гнучких автоматизованих ділянок, які складаються з ГАЛ, ГВО, РТК у різних комбінаціях, для виготовлення виробів заданої номенклатури.

**8. Гнучкий автоматизований завод (ГАЗ)**—це гнучка виробнича система, що є сукупністю ГАЦ.

**Ступінь автоматизації** визначається технічним рівнем ГВС, він може бути:

—високим, характеризуватися автономною роботою, автоматичним керуванням виробництвом і тримінним режимом роботи;

—середнім, із безупинним автоматизованим керуванням в умовах багатOVERSTATного обслуговування з коефіцієнтом багатOVERSTATності понад 2;

—малим, із безупинним автоматизованим керуванням в умовах багатOVERSTATного обслуговування з коефіцієнтом багатOVERSTATності не більше 2.

Залежно від ступеня автоматизації та масштабності структури в деяких літературних джерелах наводять іншу класифікацію та поділяють ГВС на гнучкі виробничі комплекси і гнучкі автоматизовані виробництва. Під терміном **гнучкий виробничий комплекс (ГВК)** розуміють ГВС, яка складається з декількох ГВМ, об'єднаних автоматизованою системою керування й автоматизованою транспортно-складською системою. ГВК функціонує автономно протягом заданого інтервалу часу та має можливість вбудовування в систему більш високого рівня масштабності й автоматизації. Під терміном **гнучке автоматизоване виробництво** розуміють ГВС, яка складається з одного чи декількох ГВК, об'єднаних автоматизованою системою керування й транспортно-складською системою.

**За ступенем гнучкості** ГВС класифікують так:

—високої гнучкості, у яких номенклатура продукції, що припадає на один ГВМ, перевищує 100 найменувань, а витрати часу на переналагодження для обробки нової деталі в межах групи становлять не більше 10% від корисного фонду часу роботи;

—середньої гнучкості, у яких номенклатура продукції, приведена на один ГВМ, становить 20–100 найменувань, а витрати часу на переналагодження знаходяться в межах 10–20%;

—малой гнучкості, у яких номенклатура продукції, приведена на один ГВМ, не перевищує 20 найменувань, а витрати часу на переналагодження перевищують 20%.

## **5.2. СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГНУЧКОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ**

**Система забезпечення функціонування** ГВС у загальному випадку—це сукупність взаємозалежних автоматизованих систем, що забезпечують проектування виробів, технологічну підготовку виробництва, керування гнучкою виробничою системою за допомогою ЕОМ, автоматичне транспортування об'єктів виробництва й технологічної оснастки.

Система забезпечення функціонування ГВС складається з таких основних систем:

—автоматизованої транспортно-складської системи, яка є сукупністю взаємозалежних автоматизованих транспортних і складських пристроїв для розкладення, зберігання, тимчасового накопичування, завантажування, розвантажування та переміщення об'єктів виробництва й технологічної оснастки (докладно в розділах 8, 9);

—автоматизованої системи управління, що здійснює постійне контролювання стану ГВС та фактичного ходу виробництва, а також керує процесом виготовлення виробів відповідно до встановленої виробничої програми (докладно в розділі 10);

—системи автоматизованого контролю або контрольно-вимірювальної системи, як її по-іншому називають у деяких літературних джерелах;

—автоматизованої системи інструментального забезпечення, яка є сукупністю ділянок для підготування або виготовлення інструментів, засобів та пристроїв для транспортування, накопичування, заміни й ко-

нтролю їх якості; іншими словами, це система взаємозалежних елементів, що забезпечують підготовку, зберігання, автоматичну установку та заміну інструментів;

—автоматизованої системи видалення відходів;

—автоматизованої системи управління технологічними процесами;

—автоматизованої системи наукових досліджень;

—системи автоматизованого проектування;

—автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва.

## **5.3. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГНУЧКОГО ВИРОБНИЦТВА**

Найбільш важливими **характеристиками ГВС**, у тому числі верстатів із ЧПУ, є продуктивність, гнучкість, ефективність, надійність і точність, вони визначаються:

—характеристиками основного (технологічного) устаткування, тобто верстатів;

—характеристиками допоміжного устаткування, а саме промислових роботів, накопичувачів, транспортних засобів, системи автоматизованого контролю тощо;

—оптимальністю розміщення устаткування, з якого складається ГВС.

### **5.3.1. Продуктивність ГВС та верстатів із ЧПУ**

**Продуктивність** є найважливішим показником ефективності виробничого процесу. Найбільш узвичаєним і зручним кількісним критерієм оцінки цього показника є продуктивність, вимірювана кількістю виробів, виготовлених за одиницю часу, наприклад, шт/год, або її обернена величина—трудомісткість виготовлення виробу. Але застосування цих критеріїв для об'єктивної оцінки продуктивності ГВС при багатноменклатурному виробництві є малоефективним, тому що за цих умов виробнича система забезпечує виготовлення ряду виробів із різною продуктивністю. У цьому разі продуктивність ГВС можна визначати тільки спільно з такими показниками, як гнучкість і мобільність. Для оцінки продуктивності певного верстата-автомата з ЧПУ можна застосовувати фактичну, циклову чи технологічну продуктивність.

**Фактична (технічна) продуктивність** верстата  $Q_\phi$  визначається з урахуванням циклових і позациклових утрат часу:

$$Q_\phi = \frac{1}{t_p + t_u + t_{mц}},$$

де  $t_p$ —час на здійснення робочих ходів, тобто продуктивно витрачений час;  $t_u$ —циклові втрати часу, пов'язані з подачею матеріалу чи встановленням і фіксацією заготовки, підведенням та відведенням робочих органів верстата й інструмента, переустановленням або перевертанням заготовки протягом обробки тощо;  $t_{mц}$ —позациклові втрати часу, які не передбачені циклом роботи й зумовлені заміною інструмента, регулюванням, ремонтом і переналагодженням верстата тощо.

**Циклова продуктивність** верстата  $Q_u$  визначається без урахування позациклових утрат часу, тобто

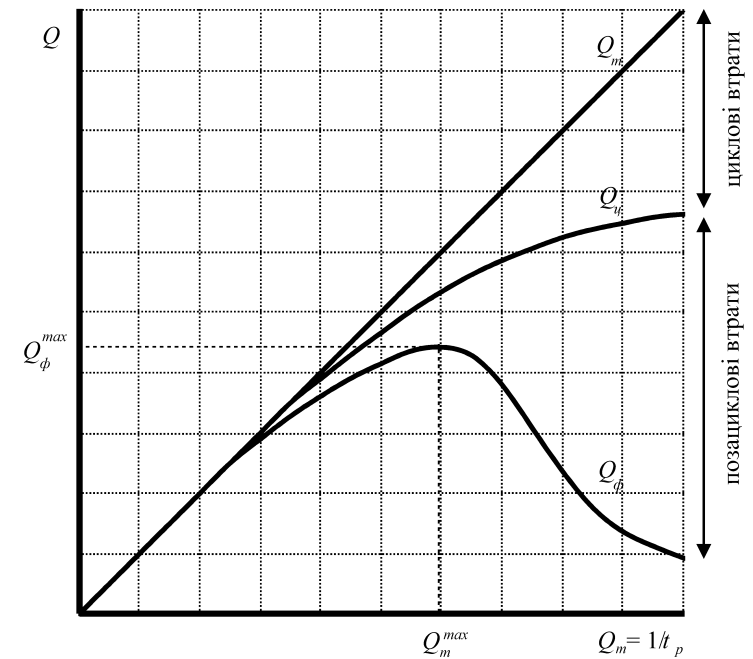
$$Q_u = \frac{1}{t_p + t_u}, \text{ якщо } t_{mц} = 0.$$

**Технологічна продуктивність**  $Q_m$  визначається тривалістю обробки за умов відсутності холостих ходів протягом робочого циклу верстата:

$$Q_m = \frac{1}{t_p}, \text{ якщо } t_u + t_{mц} = 0.$$

Вона характеризує граничні можливості технологічного процесу, покладеного в основу верстата. У цьому разі технологічна продуктивність є еквівалентом швидкості виконання технологічного процесу на «ідеальному» верстаті-автоматі безупинної дії, який не має простоїв (рис. 5.1, пряма  $Q_m$ ).

Реальний верстат має циклові втрати часу через наявність холостих ходів. Тому при збільшенні швидкості виконання технологічного процесу темпи зростання циклової продуктивності (крива  $Q_u$ ) будуть сповільнюватись, переважно через неможливість скорочення часу холостих ходів, спричинену певними експлуатаційними характеристиками верстата. При подальшому зростанні швидкості технологічного процесу починають збільшуватись позациклові втрати часу й зменшуватись фактична продуктивність (крива  $Q_\phi$ ). Це пояснюється скороченням періоду стійкості інструмента при інтенсифікації процесів обробки, тобто більше часу витрачається на заміну інструмента й налагодження верстата.



**Рис 5.1. Залежність циклової та фактичної продуктивності верстата від швидкості виконання технологічного процесу**

Таким чином, завжди існує оптимальне значення технологічної продуктивності  $Q_m^{max}$ , яке забезпечить прийнятні циклові та позациклові втрати часу й максимальну фактичну продуктивність верстата  $Q_\phi^{max}$ .

Якщо вважати, що позациклові втрати часу зумовлені також і надійністю верстата, то можна визначати фактичну й циклову продуктивність із співвідношень

$$Q_\phi = Q_u \eta_{вик}, \quad Q_u = \frac{Q_\phi}{\eta_{вик}},$$

де  $\eta_{вик}$ —коефіцієнт використання верстата. Він є добутком двох коефіцієнтів:

$$\eta_{вик} = \eta_c \eta_{пл},$$

де  $\eta_c$ —коефіцієнт готовності, який характеризує ймовірність того, що верстат буде працездатний у будь-який довільно обраний момент часу;  $\eta_{пл}$ —коефіцієнт планового використання верстата.

$$\eta_c = \frac{t_p}{t_p + t_{відм}}, \quad \eta_{пл} = \frac{t_p + t_{відм}}{t_p + t_{відм} + t_{пл}},$$

де  $t_p$ —час роботи верстата;  $t_{відм}$ —час простоїв верстата унаслідок відмов;  $t_{пл}$ —планові витрати часу на налагодження, заміну інструментів тощо. Тоді

$$\eta_{вирк} = \frac{t_p}{t_p + t_{відм} + t_{пл}}.$$

### 5.3.2. Поняття про гнучкість автоматизованого виробництва. Елементи й види гнучкості

**Гнучкість** устаткування в загальному сенсі дає можливість:

- застосовувати одну виробничу систему для виготовлення широкої номенклатури виробів;
- змінювати в будь-який момент виробничий процес і виготовляти модифіковані деталі без значних додаткових видатків;
- змінювати склад виробничої системи залежно від вимог виробництва;
- повторно використовувати значну частину наявного устаткування в разі повної зміни типу продукції.

Гнучкість визначається комплексом технічних факторів, що залежать від елементів виробничої системи на всіх рівнях.

**1. На рівні модуля обробки** гнучкість забезпечує здатність верстата:

- до виконання різних операцій для однієї деталі;
- виконання однакових або різних операцій для різноманітних деталей;
- самоналагодження при виникненні критичної ситуації, наприклад при непередбаченій зміні товщини зрізаного матеріалу, виході з ладу різального інструмента тощо;
- самоконтролю виконуваних операцій, наприклад до контролювання діаметра отворів із подальшим прийняттям рішення;
- заміни тих модулів обробки, які втратили працездатність;

—самокерування деякими периферійними пристроями, наприклад, електронним щупом, пристроєм для контролювання стану інструмента, пристроєм для очищення супутників і т. ін.

**2. На рівні модуля переміщення** гнучкість забезпечує здатність транспортного засобу чи пристрою:

- до обслуговування різних пунктів у довільних послідовностях;
- переміщення різних за формою й розмірами деталей;
- функціонування як в автоматичному, так і в ручному режимі.

**3. На рівні центрального модуля керування** гнучкість забезпечує здатність системи управління:

- до пристосування виробничої системи до випуску виробів довільної номенклатури;
- оптимізації завантаження виробничих модулів за нормальних умов експлуатації та при виникненні аварійних ситуацій;
- взаємодії з усіма засобами автоматизації гнучкої виробничої системи (наприклад, верстатами, транспортно-складською системою тощо) для передачі керуючої інформації або будь-яких засобів (наприклад, нового інструмента) при зміні номенклатури продукції.

**4. На рівні системи в цілому** гнучкість забезпечує:

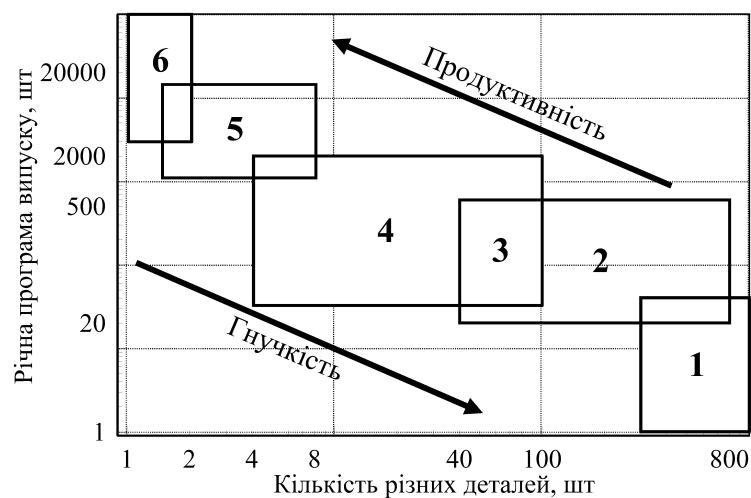
- можливість збільшення виробничої потужності та нарощування засобів автоматизації шляхом уведення в експлуатацію нових виробничих модулів;
- несприйнятливості до несправностей на більшій частині модулів системи завдяки резервуванню й надлишку;
- можливість інтеграції із системами управління підприємством або системами управління більш високого рівня.

У реальних умовах гнучкість і продуктивність устаткування дуже важко сполучити, а саме: при збільшенні гнучкості зменшується продуктивність і, навпаки, при прагненні до збільшення продуктивності неминуча втрата гнучкості (рис. 5.2). Лише комплексний аналіз цих характеристик дозволяє визначити їх оптимальне співвідношення.

Цей аналіз повинен виконуватись технологом спільно з конструктором і замовником. Результати аналізу мають сприяти визначенню впливу гнучкості застосовуваного обладнання на кінцеву собівартість продукції. У цьому випадку на собівартість продукції будуть впливати власне вартість виробництва, а також усі непрямі видатки, пов'язані з упровадженням нової виробничої системи.

Упроваджуючи системи (рис. 5.2, поз. 1), які складаються тільки з окремих верстатів типу обробний центр із ручним програмуванням

ЧПУ, можна досягти максимальної гнучкості при найнижчій продуктивності. Ці системи є найбільш застосовуваними в одиничному й дрібносерійному виробництві. Ступінь автоматизації таких систем буде дуже низьким, а через це загальна рентабельність виробництва також буде малою. Якщо підвищувати продуктивність виробництва та рівень його автоматизації, нехтуючи гнучкістю, то можна одержати протилежний результат—виробничу систему з максимальною продуктивністю й практично відсутньою гнучкістю (рис. 5.2, поз. 6). Такі системи зазвичай застосовують у масовому та великосерійному виробництві.



**Рис. 5.2. Зв'язок гнучкості та продуктивності виробничих систем із типом виробництва й ступенем його автоматизації:**

- 1—окремі верстати з ЧПУ одиничного виробництва з ручним програмуванням;
- 2—гнучкий виробничий модуль; 3—гнучкий виробничий осередок;
- 4—РТК, ГВС серійного виробництва; 5—гнучка автоматизована лінія;
- 6—стаціонарні лінії або спеціалізовані верстати масового виробництва

Сучасні засоби автоматизації виробництва надають широкий спектр рішень у проміжку між одиничним і масовим виробництвом (рис. 5.2, поз. 2–5). Можна сказати, що гнучкі системи прагнуть до поєднання переваг дрібносерійного і великосерійного виробництва.

Обробний центр із ЧПУ, оснащений накопичувачем деталей і промисловим роботом, а також автоматизований за допомогою різних периферійних пристроїв, являє собою гнучкий виробничий модуль (рис. 5.2, поз. 2). Найбільш раціональним його застосуванням буде дрібносерійне виробництво. Гнучкий виробничий осередок (рис. 5.2, поз. 3) можна створити, якщо два верстати з'єднати автоматичною системою транспортування й маніпулювання деталями та обладнати необхідними контрольними пристроями. Він може застосовуватись у дрібносерійному й серійному виробництві.

Велика частина вже впроваджених гнучких систем (рис. 5.2, поз. 4) належить до серійного виробництва. При створенні таких систем можна використовувати гнучкі модулі та осередки як конструктивні одиниці. Розбіжностями між ГВС серійного й великосерійного виробництва є менший ступінь гнучкості останніх, який компенсується більш високою продуктивністю. У цьому разі зменшується трудомісткість обробки кожної деталі за рахунок зменшення машинного часу, але зазвичай збільшується час транспортних операцій та зростають вимоги до характеристик системи транспортування.

Для великосерійного виробництва, з одного боку, характерний високий ступінь автоматизації та продуктивності. З іншого—у такого виробництва низька гнучкість і пристосовуваність до змін. Ця традиційна розбіжність між продуктивністю й гнучкістю вирішується застосуванням сучасних досягнень у галузі проектування металорізальних верстатів, інструментальних систем, впровадженням новітніх систем управління, контролю й вимірювань.

ГВС великосерійного виробництва (рис. 5.2, поз. 5) складається з певної кількості верстатів, системи транспортування й накопичення заготовок, а також системи управління з відповідним програмним забезпеченням на основі однієї чи декількох ЕОМ. Застосовувані верстати можуть бути спеціалізованими та універсальними з різним ступенем гнучкості й оснащенням додатковими спеціальними засобами.

Система транспортування може застосовуватись для транспортування заготовок, інструмента, оснастки й супутників або тільки для переміщення заготовок. Вона може бути жорсткою, наприклад, лінією на роликів із приводом, або гнучкою—на основі самохідних чи рейкових дистанційно керованих візків, виконувати транспортування заготовок до накопичувального пристрою або до верстата й установлення заготовки безпосередньо в пристрій.

Система управління може здійснювати керування тільки рухом віз-

ків чи заготовок або здійснювати комплексний контроль і керування виробництвом, зокрема верстатами, магазином з інструментами, якістю обробки тощо.

Аналізуючи технічні вимоги до виробничого процесу, виробничу програму, а також економічні аспекти, пов'язані із собівартістю продукції, необхідно визначити оптимальне співвідношення між гнучкістю й продуктивністю. Розв'язання цієї задачі можливе шляхом використання оптимізаційних методів, застосовуваних у технологічній підготовці виробництва.

**Найкращим шляхом упровадження ГВС** є поступовий перехід від простої системи, в якій передбачена можливість розширення й збільшення продуктивності, до складнішої системи, яка буде відповідати нагальним потребам виробництва й залежно від виробничої програми та номенклатури виробів здобувати відповідні характеристики. При великій номенклатурі виробів і невеликих обсягах окремих видів продукції необхідна система, орієнтована на обробні центри з максимальною гнучкістю й дещо обмеженою продуктивністю. Мала номенклатура виробів і великий обсяг окремих видів продукції зорієнтує розвиток системи головним чином на високу продуктивність при деяких утратах гнучкості.

Для будь-якої нової ГВС вибір шляхів розвитку неможливий без попереднього аналізу характеристик упроваджуваного устаткування. Іншими словами, необхідно визначити **види гнучкості**, які мають бути реалізовані у виробничій системі. Такий аналіз можна здійснити, спираючись на низку компонентів, які характеризують гнучкість із цього боку. Усі вони є фактично незалежними, визначальними є машинна і маршрутна гнучкість.

**Машинна гнучкість**—це легкість реорганізації технологічних елементів ГВС для виробництва заданої номенклатури виробів.

**Маршрутна гнучкість**—це здатність ГВС продовжувати обробку заданої номенклатури виробів при відмовах її окремих технологічних елементів.

**Гнучкість процесу**—придатність ГВС до виробництва заданої номенклатури виробів різними методами чи способами, можливо, навіть з інших матеріалів.

**Гнучкість роботи**—можливість змінювання послідовності технологічних операцій, що виконує ГВС для кожного виробу, який входить до заданої номенклатури.

**Гнучкість за продуктом**—здатність ГВС до швидкого й економіч-

ного переходу на виробництво нової номенклатури виробів.

**Гнучкість за обсягом**—приспосованість ГВС до економічного виготовлення виробів при різних виробничих програмах.

**Гнучкість за збільшенням**—можливість легкого розширення ГВС шляхом уведення нових технологічних елементів.

**Гнучкість за продукцією**—це все розмаїття виробів, які здатна виготовляти ГВС, принаймні теоретично.

**Зовнішня гнучкість**—кількість різноманітних виробів, які можуть бути виготовлені економічно.

**Внутрішня гнучкість**—приспосованість ГВС до економічного виготовлення заданої номенклатури виробів за умов швидкої зміни найменувань та послідовності їх виготовлення.

**Структурна гнучкість** ГВС зумовлюється вибором форми організації виробництва.

**Параметрична гнучкість** насамперед залежить від технологічних і експлуатаційних характеристик застосовуваного в ГВС устаткування.

**Гнучкість верстатного устаткування**—це його приспосованість до швидкого переналагодження для виготовлення іншого виробу. Такий вид гнучкості характеризується двома показниками—універсальністю й переналагоджуваністю.

**Універсальність** визначається кількістю різноманітних деталей, які підлягають обробці на даному верстаті, інакше кажучи, вона визначається номенклатурою й серійністю оброблюваних деталей. **Коефіцієнт серійності** визначається за відношенням програми випуску, що виконується на певному верстаті, до номенклатури деталей, оброблюваних цим верстатом. **Переналагоджуваність** визначається втратами часу й витратами коштів на переналагодження верстата при переході на обробку наступного найменування з номенклатури виробів. При цьому середній розмір партії визначається виробничою програмою, залежить від типу виробництва та дорівнює відношенню річного випуску деталей до кількості партій, виготовлюваних протягом року. Тобто тип виробництва та кількість партій при виборі устаткування зумовлюють потрібний рівень його переналагоджуваності.



### 5.3.3. Ефективність роботи ГВС. Економічна ефективність обробки на верстатах із ЧПУ

Високий ступінь гнучкості виробничих систем і додаткові, необхідні при впровадженні, витрати вимагають ретельного та всебічного аналізу економічної ефективності використання цих систем. Економічний ефект від упровадження ГВС не завжди можна визначити простим порівнянням вартості та інших показників основного устаткування й агрегатів. Спроби застосувати традиційні формули для підрахунку економічної ефективності впровадження ГВС часто призводять до негативного результату. Сполучення в одній системі операцій обробки, контролю якості, транспортування і т. ін. не просто додає економічного ефекту, а нелінійно його збільшує. Практика свідчить, що ефективність ГВС зростає з часом протягом певного періоду після початкових капіталовкладень. Це результат дії таких факторів:

- набуття досвіду експлуатації ГВС;
- оновлення виробництва (ГВС, впроваджені раніше, дозволяють без істотних видатків оновлювати виробництво шляхом удосконалення керуючих ЕОМ, програмного забезпечення та верстатів);
- збільшення виробничих потужностей (гнучкість системи дозволяє нарощувати виробничі потужності поетапно, а також обробляти одночасно декілька різних деталей);
- удосконалення виробів (ГВС дозволяє вдосконалювати й змінювати конструкцію виробів практично без додаткових капіталовкладень, пов'язаних із цими змінами).

Витрати на впровадження першої ГВС найвищі, але вони зменшуються з упровадженням кожної наступної системи. Комплексно оцінити ефективність упровадження ГВС можна тільки при всебічній оцінці її технічних, організаційних, економічних переваг і соціальних наслідків. Наразі уже існує ряд методик для порівняння економічної ефективності варіантів нової техніки.

**Ефективність** є інтегральним показником, що найбільш повно віддзеркалює підвищення продуктивності та зниження витрат праці при обробці деталей, вона визначається за формулою

$$A = \frac{P}{C_{\Sigma}},$$

де  $P$ —річна програма випуску виробів, шт;  $C_{\Sigma}$ —приведені річні видатки на виготовлення виробів, грн. Під час вибору верстатів необхідно

прагнути до максимальної ефективності та розглядати її як цільову функцію  $A \rightarrow \max$ . Якщо річна програма випуску  $P$  відома, то ця умова зводиться до мінімуму приведених видатків, тобто  $C_{\Sigma} \rightarrow \min$ . У такому випадку порівнювати ефективність двох верстатів можна за різницею цих видатків, а саме:

$$\Delta C = C_{\Sigma_1} - C_{\Sigma_2},$$

де індекс 1 відповідає першому, а індекс 2—другому верстату.

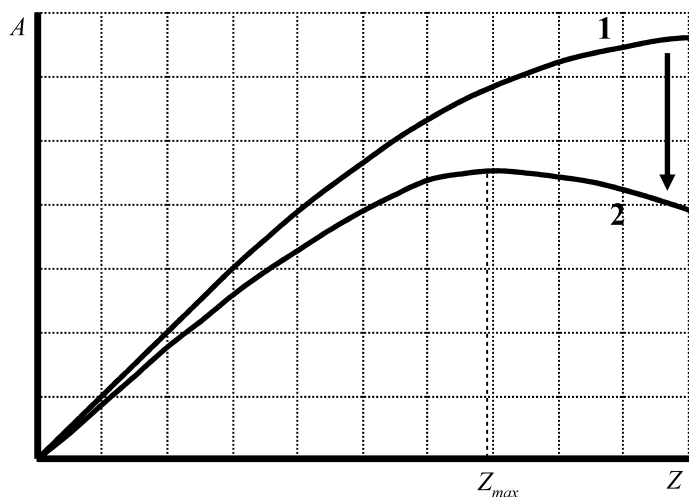
Як уже зазначалося, ефективність ГВС залежить від застосовуваного устаткування, зокрема верстатів. Проте варто зауважити, що найбільш ефективними є багатопозиційні обробні центри з високим рівнем інтеграції операцій. Уведення в експлуатацію таких систем дозволяє в 5 разів зменшити трудомісткість обробки, у 3 рази скоротити обслуговуючий персонал, майже у 2 рази зменшити вартість і терміни підготовки виробництва, у 2–4 рази підвищити коефіцієнт використання обладнання.

**Економічна ефективність** обробки деталей на верстатах-автоматах із ЧПУ полягає в підвищенні продуктивності праці завдяки:

- одночасному виконанню декількох різних рухів;
- швидкісному виконанню допоміжних рухів, які при ручному керуванні обмежуються швидкістю реакції робітника;
- виконанню контролю без зупинки верстата за допомогою системи автоматичного активного контролю;
- можливості одночасного обслуговування декількох верстатів.

Насамкінець проаналізуємо вплив останнього фактора. На рис. 5.3 показана залежність економічної ефективності від кількості верстатів, що обслуговуються одним оператором. Крива 1 показує залежність економічної ефективності багатостатної системи від кількості верстатів  $Z$  без урахування додаткових видатків на засоби автоматизації. Зі збільшенням кількості обслуговуваних верстатів одним оператором ефективність системи буде дещо зменшуватись. Це пояснюється зниженням продуктивності праці оператора за умов відсутності належних засобів автоматизації.

Крива 2 демонструє зазначену залежність з урахуванням додаткових видатків, які неминує зростатимуть із збільшенням  $Z$ . Ділянка між кривими 1 і 2 характеризує втрати темпів зростання ефективності системи, викликані додатковими витратами на автоматизацію при багатостатному обслуговуванні. Таким чином, при  $Z > Z_{\max}$  для підвищення ефективності необхідно розглянути можливість відмови від багатостатного обслуговування й інтеграції устаткування в ГВС.



**Рис. 5.3. Залежність економічної ефективності від кількості верстатів, що обслуговуються одним оператором**

Якщо розглянути залежність економічної ефективності обробки, яка визначається приведеними річними видатками на виготовлення виробів або собівартістю виробів, від типу виробництва й застосовуваного устаткування, то можна зробити такі висновки. Для одиничного й дрібносерійного виробництва при кількості деталей 1–2 шт найбільшу економічну ефективність мають універсальні верстати загального призначення, тобто ті, що забезпечують найменшу собівартість виготовлення. Дещо більша собівартість буде при використанні автоматичних систем багатоцільових верстатів.

Для цих же типів виробництва при кількості деталей 3–10 шт найменша собівартість буде при застосуванні автоматичних систем багатоцільових верстатів, причому при виготовленні десяти деталей вона значно менша, ніж при виготовленні трьох. Використання універсальних верстатів за цих умов є менш ефективним, а найгіршу ефективність матимуть спеціалізовані верстати.

Для серійного виробництва при розмірі партії 10–100 шт найбільш ефективним є застосування ГВС. Значно менша ефективність буде при застосуванні багатоцільових систем, а найгірша — при використанні спеціалізованих верстатів. При збільшенні розміру партії до 100–

1000 шт ефективність ГВС практично не змінюється. Проте зростає ефективність спеціалізованих верстатів, яка вже перевищує ефективність багатоцільових систем. При розмірі партії близько 1000 шт можна використовувати й спеціальне устаткування, ефективність якого буде в інтервалі між ефективністю спеціалізованих верстатів та багатоцільових систем.

В умовах великосерійного виробництва (при розмірі партії понад 1000 шт), а також масового (при продуктивності 50–300 шт/год) використання спеціалізованих та багатоцільових верстатів не є ефективним. За цих умов найбільша ефективність у ГВС дещо зменшеної гнучкості, трохи менша — у спеціальних верстатів. При продуктивності масового виробництва понад 300 шт/год єдиним ефективним варіантом буде застосування систем спеціальних верстатів.

### 5.3.4. Надійність функціонування ГВС

Термін **надійність** зазвичай застосовується в обмеженому значенні, як синонім безвідмовності, та означає властивість системи виконувати функції, зберігаючи задані значення параметрів протягом необхідного часу чи наробку. У широкому сенсі поняття надійність (загальна надійність) окрім безвідмовності включає також поняття довговічності, ремонтпридатності та збережності. Надійність системи закладається при проектуванні, але забезпечується тільки на етапі виробництва. Це зумовлює залежність надійності від технології виготовлення.

**Надійність верстата** — здатність забезпечити безперебійний випуск готової продукції в заданій кількості протягом визначеного терміну служби з урахуванням технічного обслуговування, ремонтів, зберігання й транспортування.

Будь-який агрегат або верстат являє собою систему, яка має бути виготовлена із заданою якістю, тобто сукупністю властивостей, що забезпечують її працездатність за призначенням. **Працездатність** характеризує такий стан системи, при якому вона в даний момент часу відповідає всім вимогам, установленим для її основних параметрів, та здатна нормально виконувати передбачені функції. **Безвідмовністю** називають властивість системи безупинно зберігати свою працездатність при визначених режимах експлуатації протягом певного часу.

Основними показниками, якими оперує теорія надійності, є відмова й пошкодження. **Відмовою** називається подія, при якій порушується

працездатність системи. **Пошкодження**—це подія, що призводить до поломки системи або її елементів під впливом зовнішніх факторів, рівень яких виходить за межі, встановлені технічними умовами експлуатації.

**Довговічність** називають властивість системи зберігати працездатність до граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й ремонтів. Показниками довговічності є ресурс і термін служби. **Ресурс** характеризує тривалість роботи системи (наробок) до граничного стану, він зазвичай указаний у технічній документації. **Термін служби**—календарний термін експлуатації системи до граничного стану чи до списання. Ресурс і термін служби встановлюються заводом-виробником як час гарантованої безаварійної роботи.

**Ремонтопридатність**—це пристосованість вузлів і механізмів системи до попередження, виявлення й усунення відмов та пошкоджень шляхом ремонту й технічного обслуговування.

**Збережність**—це властивість системи зберігати встановлені експлуатаційні показники, що відповідають налагодженому та робочому станові, протягом терміну зберігання, після зберігання й транспортування.

**Діагностування** є ефективним засобом підвищення надійності верстатів і верстатних систем.

Додатково охарактеризувати надійність системи можна за допомогою таких показників.

**Середній наробок до відмови**—середнє значення тривалості роботи об'єкта між відмовами:

$$t_{\text{відм. ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{\text{відм. } i},$$

де  $n$ —кількість відмов за встановлений період часу;  $t_{\text{відм. } i}$ —проміжок часу безвідмовної роботи.

**Коефіцієнт готовності**—відношення часу безвідмовної роботи до суми часу безвідмовної роботи й часу на ремонт.

$$\eta_c = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{відм}}},$$

де  $t_p$ —час безвідмовної роботи верстата;  $t_{\text{відм}}$ —час простоїв верстата унаслідок відмов, включаючи час ремонту.

**Імовірність безвідмовної роботи** верстата як складної системи, що складається з послідовно з'єднаних  $n$  елементів, визначається за

формулою

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

де  $P_i(t)$ —ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента.

**Інтенсивність відмов**—умовна щільність імовірності виникнення відмов за одиницю часу:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N} \frac{dN_{\text{відм}}}{dt},$$

де  $N_{\text{відм}}$ —кількість елементів, що відмовили;  $N$ —кількість працездатних елементів.

Комплексним показником надійності, що дозволяє оцінити фактичну продуктивність верстата (див. п. 5.3.1), є **коефіцієнт технічного використання**

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \lambda_i t_{\text{сп } i}},$$

де  $\lambda_i$ —інтенсивність відмов  $i$ -го елемента;  $t_{\text{сп } i}$ —середній час усунення відмов (час на відновлення).

### 5.3.5. Точність технологічного устаткування

**Кінематична точність верстата** впливає передусім на точність розмірів і форми виготовлених деталей. **Геометричну точність деталей** характеризують похибками, на величину яких впливає жорсткість (або її обернене значення—піддатливість), а також вібростійкість системи «верстат—присрій—інструмент—деталь» (ВПД) і точність позиціонування. **Похибки обробки** на верстатах із ЧПУ в більшості випадків визначаються такими основними факторами:

- неточностями, зумовленими помилками інтерполятора й режиму інтерполяції;
- похибками керуючих програм через апроксимацію;
- похибками установа, базування й закріплення заготовки на верстаті;
- похибками налагоджування інструмента й верстата на певний розмір;
- неточностями інструмента, а також його зносом;

**Припустимі накопичені похибки позиціонування  
при однобічному проході для верстатів із ЧПУ**

Показник	Переміщення, мм	Клас точності				
		Н	П	В	А	С
Накопичене відхилення по осях $Z$ і $W$ , мкм	до 125	20	10	5	2,5	1,2
	125–200	25	12	6	3,0	1,6
	200–320	30	16	8	4,0	2,0
	320–500	40	20	10	5,0	2,5
	500–800	50	25	12	6,0	3,0
	800–1250	65	30	16	8,0	4,0
	1250–2000	80	40	20	10,0	5,0
2000–3200	100	50	25	12,0	6,0	
Накопичене відхилення по осях $X$ і $Y$ , мкм	до 125	12	6	3	1,6	0,6
	125–200	16	8	4	2,0	0,8
	200–320	20	10	5	2,5	1,0
	320–500	25	12	6	3,0	1,2
	500–800	30	16	8	4,0	1,6
	800–1250	40	20	10	5,0	2,0
	1250–2000	50	25	12	6,0	2,5
2000–3200	65	30	16	8,0	3,0	
Середньоквадратичне відхилення, мкм	до 125	2,0	1,0	0,5	0,3	0,1
	125–200	2,5	1,2	0,6	0,3	0,2
	200–320	2,5	1,2	0,6	0,3	0,2
	320–500	4,0	2,0	1,0	0,5	0,2
	500–800	6,0	3,0	1,6	0,8	0,4
	800–1250	6,0	3,0	1,6	0,8	0,4
	1250–2000	6,0	3,0	1,6	0,8	0,4
2000–3200	10,0	5,0	2,5	1,2	0,6	

Примітки:

1. Дискретність інформації й відхилення по кроку шкали пристрою зворотного зв'язку для класів точності: Н—10 мкм, П—5 мкм, В—2 мкм, А та С—1 мкм.

2. Роздільна здатність засобів перевірки для класів точності: Н і П—1 мкм; В—0,5 мкм; А—0,2 мкм; С—0,1 мкм.

Обмежування припустимих похибок верстатів із ЧПУ має істотне практичне значення. Точність зупинення (позиціонування) на заданій

- тепловими деформаціями під час обробки;
- внутрішніми напруженнями в оброблюваному матеріалі;
- малою жорсткістю системи ВПД;
- помилками налагодника й оператора.

Ці похибки можна класифікувати за такими ознаками.

**За статистичними показниками** похибки бувають систематичними й випадковими. Систематична похибка—це різниця між математичними очікуваннями вхідної та вихідної функцій, тобто між значеннями, заданими кресленнями або таблицями, та цими ж параметрами, реально одержаними на деталі. Випадкова похибка зазвичай є наслідком тимчасового впливу непередбачуваних факторів.

**За джерелом похибок.** Практично всі вузли й агрегати верстата вносять систематичні та випадкові похибки. Основними джерелами цих похибок є система підготовки керуючих програм, а також компоненти системи ЧПУ, привода подач і технологічної системи ВПД.

**За геометричним видом**—макро- та мікропохибки. Макропохибками є відхилення форми поверхонь деталі від креслень або аналітично заданих контурів. Мікропохибки являють собою шорсткість поверхонь деталі.

**За режимом роботи**, у якому виникають похибки. Він може бути стаціонарним і нестаціонарним. Стаціонарний—це усталений режим, у якому розглядувані функції мають імовірнісні характеристики, а саме, математичне очікування й дисперсію, які не залежать від часу. Нестационарний режим є перехідним, коли розглядувані функції мають певні тенденції до змін протягом часу, а їх імовірнісні характеристики залежать від вибору моменту відліку.

Під час обробки можуть виникати **похибки непогодженості**. Вони визначаються розбіжністю миттєвого значення будь-якого розглядуваного параметра з його величиною, заданою керуючою програмою.

**Точність верстатів** із ЧПУ регламентується п'ятьма класами точності й відповідно позначається індексами: Н—нормальної точності, П—підвищеної точності, В—високої точності, А—особливої точності, С—надвисокої (особливо високої) точності. Параметрами точності верстатів із ЧПУ є граничні значення накопичених відхилень уздовж координатних осей  $X$ — $Y$  та  $Z$ — $W$ , а також середні квадратичні відхилення в мікрометрах (табл. 5.1).

координаті є одним з основних показників точності для всіх типів верстатів як із позиційними, так і контурними системами ЧПУ.

Точність обробки залежить не тільки від уже зазначених технологічних факторів, а й від конструкції верстата та його елементів. При вдосконалюванні або проектуванні нових верстатів із ЧПУ прагнуть до підвищення точності обробки. Це досягається усуненням конструктивних похибок, зумовлених:

- піддатливістю технологічної системи верстата;
- зазорами в кінематичних ланцюгах верстата, неврахованими зворотним зв'язком;
- швидкісною характеристикою привода стеження;
- мінливістю коефіцієнтів підсилювання для приводів подач по різних координатах, а також їх залежністю від величини подачі;
- періодичною внутрішньокроковою похибкою фазових датчиків зворотного зв'язку, яка призводить до появи хвилястості на оброблюваній поверхні; у цьому разі крок поверхневої хвилі залежить від розміру фази (кута обертання, що дорівнює кроку датчика) привода стеження й кута нахилу утворюваного контуру до координатних осей верстата;
- стрибкоподібним рухом приводів, що призводить до погіршення якості обробки.

Підвищені вимоги до точності й вібростійкості визначають тенденції до зменшення піддатливості елементів і вузлів механічної частини верстатів із ЧПУ в середньому на 40–50% порівняно з універсальними верстатами. Ще одним шляхом підвищення точності є застосування адаптивних систем ЧПУ, що мають зворотний зв'язок. Ці системи різними непрямими методами характеризують деформацію елементів конструкції верстата й інструмента та вносять відповідні корективи в алгоритми керування. Компоненти, які реалізують зворотний зв'язок, завжди розташовують якомога ближче до кінцевої ланки верстата—робочого органа, намагаючись охопити якнайбільше його кінематичних елементів.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5

1. За якими ознаками виконують класифікацію гнучких виробничих систем?
2. З яких елементів складається роботизований технологічний комплекс?

3. Що розуміють під терміном «гнучкий виробничий модуль»?
4. З яких елементів складається гнучкий виробничий осередок?
5. Яким чином класифікують гнучкі виробничі системи залежно від ступеня автоматизації та масштабності структури?
6. Яким чином класифікують гнучкі виробничі системи за ступенем гнучкості?
7. Які функції виконує система забезпечення функціонування ГВС?
8. З яких основних елементів складається система забезпечення функціонування ГВС?
9. Які характеристики ГВС вважають найбільш важливими?
10. Що розуміють під продуктивністю ГВС та як її визначають?
11. Як визначається фактична продуктивність устаткування?
12. Як визначається циклова продуктивність устаткування?
13. Чому при підвищенні швидкості виконання технологічного процесу більше певного значення фактична й циклова продуктивність починають зменшуватись?
14. Які загальні технологічні можливості можна реалізувати завдяки гнучкості устаткування?
15. Які виділяють рівні гнучкості?
16. Який зв'язок мають гнучкість і продуктивність виробничої системи?
17. Як гнучкість застосовуваного устаткування залежить від типу виробництва?
18. Які види гнучкості можуть бути реалізовані у виробничій системі?
19. За якими критеріями визначається ступінь універсальності устаткування?
20. Які фактори зумовлюють необхідний рівень переналаджувальності застосовуваного устаткування?
21. Чому в процесі експлуатації гнучкої системи її економічна ефективність постійно збільшується протягом певного часу?
22. Як можна порівняти ефективність застосування різних варіантів устаткування для виготовлення однакових виробів?
23. Якими показниками визначається надійність верстата?
24. За яких умов виникають похибки обробки деталей на верстатах, що є джерелом цих похибок?
25. Якими показниками регламентується точність верстатів із ЧПУ?
26. Якими конструктивними шляхами підвищують точність верстатів із ЧПУ?

## Частина II ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ГНУЧКОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

### Розділ 6 ВЕРСТАТНА СИСТЕМА ГВС

#### 6.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕРСТАТНИХ СИСТЕМ

Вже було зазначено, що сучасне машинобудування приблизно на три чверті має середньосерійний і дрібносерійний характер виробництва. Швидке оновлення номенклатури машин, зростання їх складності і точності приводить до необхідності швидкого переналагоджування виробництва на підприємствах. Організаційно-технічні засоби, ефективні при масовому однономенклатурному типі виробництва, стають гальмом для відновлення продукції. Отже, необхідно застосовувати швидкопереналагоджувальні високопродуктивні верстатні системи.

**Гнучка верстатна система**—це керована сукупність верстатів і допоміжного устаткування, призначена для обробки однієї чи кількох подібних або широкої номенклатури заготовок на основі одного, декількох чи різних маршрутних технологічних процесів. Автоматичні верстатні системи функціонують без участі людини, автоматизовані—за участю людини. Склад устаткування верстатної системи визначається конструктивно-технологічними характеристиками оброблюваних деталей, а також застосовуваними транспортно-складськими засобами, промисловими роботами, залежить від системи управління та низки інших факторів, що відображають специфіку виробництва.

**За призначенням** обладнання ГВС можна поділити на такі групи:

- устаткування для виготовлення заготовок: ливарне; кувально-пресове; пресове; штампувальне; для формування виробів із пластмас і порошків; для здійснення допоміжних операцій карбування, рихтування, виправлення, згинання, пробивання отворів тощо;
- металорізальне устаткування;
- устаткування для термообробки, нанесення покриттів, складальних, зварювальних та інших операцій.

#### 6.1.1. Класифікація металорізального устаткування

**Металорізальні верстати**—це машини для розмірної обробки заготовок шляхом видалення шару матеріалу. До верстатів відносять і технологічне устаткування, в якому для обробки застосовуються електрофізичні й електрохімічні методи, електронне чи лазерне випромінювання, поверхневе пластичне деформування і деякі інші види обробки. Верстати, на яких виконуються різні операції при автоматичній зміні різальних інструментів, називають багатоопераційними чи обробними центрами.

**Класифікація металорізальних верстатів** здійснюється за різними ознаками. Далі наведена досить докладна класифікація верстатів, яка максимально узагальнює дані про устаткування, наведені у відомих літературних джерелах, та дозволяє дещо спростити процес його вибору.

1. За ступенем автоматизації—автомати й напівавтомати.
2. За призначенням—одноцільові та багатоцільові.
3. За ступенем універсальності—спеціальні, спеціалізовані, універсальні.
4. За характером виконуваних робіт або за видами основних операцій обробки—токарні, фрезерні, свердлильні, координатно-розточувальні, свердлильно-фрезерні, фрезерно-розточувальні, свердлильно-фрезерно-розточувальні, шліфувальні, зуборізарізувальні, багатоцільові (багатоопераційні), для електрофізичної обробки тощо.
5. За компонованням—вертикальні, горизонтальні, нахилені.
6. За типом приводу—з гідро-, пневмо-, електроприводом.
7. За ступенем точності—нормальної, підвищеної, високої, особливої та особливо високої (майстер-верстати).
8. За кількістю використовуваного інструменту—одноінструментальні, багатоінструментальні й багатоцільові.

**Багатоінструментальними** вважають верстати з кількістю інструментів до 12. Верстати, що забезпечують особливо високу концентрацію операцій, мають понад 12 інструментів й оснащені спеціальним магазином для розміщення інструментів, називають **багатоцільовими**. Особливістю багатоцільових верстатів є наявність стола чи ділильного пристрою з періодичним або безперервним рухом за керуючою програмою.

9. За принципом побудови технологічного процесу—однопозиційні для одночасної обробки однієї деталі, наприклад із декількох боків, та багатопозиційні для одночасної обробки декількох деталей. При багатопозиційній обробці одним різальним інструментом час обробки одні-

єї деталі залежить від вибраної схеми обробки—послідовної, паралельної, паралельно-послідовної, роторної або безперервної (табл. 6.1).

**Схеми обробки** на багатопозиційних багатошпиндельних верстатах, на прикладі багатошпиндельного токарного верстата-автомата, такі:

—паралельна (рис. 6.1, а);

—паралельно-послідовна:

—завантаження декількох заготовок у позиції обробки та вивантаження після неї (рис. 6.1, б);

—вивантаження деталей і завантаження заготовок під час обробки інших заготовок (рис. 6.1, в);

—завантаження заготовок у двох сусідніх позиціях при подвійній індексації шпиндельного барабана, тобто при його повертанні на дві позиції (рис. 6.1, г);

—послідовна (рис. 6.1, д);

—роторна (рис. 6.1, е).

Час обробки однієї деталі на багатошпиндельних верстатах також залежить від вибраної схеми обробки.

**9.1.** Однопозиційні верстати можна класифікувати за конструктивними особливостями, які також впливатимуть на схему побудови технологічного процесу обробки. За цією ознакою в деяких літературних джерелах наводять таку класифікацію:

—для обробки заготовок в одному положенні застосовуються верстати з нерухомим пристроєм;

—для обробки деталей у декількох положеннях застосовуються верстати: з ділильним пристроєм; із ділильним столом або барабаном; із ділильним прямокутним столом.

**9.2.** Багатопозиційні верстати за конструктивними особливостями класифікують таким чином:

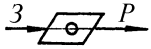
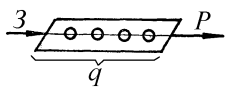
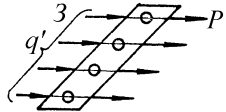
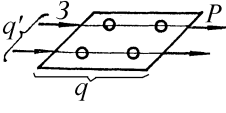
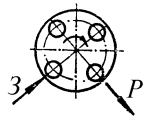
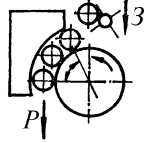
—верстати, що забезпечують прямолінійний рух заготовок;

—верстати, що забезпечують рух заготовок по колу. Останні можуть мати рухомий або нерухомий пристрій, розташований: на поворотному круглому столі; поворотному кільцевому столі; обертовому барабані.

**10.** За принципом управління рухом (типом системи управління) відповідно до розв'язуваних технологічних задач—позиційні (свердильно-розточувальні), контурні (токарні, фрезерні, шліфувальні) і комбіновані (багатоопераційні).

Таблиця 6.1

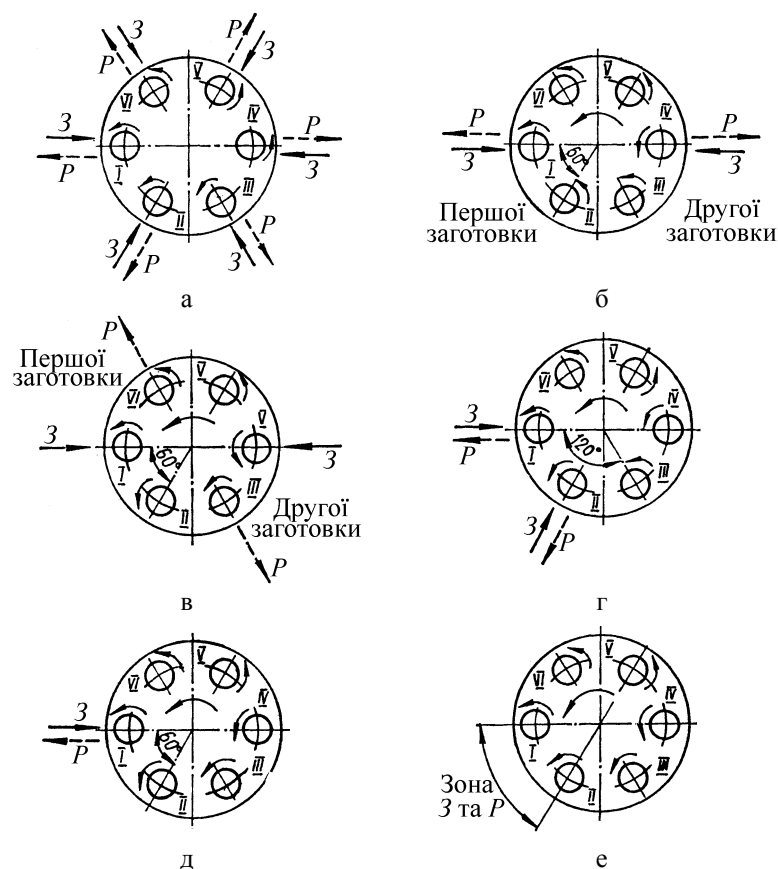
Схеми побудови технологічних процесів для верстатів із ЧПУ

Схема	Вид обробки	Тривалість циклу з розрахунку на одну деталь
	однопозиційна	$t_p + t_u$
	багатопозиційна послідовна	$\frac{t_p}{q} + t_u$
	багатопозиційна паралельна	$\frac{t_p + t_u}{q'}$
	багатопозиційна паралельно-послідовна	$\frac{t_p + qt_u}{q'q}$
	багатопозиційна роторна	$\frac{t_p}{z}$
	багатопозиційна безперервна	$\frac{t_p}{n}$

Позначення:

3—завантаження; P—розвантаження;  $t_p$ —час на здійснення робочих ходів, тобто продуктивно витрачений час;  $t_u$ —циклові втрати часу, пов'язані з

подачею матеріалу чи встановленням і фіксацією заготовки, підведенням та відведенням робочих органів верстата й інструмента, переустановленням або перевертанням заготовки протягом обробки тощо;  $q$ —кількість послідовних позицій;  $q'$ —кількість паралельних позицій;  $z$ —загальна кількість позицій;  $n$ —кількість деталей, охоплюваних різальним інструментом під час обробки.



**Рис. 6.1.** Схеми побудови технологічних процесів на прикладі багатопиндельного токарного верстата: З—завантаження; Р—розвантаження

**Позиційне керування**—ЧПУ, при якому робочі органи верстата переміщуються в задані положення, причому траєкторії переміщення не задаються. **Контурне керування**—ЧПУ, при якому робочі органи верстата переміщуються за заданою траєкторією, із заданою швидкістю для одержання певного контуру обробки. **Комбіноване керування** поєднує функції позиційного й контурного ЧПУ.

**11.** За наявності зворотного зв'язку в системі керування—розімкнуті й замкнуті. Джерелом інформації зворотного зв'язку є технологічний процес. Ця інформація включає дані про фактичне положення та швидкість руху робочого органа, розмір оброблюваної поверхні, температурні й силові деформації в системі ВПД, температуру в зоні різання, рівень вібрацій і т. ін.

**Системи керування без зворотного зв'язку** (розімкнуті)—циклічні, жорсткі та програмні, використовують тільки задану інформацію (програму керування). У таких системах відсутній контроль виконання програми й використовується тільки один потік інформації. Задана інформація переробляється у форму, зручну для керування приводом, що виконує певний перехід операції технологічного процесу.

**Системи керування зі зворотним зв'язком** (замкнуті)—рефлекторні, адаптивні, ациклічні. Вони опрацьовують задану інформацію на підставі аналізу інформації зворотного зв'язку, яка містить дані про фактичну швидкість руху робочого органа та його положення, закінчення циклу обробки або його окремих частин тощо. Тобто вони адаптують характеристики технологічного процесу, задані програмою керування, залежно від дії різних зовнішніх факторів, що вносять похибки в процес обробки.

**12.** За масою верстата, яка пов'язана з розмірами оброблюваних заготовок, верстата бувають легкими (до 1000 кг), середніми (1000—10000 кг) й важкими (понад 10000 кг). Останні також називають унікальними.

### 6.1.2. Індикація металорізального устаткування і моделей систем ЧПУ

Позначення моделей верстатів виконується залежно від призначення, методів обробки тих чи інших поверхонь, виконання відповідних технологічних операцій та застосовуваного різального інструменту. За цими ознаками верстата поділяють на дев'ять груп: 1—токарні; 2—



свердильні й розточувальні; 3—шліфувальні, полірувальні, доводочні, заточувальні; 4—комбіновані та для фізико-хімічної обробки; 5—зубо-та різьоброблювальні; 6—фрезерні; 7—стругальні, довбальні, протяжні; 8—розрізувальні; 9—різні. Кожна група містить дев'ять типів (від 0 до 8), які уточнюють призначення й конструктивні особливості верстата. У позначенні конкретних моделей верстатів перша цифра вказує на групу верстата, а друга на його тип. Наприклад, 10—токарні спеціалізовані, 16—токарні й токарні лобові; 21—вертикально-свердильні; 37—плоскошліфувальні; 56—різєфрезерні; 95—для випробувань інструментів тощо (докладніше див. табл. 6.2).

Наступні цифри в позначенні характеризують розмір робочого простору, тобто максимально припустимі розміри обробки. Верстати найбільш поширених технологічних груп утворюють розмірні ряди, в яких за кожним верстатом закріплений цілком визначений діапазон розмірів оброблюваних заготовок. Наприклад, у групі токарних верстатів можливості верстата характеризуються циліндричним робочим простором, а багатоопераційних верстатів—прямокутним робочим простором. За основним розміром робочого простору—максимальним діаметром для токарних верстатів або шириною стола для фрезерних і багатоопераційних верстатів—установлюють ряд стандартних значень, зазвичай у геометричній прогресії з деяким знаменником  $\phi$ . Так, для верстатів токарної групи прийнятий  $\phi = 1,25$  та стандартний ряд найбільших діаметрів обробки—250, 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000 мм.

Як було зазначено раніше, універсальні верстати й верстати з ЧПУ поділяють на класи точності й відповідно позначають індексами: Н—нормальної точності, П—підвищеної точності, В—високої точності, А—особливої точності, С—надвисокої (особливо високої) точності. Параметрами точності верстатів із ЧПУ є граничні значення накопичених відхилень уздовж координатних осей  $X$ – $Y$  та  $Z$ – $W$ , а також середні квадратичні відхилення в мікрометрах.

Відповідно до класифікації систем програмного управління прийнята певна схема позначення верстатів. До основного позначення верстата додають один з індексів: Ц—верстати з цикловим управлінням, Ф1—верстати з цифровою індексацією положення робочих органів, а також верстати з цифровою індексацією та ручним введенням даних, Ф2—верстати з позиційними та прямокутними системами ЧПУ, Ф3—верстати з контурними системами ЧПУ, Ф4—верстати з універсальними комбінованими (змішаними) системами ЧПУ для позиційної та контурної обробки.

Таблиця 6.2

Позначення моделей металорізальних верстатів

Найменування	Група	0				1				2				3				4				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Токарні	1	спеціалізовані	одношпиндельні	багатошпиндельні	револьверні	свердильно-відрізні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свердильні й розточувальні	2	—	вертикально-свердильні	одношпиндельні	багатошпиндельні напівавтомати	координатно-розточувальні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Шліфувальні, полірувальні, доводочні, заточувальні	3	—	круглошліфувальні	внутрішньо-шліфувальні	обдирно-шліфувальні	спеціалізовані шліфувальні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Комбіновані й фізико-хімічної обробки	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Зубо- й різьоброблювальні	5	різєнарізувальні	зубостругальні для циліндричних коліс	зуборізальні для конічних коліс	зубофрезерні для циліндричних коліс і шліфових великів	для нарізування черв'ячних коліс	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Фрезерні	6	—	вертикально-фрезерні консольні	фрезерні безупинної дії	—	копіювальні й гравірувальні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Стругальні, довбальні, протяжні	7	—	поздовжні одностоякові	поздовжні двостоякові	—	довбальні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Розрізувальні	8	—	відрізні, працюючі різцем	відрізні, працюючі абразивним колом	—	правильно-відрізні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Різні	9	—	муфто- й грубообробні	пилконасічні	бесцентровообдирні	правильні	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Найменування	Група	Тип			
		5	6	7	8
Токарні	1	карусельні	токарні й лобові	багаторізцеві	спеціалізовані
Свердлильні й розточувальні	2	радіально-свердлильні	розточувальні	алмазно-розточувальні	горизонтально-свердлильні й центрові
Шліфувальні, полірувальні, доводочні, заточувальні	3	—	заточувальні	плоскошліфувальні	притиральні і полірувальні
Комбіновані й фізико-хімічної обробки	4	—	—	—	—
Зубо- й різьоброблювальні	5	для обробки торців зубів коліс	різєфрезерні	зубооздоблювальні, перевірні й обкатні	зубо- й різьшлифувальні
Фрезерні	6	вертикальні безконсольні	поздовжні	широкоуніверсальні	горизонтально-фрезерні консольні
Стругальні, довбальні, протяжні	7	протяжні горизонтальні	—	протяжні вертикальні	—
Розрізувальні	8	стрічкові пилки	дискові пилки	пилки-ножівки	—
Різні	9	для випробування інструментів	ділильні машини	балансувальні	—

Крім того, введено індекси, що вказують на додаткові конструктивні особливості верстатів, пов'язані з автоматичною зміною інструмента: Р—зміна інструмента поворотом револьверної головки, М—зміна інструмента з магазину. Індекси Р та М записують перед індексами, що позначають систему ЧПУ. Наприклад, РФ2—верстат із позиційною системою ЧПУ й револьверною інструментальною головкою, МФ3—верстат із контурною системою ЧПУ й магазином інструментів.

Загальний приклад: позначення верстата 10И611ПМФ3 свідчить, що це токарний верстат (1), спеціалізований гвинторізний (0), чергової модифікації (И), підвищеної точності (П), має інструментальний магазин (М) і оснащений контурною системою ЧПУ (Ф3). Багато моделей верстатів мають іншу літерно-цифрову індексацію, прийняту заводом-виробником.

## 6.2. КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ВЕРСТАТІВ ІЗ ЧПУ

Крім основної операції, пов'язаної зі зміною форми й розмірів заготовки, на верстаті необхідно здійснювати допоміжні операції зміни заготовок, їх фіксації, вимірювання, а також операції зміни різального інструмента, контролю його стану та стану всього верстата. У зв'язку з великою розмаїтістю функцій, виконуваних на верстатах, їх доцільно розглядати як систему, що складається з декількох функціональних елементів і вузлів.

**Несуча система** верстата складається з набору послідовно з'єднаних між собою базових деталей і вузлів. З'єднання можуть бути нерухомими—**стиками** чи рухомими—**напрямними**. Несуча система забезпечує правильність взаємного розташування різального інструмента й заготовки під час впливу силових і температурних факторів. Механічні базові вузли верстатів із ЧПУ виготовляють із підвищеною точністю, жорсткістю, вібростійкістю й надійністю, тому що верстати з ЧПУ є дорогим автоматизованим устаткуванням і повинні працювати більше двох змін на добу.

**Станини** верстатів із ЧПУ є основними базовими елементами, оскільки на них розміщують напрямні верстатів. Станини переважно мають вертикальне чи нахилене розташування площини напрямних для забезпечення сходу стружки. Зустрічаються такі різновиди цих деталей:

—чавунні станини, які оснащені загартованими та шліфованими

сталевими напрямними—роликівими котіння й гідростатичними;

—зварні станини й стояки які мають загартовані напрямні, найчастіше прямокутної форми; спеціальна технологія зварювання та термообробки забезпечує збереження первісної точності на тривалий час.

**Напрявні** бувають ковзання, котіння та комбінованими. У верстатах із ЧПУ найбільшого застосування одержали напрямні котіння й комбіновані, також широко застосовуються гідростатичні, аеростатичні та інші види цих деталей. Під час обробки деталей рухомі елементи верстатів у ряді випадків необхідно закріплювати. Це здійснюється різними **затискними пристроями**.

Напрявні котіння, зокрема їх варіант із циркулюючими роликами (які деколи називають танкетками), монтують на станині за допомогою різних регулюючих пристроїв. У таких напрямних використовують загартовані сталеві планки, по яких переміщуються попередньо навантажені роликіві опори. Недоліками напрямних котіння є деяке подорожчання конструкції та знижена демпфівувальна здатність у напрямку переміщень. Для усунення останнього недоліку у верстатах використовують комбіновані напрямні котіння-ковзання.

**Головний привод** верстата надає рух інструменту чи заготовці для здійснення процесу різання з відповідною швидкістю. До головного привода верстатів із ЧПУ висувають вимоги до підвищеної потужності й безступінчастого регулювання швидкості при керуванні від системи ЧПУ. Використовують такі типи головного привода: з асинхронним електродвигуном; регульованим електродвигуном постійного струму; електродвигуном, застосовуваним разом із гідропідсилювачами.

У переважній більшості верстатів головний привод надає обертального руху **шпинделю**, у якому закріплений різальний інструмент або заготовка. До шпинделя верстата з ЧПУ висувають вимоги щодо підвищеної жорсткості й високої точності обертання. Особливе значення в шпиндельних вузлах верстатів приділяється тепловідводу, що зазвичай здійснюється спеціальною системою змащення та охолодження.

**Привод подач** необхідний для переміщення інструмента відносно заготовки для формування оброблюваної поверхні. У більшості випадків привод подач надає рухомому вузлові верстата прямолінійного руху. Сполучанням декількох прямолінійних, а іноді й обертальних рухів можна реалізувати будь-яку просторову траєкторію. Привод подач для верстатів із ЧПУ повинен задовольняти таким вимогам:

—забезпечувати розширений діапазон регульованих подач—від 1 до 10000 мм/хв;

—мати підвищену жорсткість кінематичних ланцюгів і плавність ходу, особливо при повільних переміщеннях;

—забезпечувати безпосереднє керування системою ЧПУ;

—мати підвищену довговічність.

У верстатах із ЧПУ використовують такі типи приводів подач:

—механічний привод від асинхронного двигуна через коробку подач із перемиканням від електромагнітних муфт;

—привод від електродвигуна постійного струму, що має перетворювачі для регулювання частоти обертання в широких межах, наприклад, із тиристорним регулюванням;

—електричний привод із використанням низькообертового двигуна постійного струму (1000 об/хв) на високоенергетичних постійних магнітах; цей привод у металорізальних верстатах із ЧПУ часто з'єднують безпосередньо з ходовим гвинтом верстата без проміжного редуктора;

—гідропривід від гідроциліндрів або гідродвигунів, при цьому гідродвигун зазвичай установлюють на кінцеву ланку привода.

З метою здійснення адаптивного керування використовуються приводи подач, оснащені датчиками осьової складової сили різання.

**Електричний кроковий двигун.** Його широко застосовують у приводі подач металорізальних верстатів із ЧПУ. Він являє собою синхронний механізм із декількома обмотками й реактивним ротором. Кут повороту ротора може складати 1,5° чи 3°, а частота імпульсів понад 800 Гц. Такий двигун забезпечує швидкість подачі при ціні імпульсу 0,01 мм у межах 1,2–10,0 мм/хв.

**Електрогідравлічний кроковий привод.** Через те що крокові електродвигуни мають невелику потужність, збільшення крутного моменту забезпечують гідравлічні підсилювачі. Крутний момент збільшується завдяки використанню енергії мастильного потоку від гідростанції. У верстатах із ЧПУ використовують гідропідсилювачі моменту з кроковим електродвигуном і малоінерційним високомоментним гідроприводом.

**Слідкуючий електропривод.** Основною особливістю електродвигунів, застосовуваних у слідкуючих приводах, є широкий і плавний діапазон регулювання швидкостей зі зміною напрямку обертання. Найбільшого застосування з цією метою набули електродвигуни постійного струму, що мають поряд із плавністю регулювання швидкостей у широкому діапазоні й досить високий коефіцієнт корисної дії. Такий привод для механізмів головного руху верстатів із ЧПУ забезпечує вибір швидкості різання, а також її корекцію під час різання із застосуванням адаптивних пристроїв.

**Привод позиціонування** необхідний у багатьох верстатах для переміщення того чи іншого вузла верстата з деякої початкової позиції в іншу задану, наприклад, при послідовній обробці декількох отворів або декількох рівнобіжних площин на одній заготовці. У багатьох сучасних верстатах із ЧПУ функції приводів подачі і позиціонування виконує один загальний привод.

**Система маніпулювання** забезпечує доставку заготовок до місця обробки, їх фіксацію в заданій позиції, переміщення до місця контролю й вимірювань і, нарешті, виведення готових виробів із робочої зони верстата. Таким чином, система маніпулювання забезпечує потік матеріалу, що проходить через робочу зону верстата в процесі обробки. Додаткові функції системи маніпулювання необхідні також для зміни різальних інструментів і додаткових пристроїв.

**Маніпуляційні пристрої** потрібні для автоматизації різних допоміжних рухів, тобто для зміни заготовок та їх фіксації, переміщення, повертання, зміни різальних інструментів, видалення стружки тощо. Сучасний багатоопераційний верстат має набір маніпуляторів, транспортерів, поворотних пристроїв, а в деяких випадках обслуговується промисловим роботом.

**Система автоматичної зміни інструмента.** Наявність цієї системи є однією з головних особливостей багатоцільових і багатоінструментальних верстатів із ЧПУ. У загальному випадку для автоматизації зміни інструмента використовують сукупність пристроїв і механізмів, що складається з двох основних елементів:

—револьверної головки чи магазина, які створюють запас інструментів, достатній для обробки однієї або декількох заготовок;

—автооператора—пристрою для автоматичної зміни інструмента, який передає інструмент із магазина в шпindel верстата й навпаки.

Зміна інструмента виконується за різними схемами. Залежно від компонування верстата, можна умовно виділити п'ять схем (рис. 6.2).

1. *Схема зміни інструментів при співвісному розташуванні інструментів у гнізді магазину й шпинделі верстата* (рис. 6.2, а). У пристрої на 12 інструментів магазин виконаний у вигляді масивного барабана з нахиленою віссю повороту. Вісь інструментального гнізда, що знаходиться в момент зміни інструмента в нижньому положенні, сполучається з віссю шпинделя.

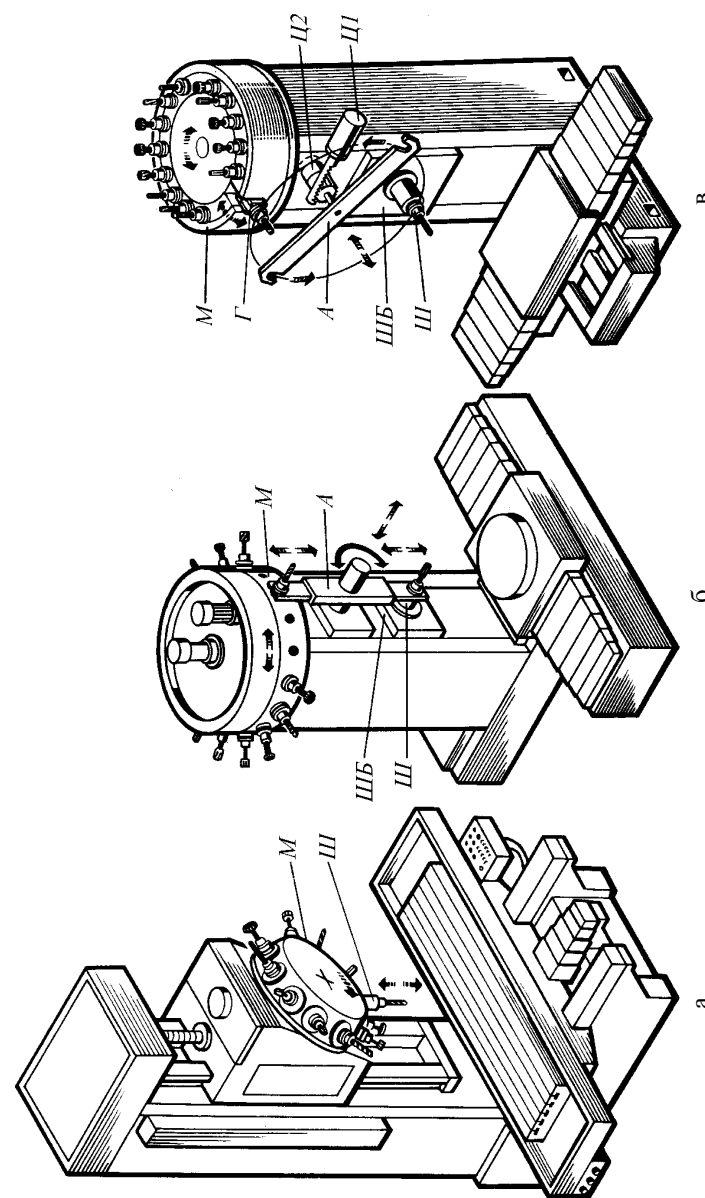
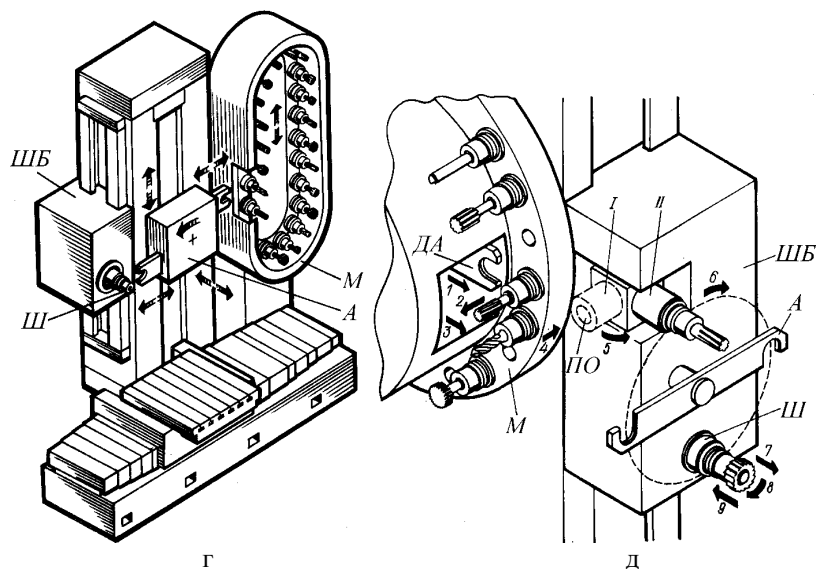


Рис. 6.2. Схеми зміни інструментів (також див. закінчення):

М—магазин; Ш—шпindel; ШБ—шпindelна бабка; А—автооператор; Г—втулка-гніздо; Ц1, Ц2—гідроциліндри



**Закінчення рис. 6.2. Схеми зміни інструментів:**

Ш—шпиндель; ШБ—шпиндельна бабка; М—магазин; А—автооператор;  
 ДА—додатковий автооператор; ПО—позиція очікування

При ході пінолю вниз шпиндель захоплює інструмент за оправку й переміщує його до заготовки. Оправка в шпинделі затискається автоматично. При переміщенні пінолю у верхнє положення оправка з інструментом автоматично від'єднується від шпинделя й залишається в гнізді магазину. При крайньому верхньому положенні шпинделя магазин повертається та відбувається пошук наступного, заданого програмою інструмента. Кут повороту визначається номером гнізда, у якому знаходиться потрібний інструмент. Після використання інструмент повертається в те ж гніздо.

Пошук інструмента відбувається при зупиненому шпинделі, у його верхньому положенні. Час на поворот магазину не суміщається з машинним часом. У деяких верстатах магазин (револьверна головка) переміщується разом із шпинделем.

Розглянута схема має істотні недоліки:

—піноль шпинделя виконує тривалі допоміжні ходи, необхідні для подачі інструмента в робочу зону;

—через збільшений виліт жорсткість шпиндельного вузла недостатня для точної обробки чавунних і сталевих заготовок;

—максимальна сміність магазину обмежена граничними габаритними розмірами, а також необхідністю розміщення гнізд для інструментальних оправок на значній проміжній відстані, бо інакше інструменти, які не працюють і виступають із гнізд, будуть заважати інструменту в робочій позиції;

—під час вибору іншого інструмента магазин має відводитись на значну відстань від заготовки;

—інструментальний магазин знаходиться в робочій зоні верстата чи в безпосередній близькості від неї, при цьому інструмент, що різє в цей час, інші інструменти, а також механізми магазину легко забруднюються металевим пилом, розприскуваною мастильно-охолодною рідиною та дрібною стружкою.

2. *Схема зміни інструментів при паралельному розташуванні інструментів у гнізді магазину й шпинделі верстата* (рис. 6.2, б). У цьому випадку переміщення й зміна інструментів здійснюються за допомогою автооператора. При зміні інструментів автооператор виконує хід уверх і захоплює оправку нового інструмента, який знаходиться в гнізді магазину. Одночасно уверх піднімається шпиндельна бабка зі шпинделем, і оправка із замінюваним інструментом входить у нижній схоплювач автооператора. Далі автооператор витягає обидві оправки в напрямку осі шпинделя та повертається навколо своєї осі на 180°, тим самим підводячи до шпинделя новий інструмент. Зворотним ходом уздовж осі інструмент «заштовхується» у шпиндель і автоматично закріплюється. Одночасно замінюваний інструмент повертається в гніздо магазину.

3. *Схема зміни інструментів при перпендикулярному розташуванні інструментів у гнізді магазину й шпинделі верстата поворотним автооператором* (рис. 6.2, в). Інструменти в магазині розміщуються вертикально та закріплюються в поворотних втулках-гніздах. Потрапляючи в позицію зміни інструмента, втулка перевертається в горизонтальне положення й вісь інструмента стає паралельною осі шпинделя. З нейтрального положення автооператор за допомогою гідроциліндра (Ц1) і рейково-зубчастої передачі повертається навколо своєї осі, одночасно захоплюючи оправки інструментів, що знаходяться у втулці магазину та шпинделі. Потім за допомогою іншого гідроциліндра (Ц2) автооператор переміщується уздовж своєї осі, витягаючи інструменти з магазину та шпинделя, перевертається разом із ними на 180° і міняє інструменти місцями. Після повернення автооператора в нейтральне по-

ложення шпінделів починає виконання чергового переходу. Інструмент, що відпрацював, встановлюється в гніздо, яке щойно звільнилося. У процесі зміни й пошуку нового інструмента шпіндель не працює.

У більшості верстатів із розглянутими пристроями зміна інструментів може виконуватися тільки при заданому положенні шпіндельної бабки. Цього недоліку позбавлена наступна схема.

4. *Схема зміни інструментів на верстатах, обладнаних ланцюговим магазином*, при паралельному розташуванні інструментів у гнізді магазину та шпінделі верстата (рис. 6.2, г). Такі пристрої використовуються на великих металорізальних верстатах з горизонтальним шпінделем. Недоліком даного компонування є розміщення дискового чи ланцюгового магазину в безпосередній близькості від робочої зони, що заважає завантаженню і розвантаженню магазину. Недоліком автооператора є складність конструкції через необхідність роздільного руху його схоплювачів.

5. *Схема зміни інструмента пристроєм із позицією очікування* (рис. 6.2, д). Такі пристрої автоматичної зміни інструмента складають особливу групу. У проміжному гнізді—позиції очікування (ПО), може знаходитись інструмент, підготовлений для подачі в шпіндель, або інструмент, що вже закінчив роботу й очікує повернення в гніздо магазину. Осі інструментів у магазині та шпінделі взаємно перпендикулярні. Тому позиція очікування реалізована у вигляді гнізда, яке повертається навколо вертикальної осі. Основний (А) і додатковий (ДА) автооператори обертаються у взаємно перпендикулярних площинах. Підготовка до зміни інструментів, виконувана під час роботи верстата, закінчується поворотом гнізда ПО на 90° навколо вертикальної осі з положення I у положення II.

При налагодженні верстата інструменти в закодованих гніздах магазину розташовують відповідно до програмної карти й ретельно звіряють номер інструмента (оправки) з номером гнізда магазину. Проте існують верстати, де кодуються не гнізда, а інструменти (оправки). Це виконується різними методами. Тоді закодований інструмент можна встановлювати в будь-яке гніздо магазину. У багатоцільових верстатів, що працюють у ГВС, іноді організують автоматичну заміну інструмента, що розміщений у магазині. Для цього використовують спеціальний стелаж, який є складом інструментів, і запрограмований промисловий робот.

**Контрольні й вимірювальні пристрої** необхідні у верстаті для автоматизації спостереження за правильністю його роботи. За допомогою них контролюють стан найбільш відповідальних частин верстата,

стан різального інструмента, а також вимірюють оброблювані поверхні. При досить високому рівні автоматизації результати контролю й вимірювань надходять до системи управління, а звідти у вигляді керуючих сигналів корегують положення вузлів верстата.

**Датчики зворотного зв'язку.** У даний час усі сучасні верстати оснащені замкнутими системами ЧПУ й датчиками зворотного зв'язку. У верстатах із ЧПУ знайшли застосування датчики всіляких конструкцій: магнітні, фотоелектричні, індукційні, електричні, оптичні, ультразвукові та ін. Датчики зворотного зв'язку бувають лінійними й круговими. У наступному реченні в дужках зазначена роздільна здатність таких датчиків. Найкращі з лінійних—це лінійний індуктосин (0,01 мм) та оптична шкала (0,001 мм); найкращими з кругових є круговий індуктосин (0,01 мм) і обертовий трансформатор—резольвер (0,01 мм). Останнім часом для точних верстатів застосовуються лазерні датчики на базі інтерферометра (0,001 мм).

**Система управління** на основі вхідної зовнішньої інформації та додаткової внутрішньої поточної інформації від контрольних і вимірювальних пристроїв забезпечує правильне функціонування всіх систем верстата відповідно до поставленого завдання. Вхідна інформація надходить у вигляді креслення, маршрутної технології або заздалегідь підготовленої керуючої програми. Поточна інформація про стан і правильність роботи всієї технологічної системи (верстата, інструменту, маніпуляторів, допоміжних пристроїв) надходить у систему управління від відповідних датчиків-перетворювачів системи контролю. **Керуючий пристрій** може допускати безпосереднє ручне програмування оператором або налаштовуватись тільки від централізованої системи управління.

**Приєднувальні розміри.** Основні й приєднувальні розміри для більшості типів верстатів із ЧПУ є стандартизованими. Наприклад, фланцеві закінцівки шпінделів на токарних та револьверних верстатах; розміри столів і Т-подібних пазів цих столів на розточувальних, координатно-розточувальних, фрезерних та інших верстах відповідають стандартам на металорізальні верстати загального призначення.

### 6.3. КРИТЕРІЇ ВИБОРУ Й КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

**Технологічним пристроєм** називають допоміжне приладдя, яке застосовується для виконання технологічних операцій механічної обробки, складання та контролю. Загальна класифікація технологічних пристроїв передбачає такі групи [2, 11]:

- верстатні пристрої, які застосовуються для встановлення й закріплення заготовок на верстатах;
- пристрої для закріплення інструмента на верстаті;
- складальні пристрої для з'єднання деталей при складанні;
- контрольні пристрої, які застосовуються для проміжного й остаточного контролю в процесі виготовлення й складання;
- пристрої для захвату, переміщення, перевертання оброблюваних заготовок, деталей та вузлів під час обробки та складання.

Основними **конструктивними елементами** пристроїв є такі:

- установлювальні, призначені для встановлення й визначення положення оброблюваної поверхні заготовки відносно різального інструмента;
- затискні, призначені для міцного й надійного закріплення заготовки в необхідному положенні;
- напрямні забезпечують необхідний напрямок руху різального інструмента відносно оброблюваної поверхні;
- орієнтувальні, які забезпечують правильність установлення пристрою відносно верстага й інструмента;
- ділильні та поворотні, призначені для точної, дискретно-фіксованої зміни положення оброблюваної поверхні відносно різального інструмента;
- корпусні забезпечують загальне складання усіх частин пристрою;
- кріпильні, необхідні для з'єднання окремих частин пристрою та його фіксації на верстаті;
- силові приводи забезпечують переміщення рухомих частин пристрою.

Загальний обсяг верстатних пристроїв у машинобудуванні становить 80–90%. **Вибір верстатного пристрою** в загальному випадку має забезпечити:

- збільшення продуктивності за рахунок: усунення операцій розмічування під обробку; скорочення часу на встановлення та закріплення заготовок; часткового чи повного перекриття допоміжного часу ма-

шинним часом та зменшення останнього шляхом багатопозиційної обробки, а також суміщення технологічних переходів та інтенсифікацію процесу різання;

- підвищення точності обробки завдяки усуненню похибок установлення;
- розширення технологічних можливостей устаткування;
- поліпшення умов праці та підвищення умов техніки безпеки;
- зменшення собівартості обробки.

**Група верстатних пристроїв** складається з дев'яťох підгруп, кожна підгрупа містить декілька видів, а деякі види—ряд підвидів пристроїв. Зазначені підгрупи такі: патрони токарні; наладки до токарних пристроїв і верстатів (запасні частини до токарних патронів); лещата; головки багатошпindelьні; столи та стояки; плити; кондуктори; універсально-складене переналагоджуване оснащення; інші пристрої.

За ступенем універсальності всі верстатні пристрої можна класифікувати як універсальні, спеціалізовані, спеціальні.

**Універсальні пристрої** застосовуються під час обробки різноманітних заготовок, наприклад три- та чотирикулачкові патрони, ділильні головки, поворотні столи, машинні й ручні лещата тощо. Їх умовно можна розділити на неналагоджувані—для закріплення заготовок широкого номенклатури й подібної форми та налагоджувані зі змінними елементами (наладками), які застосовуються для закріплення заготовок різної форми. Такі пристрої дозволяють після незначного переналагодження виконувати обробку декількох схожих за формою заготовок певних розмірів в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва. Використовуються універсальні пристрої з метою розширення технологічних можливостей верстатів.

**Спеціалізовані пристрої** призначені для обробки певних заготовок. У конструкції таких пристроїв передбачаються додаткові змінні елементи. Наприклад, змінні губки для лещат, фасонні кулачки для патронів та інші наладки. Такі пристрої також можна поділити на неналагоджувані—для закріплення близьких за конструкцією заготовок та налагоджувані, технологічні можливості яких дещо ширші. Універсально-складені пристрої також є спеціалізованими. Вони застосовуються для виконання різноманітних операцій і компонуються із заздалегідь виготовлених стандартних компонентів для виконання певної операції. Після використання такі пристрої можна перекомпонувати на іншу конфігурацію.

**Спеціальні пристрої** призначені для виконання однієї або декіль-

кох операцій для конкретної конструкції заготовки, тобто вони є одноцільовими. Спеціальні пристрої, так само як і спеціалізовані, застосовують у масовому та великосерійному виробництві. Вони забезпечують високу точність і продуктивність обробки. Зазвичай ці пристрої оснащуються швидкодійними, безшумними приводами та елементами автоматики.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 6

1. На які групи умовно поділяють основне технологічне устаткування, що входить до складу виробничої системи?
2. За якими схемами може виконуватись багатопозиційна обробка одним різальним інструментом?
3. Які конструктивні особливості мають однопозиційні й багатопозиційні верстати?
4. За якими схемами може виконуватись багатопозиційна обробка на багатшпindelних верстатах?
5. За якою схемою виконується позначення металорізального устаткування?
7. Яким чином у позначенні верстата відображають його конструктивні особливості?
8. Як позначають системи ЧПУ відповідно до їх класифікації?
9. З яких основних конструктивних елементів складається обробний верстат із ЧПУ?
10. Які вимоги повинен задовольняти головний привод, яку функцію він виконує?
11. Які функції виконує привод подач?
12. Які типи приводів подач використовують у верстатах із ЧПУ?
13. Які функції виконує привод позиціонування?
14. Що забезпечує система маніпулювання верстата з ЧПУ?
15. У загальному випадку з яких конструктивних елементів складається система автоматичної зміни інструмента верстатів із ЧПУ?
16. За якими основними схемами виконується зміна інструмента на верстаті з ЧПУ?
17. Які недоліки властиві схемі зміни інструментів при співвісному розташуванні інструментів у гнізді магазину й шпинделі верстата?
18. Яких недоліків позбавлена схема зміни інструмента на верстатах, обладнаних ланцюговим магазином порівняно з іншими схемами?

19. При паралельному розташуванні інструментів у гнізді магазину й шпинделі верстата в якій послідовності виконується зміна інструменту?

20. При перпендикулярному розташуванні інструментів у гнізді магазину й шпинделі верстата в якій послідовності виконується зміна інструменту?

21. Якими способами може виконуватись кодування інструментів під час налагодження верстата?

23. З якою метою на верстатах із ЧПУ використовують контрольні й вимірювальні пристрої?

24. Які типи датчиків зворотного зв'язку можуть застосовуватись на верстатах із ЧПУ?

25. Яка характеристика є основною для будь-якого датчика зворотного зв'язку?

26. Які групи технологічних пристроїв передбачає їх загальна класифікація?

27. З яких конструктивних елементів складаються технологічні пристрої?

28. У загальному випадку що має забезпечувати вибраний верстатний пристрій?

29. Яким чином класифікують верстатні пристрої?

30. Якою є галузь застосування універсальних пристроїв?

32. Яке призначення мають спеціалізовані пристрої?

33. Чому спеціальні пристрої є найбільш застосовуваними в масовому й великосерійному виробництві?



## Розділ 7 ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ В ГВС

Сучасний багатоопераційний верстат має набір маніпуляторів, транспортерів і поворотних пристроїв. У ряді випадків він обслуговується **промисловим роботом**—універсальним маніпулятором із числовим програмним управлінням. Для виконання виробничих функцій промисловий робот повинен мати:

—виконавчий пристрій, який є маніпулятором із приводами й робочим органом—**схоплювачем**;

—керуючий пристрій, який забезпечує автоматичну роботу маніпулятора за програмою, що зберігається в оперативній пам'яті;

—розвинуті зв'язки для інтеграції із зовнішніми системами управління вищого рівня;

—вимірювально-перетворювальні пристрої, які контролюють дійсне положення виконавчого пристрою, силу затиску схоплювача та інші параметри, що впливають на роботу маніпулятора;

—енергетичний пристрій (гідростанцію, силові перетворювачі енергії), що забезпечує автономність роботи маніпулятора.

Вибір конструктивно-компонувальної схеми промислового робота залежить від його призначення, технічних характеристик, а також особливостей конструкції обслуговуваного технологічного устаткування, зокрема верстатів і транспортно-накопичувальних пристроїв. Упровадження промислових роботів на основі уніфікованих вузлів, функціональними блоками яких є агрегатні модулі, дає можливість скоротити терміни й вартість проектування, виготовлення та впровадження роботизованих комплексів, технічні параметри яких будуть відповідати вимогам даного виробництва.

**Агрегатний модуль**—це функціонально та конструктивно незалежна складальна одиниця, яку можна використовувати окремо чи у сполученні з іншими модулями з метою створення промислового робота з необхідною компоновальною схемою, характеристиками й технологічними можливостями. Такі модулі можуть бути механічними, інформаційними й керуючими. **Механічні модулі**—це окремі конструктивні блоки маніпулятора разом із комплектними приводами й електричними та гідравлічними комунікаціями. Вони забезпечують єдиний чи декілька ступенів рухливості. **Інформаційними модулями** є комплекти вимірювальних і перетворювальних пристроїв, а **керуючими**—блоки системи управління роботом.

Виготовлення агрегатно-модульних конструкцій промислових роботів може ґрунтуватись на функціональному чи конструктивно-компоновальному принципі. При додержуванні **функціонального принципу** на одній конструктивній базі розробляють типорозмірний ряд універсальних промислових роботів, які мають різноманітні характеристики, а саме: технологічне призначення, кількість ступенів рухливості, вантажопідйомність, розміри робочої зони й похибки переміщень. Спеціалізація цих роботів виконується на основі базової конструкції. Додатково до спеціалізованої комплектації маніпулятора зазвичай входять змінні схоплювачі, які дозволяють дещо розширити технологічні можливості такого робота.

Велика розмаїтість модифікацій промислових роботів може бути також одержана при їх агрегатно-модульній побудові за **конструктивно-компоновальним принципом**. Для розробки різних компоновальних схем необхідно мати такі типові конструктивні модулі:

—несучу систему, тобто нерухому основу, колону, портал або консоль;

—механізми, що забезпечують потрібні ступені рухливості маніпулятора, зокрема, його поворот і підйом, а також висування руки й обертання кисті;

—змінні схоплювальні пристрої;

—додаткові механізми, що забезпечують проміжне накопичування й орієнтування заготовок і деталей, заміну схоплювачів та інші допоміжні функції, потрібні для роботи у виробничій системі.

Технологічні можливості та конструкцію промислового робота визначають декілька основних параметрів, які зазвичай указуються в його технічній характеристиці, а саме: вантажопідйомність, кількість ступенів рухливості, габарити й форма робочої зони, мобільність, швидкодія, похибка позиціонування, типи системи управління та привода.

### 7.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

**Вантажопідйомність** промислового робота визначається найбільшою масою виробу (наприклад, деталі, інструмента чи приладдя), яким він може маніпулювати в межах робочої зони. Типорозмірний ряд промислових роботів, призначених для машинобудівного виробництва, складається з моделей вантажопідйомністю від 5 до 500 кг.

**Кількість ступенів рухливості** промислового робота визначається

загальним числом поступальних і обертальних рухів маніпулятора без урахування рухів затискання-розтискання його схоплювача. Промислові роботи, застосовувані в машинобудуванні, можуть мати до п'яти ступенів рухливості.

**Робоча зона** промислового робота характеризує простір, у якому може переміщуватись схоплювач маніпулятора. Зазвичай цей простір визначається найбільшими граничними переміщеннями схоплювального пристрою уздовж і навколо кожної осі координат.

**Мобільність** промислового робота визначається його здатністю виконувати різні за характером рухи, а саме:

—переставні (транспортні) переміщення між робочими позиціями, що знаходяться на більшій відстані, ніж розміри робочої зони маніпулятора;

—установлювальні переміщення в межах робочої зони, яка визначається конструкцією й розмірами маніпулятора;

—орієнтувальні переміщення схоплювача, зумовлені конструкцією та розмірами кисті (кінцевої ланки маніпулятора).

Промислові роботи можуть бути **стаціонарними**, тобто не мати переставних переміщень, або **рухомими** та забезпечувати всі названі види рухів.

**Швидкодія** визначається найбільшими лінійними й кутовими швидкостями переміщень кінцевої ланки маніпулятора. Більшість промислових роботів, застосовуваних у машинобудуванні, має лінійні швидкості маніпулятора від 0,5 до 1,2 м/с, а кутові—від 90 до 180 °/с.

**Похибка позиціонування** маніпулятора характеризується середнім значенням відхилень центра схоплювача від заданого положення та зоною розсіювання цих відхилень при багаторазовому повторенні циклу установлювальних переміщень. Найбільше число промислових роботів, застосовуваних у машинобудуванні, має похибку позиціонування від  $\pm 0,05$  до  $\pm 1,0$  мм.

**Пристрої програмного управління** промислових роботів можуть бути цикловими та позначаються індексом Ц у загальному позначенні моделі робота, числовими позиційними (П), контурними (К) чи контурно-позиційними (С).

**Приводи виконавчих органів** промислових роботів можуть бути електричними, гідравлічними, пневматичними чи комбінованими, наприклад електрогідравлічними, пневмогідравлічними.

## 7.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Класифікація промислових роботів, застосовуваних у машинобудуванні, здійснюється за різними ознаками, у тому числі за технологічним призначенням і ступенем універсальності. **За технологічним призначенням** промислові роботи можуть бути виробничими й допоміжними.

**Виробничі** роботи безпосередньо виконують основні операції технологічного процесу як виробляюче або обробне устаткування. Це операції зварювання, формоутворення, нанесення покриттів, складання тощо. Для таких роботів властиве оснащення робочих органів маніпулятора необхідним інструментом, наприклад викруткою, гайковертом, зварювальним пристроєм або фарбопультотом. Виробничі роботи зазвичай використовують у потокових лініях масового та великосерійного виробництва. Декілька таких роботів, установлених уздовж конвеєра, послідовно виконують різні технологічні переходи.

Значна частина промислових роботів, застосовуваних у машинобудуванні, складає групу **допоміжних** роботів (обслуговуючих або підйомно-транспортних). Вони взаємодіють з основним технологічним устаткуванням, транспортними механізмами та іншим допоміжним обладнанням. У цьому разі вони є частиною гнучкого виробничого модуля. Застосування таких роботів обумовлене необхідністю гнучкої автоматизації допоміжних операцій: установлення-знімання заготовок і деталей, зміни інструментів та оснастки, очищення базових поверхонь деталей і пристроїв, контролю розмірів оброблюваних поверхонь. Окрім того, підйомно-транспортні промислові роботи можуть здійснювати установлювання заготовок у орієнтованому положенні в накопичувачі, на транспортери, а також виконувати транспортно-складські операції при обслуговуванні автоматизованих складів, забезпечувати транспортні потоки заготовок, деталей та інструментів як між окремими верстатами, так і в межах усього цеху. Таким чином, допоміжні промислові роботи дозволяють підвищити продуктивність і технологічну гнучкість основного устаткування, забезпечити комплексну автоматизацію виробництва.

Залежно від типу виробництва, виду виконуваних операцій або типу основного устаткування, яке обслуговується в автоматичному циклі, промислові роботи класифікують **за ступенем універсальності**, який визначає їх функціональні можливості й переналаджованість. Відповідно до цих ознак промислові роботи розділяють на спеціальні, спеціалізовані й універсальні.

**Спеціальні** промислові роботи призначені для виконання певних технологічних операцій або обслуговування конкретних моделей технологічного устаткування. Для таких роботів характерна конструктивна єдність з основним або допоміжним устаткуванням, яке входить до складу гнучкого виробничого модуля, наприклад обробного. Кількість ступенів рухливості в цьому випадку вибирається відповідно до схеми виконання необхідних маніпуляційних дій та зазвичай становить 3–4. Керування циклом роботи маніпулятора здійснюється від пристрою ЧПУ виробничого модуля.

**Спеціалізовані** (цільові) промислові роботи призначені для виконання технологічних операцій одного виду, наприклад тільки операцій зварювання, фарбування, складання тощо, або тільки допоміжних переходів, які потребують однакових маніпуляційних дій. Маніпулятори таких роботів переважно мають 4–5 ступенів рухливості та можуть бути оснащені пристроями циклового або числового програмного управління. Проектування цих роботів здійснюється з урахуванням їх цільового призначення, у тому числі конструктивних особливостей обслуговуваного технологічного устаткування.

**Універсальні** (багатоцільові) промислові роботи призначені для виконання технологічних операцій різних видів. Для таких роботів характерна повна конструктивна незалежність від основного технологічного устаткування, з яким вони спільно працюють. Вони зазвичай мають 5–7 ступенів рухливості, які забезпечують їх широкі функціональні можливості. За допомогою цих роботів можна здійснювати основні технологічні операції або виконувати різні допоміжні функції при обслуговуванні технологічного устаткування різноманітного призначення, яке вимагає різних маніпуляційних рухів. Мікропроцесорний пристрій ЧПУ централізовано керує всім устаткуванням під час автоматичного циклу роботи.

### 7.3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Якщо обробка заготовок здійснюється на верстатах, то промислові роботи головним чином використовують для автоматизації допоміжних процесів, пов'язаних із забезпеченням потоків заготовок та інструментів. У складі гнучкого виробничого модуля промисловий робот обслуговує, як правило, три позиції: завантажувальну позицію накопичувача

заготовок; робочу позицію верстата; розвантажувальну позицію транспортера чи накопичувача деталей.

**Фактична продуктивність** такого модуля визначатиметься коефіцієнтом використання верстата, який є відношенням часу обслуговування роботом до загальної тривалості обробки на верстаті. Для скорочення часу обслуговування необхідно або збільшити швидкодію маніпулятора й зменшити загальну довжину переміщень його робочого органа, або сполучити час маніпулювання з робочим циклом верстата, створивши більш раціональну компоновальну схему гнучкого виробничого модуля.

При автоматизації обробки на верстатах основними варіантами застосування промислових роботів можуть бути такі:

—обслуговування одного верстата одним роботом у складі гнучкого виробничого модуля;

—обслуговування групи верстатів, що утворюють гнучку автоматизовану ділянку, одним роботом;

—обслуговування групою роботів гнучкої автоматизованої лінії.

Проектування виробничих систем, у яких декілька промислових роботів обслуговують певну сукупність верстатів, транспортно-накопичувальних та інших допоміжних пристроїв, що утворюють ділянку або лінії, вимагає знаходження оптимального режиму роботи такої системи. Це може здійснюватись шляхом чисельного моделювання. Компоновання роботизованих технологічних комплексів можна здійснювати за круговою, лінійною, лінійно-круговою чи об'ємною (у кілька поверхів) схемою.

**При круговому компонуванні** технологічне устаткування розташовують по дузі чи по колу, у центрі якого встановлюють промисловий робот. Таке компоновання комплексів доцільно використовувати для невеликої кількості обслуговуваних технологічних позицій (5–6 максимум), а також при малих розмірах робочої зони промислового робота стаціонарного типу, який обслуговує ці позиції.

**При лінійному компонуванні** комплексу технологічне устаткування розташовують в один чи декілька паралельних рядів у межах робочої зони обслуговуючого промислового робота рухомого типу. Такі комплекси можуть мати централізовану або децентралізовану систему керування. Лінійну компоновальну схему доцільно використовувати за умов великої кількості верстатів. Ця схема дозволяє суттєво збільшити зону обслуговування при застосуванні рухомого робота, який має ступені рухливості, пов'язані з транспортними переміщеннями.

При лінійному компонуванні зазвичай відсутня міжопераційна транспортна система, а переміщення виробів між верстатами здійснюється безпосередньо промисловим роботом. Усі верстати комплексу працюють у єдиному ритмі, забезпечуючи задану керуючою програмою послідовність операцій та допоміжних ходів. Такі комплекси є найпростішими та найменш вартісними, проте вони вимагають визначеного та незмінного взаємного розташування основного технологічного устаткування, тобто забезпечення жорсткого технологічного зв'язку між верстатами.

Більш складним варіантом лінійного компонування буде застосування в роботизованому комплексі міжопераційних транспортних засобів, які мають забезпечувати технологічні зв'язки між устаткуванням. Таке компонування дозволяє територіально відокремити верстати та полегшити процес розташування всього комплексу. У цьому разі робота верстатів може бути незалежною за умов використання міжопераційних накопичувальних пристроїв.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 7

1. З яких основних конструктивних елементів складається промисловий робот?
2. Від яких умов залежить вибір конструктивно-компонувальної схеми промислового робота?
3. Які уніфіковані агрегатні модулі застосовують при компонуванні промислового робота?
4. За якими принципами створюють агрегатно-модульні конструкції промислових роботів?
5. Яким чином здійснюється спеціалізація роботів, побудованих за функціональним принципом?
6. Яким чином одержують розмаїття модифікацій роботів, побудованих за конструктивно-компонувальним принципом?
7. Які основні характеристики визначають технологічні можливості промислових роботів?
8. Скільки ступенів рухливості може мати промисловий робот, якими рухами ці ступені визначаються?
9. Які види переміщень характеризують мобільність промислового робота?

10. За якими параметрами визначається похибка позиціонування схоплювача промислового робота?

11. За якими ознаками виконують класифікацію промислових роботів?

12. Яку галузь застосування мають виробничі роботи?

13. Які функції виконують допоміжні роботи?

14. Якими факторами визначається необхідний ступінь універсальності промислового робота?

15. Які конструктивні особливості мають спеціальні промислові роботи?

16. Для виконання яких операцій зазвичай застосовуються спеціалізовані роботи, які конструктивні особливості є для них найбільш властивими?

17. У чому полягають особливості універсальних роботів?

18. Які функції може виконувати промисловий робот у складі виробничого модуля?

19. Якими шляхами можна підвищити фактичну продуктивність виробничого модуля, що обслуговується промисловим роботом?

20. При автоматизації обробки на верстатах якими можуть бути варіанти застосування промислових роботів?

21. За якими схемами може здійснюватись компонування роботизованих технологічних комплексів?

22. За яких умов доцільно застосовувати кругові схеми компонування роботизованих технологічних комплексів?

23. За яких умов доцільно застосовувати лінійні схеми компонування роботизованих технологічних комплексів?

24. Чому в роботизованих комплексах, побудованих за лінійною схемою, можна не застосовувати міжопераційні транспортні засоби?

25. Які можливості надає застосування міжопераційного транспорту в роботизованих комплексах?

## Розділ 8 ТРАНСПОРТНО-НАКОПИЧУВАЛЬНА СИСТЕМА

### 8.1. Класифікація й склад транспортно-накопичувальних систем

Транспортно-накопичувальна система може бути різних рівнів—міжцеховою, внутрішньоцеховою та локальною (рис. 8.1). Залежно від рівня цієї системи транспортні зв'язки будуть охоплювати міжцехові, цехові (міжділянкові) чи міжопераційні (ділянкові) вантажопотоки, а також усі види переміщень, пов'язані з орієнтуванням, установлюванням і зняттям заготовок.

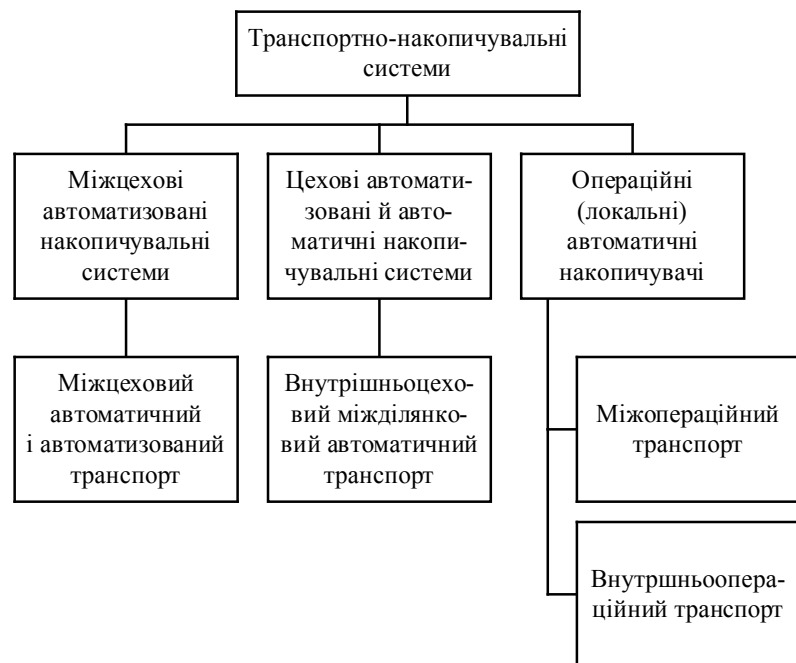


Рис. 8.1. Рівні транспортно-накопичувальних систем та види транспорту

Організаційно-технічні вимоги до транспортно-накопичувальної системи впливають на види застосовуваних транспортних засобів та визначають їх конструктивні особливості. За цими ознаками розглядувані системи можуть бути: однобічними або двобічними; однорусними чи багаторусними; безупинної або переривчастої дії; з прямим, замкнутим або розгалуженим обслуговуванням вантажопотоком; обладнаними перевантажувальними пристроями чи без них.

Усі технічні засоби транспортно-накопичувальної системи поділяють на дві групи—основне й допоміжне обладнання.

**Основним обладнанням** є автоматичні стелажні й мостові штабелювальні крани, транспортні та перевантажувальні роботи, конвеєри, накопичувачі, перевантажувальні й орієнтувальні пристрої, технічні засоби автоматичного керування, а також транспортно-складська тара.

**Допоміжним обладнанням** є штовхачі, скидачі, адресувальники, орієнтувальники, підйомники, живильники, відсікачі та ін.

Для правильного вибору транспортних засобів необхідно мати відомості про потужність, напрямки та зв'язки вантажопотоків, а також транспортно-технологічні характеристики вантажів, зокрема їх масу, розміри та форму, спосіб завантаження, вид і властивості матеріалу. У загальному випадку можна виділити основні **класи вантажів**—сипучі, штучні, газоподібні та наливні. З метою оптимального вибору транспортної системи й для більш повної характеристики вантажопотоків застосовують докладнішу класифікацію за зазначеними транспортно-технологічними характеристиками, тобто:

—за масою транспортовані вантажі можуть бути мініатюрними, масою до 0,01 кг, легкими— 0,01–0,5 кг, середніми— 0,5–16 кг, перехідної маси— 16–125 кг та важкими, з масою понад 125 кг;

—за формою вантажі поділяють досить умовно, вони можуть бути тілами обертання, складними корпусними деталями або мати дископодібну, плоску, пластинчасту, списоподібну форму тощо;

—за розмірами вантажі поділяють на довгомірні, короткомірні та штучно-масові;

—за способом завантаження вантажі можуть бути в тарі, без тари, навалом, орієнтовані, на супутниках тощо;

—за видом матеріалу—металеві, неметалеві, інші;

—за властивостями матеріалу—тверді, крихкі, ламкі, пластичні, рідкі, магнітні, немагнітні тощо.

## 8.2. КОНВЕЄРИ

**Конвеєром** називають обладнання, яке застосовується для переміщення заготовок, деталей або виробів. Разом із виконанням транспортних функцій конструкції деяких конвеєрів також дають можливість утворювати міжопераційні заділи, які забезпечують незалежну роботу багатоопераційних верстатів, що входять до складу гнучкої виробничої системи. Деякі конвеєри при транспортуванні переміщуваних об'єктів можуть виконувати розгалуження на декілька потоків. Залежно від способу транспортування та характеру переміщень конвеєри можуть бути безупинної або дискретної (періодичної, переривчастої) дії.

### 8.2.1. Конвеєри безупинної дії

Конвеєри, які забезпечують безперервний потік, за конструктивними особливостями можна поділити на такі види: стрічкові, ланцюгові, роликові, розподільні ланцюгові, двовалкові, вібраційні, пневматичні напівсамопливні, лоткові самопливні та ін.

Найбільш поширеними є **стрічкові та ланцюгові** конвеєри. У таких конвеєрах несучими й тяговими конструктивними елементами для переміщення виробів зазвичай є металева чи інша стрічка або втулково-роликовий ланцюг. Вони натягнуті між барабанами або зірками, закріплені в корпусі конвеєра. При значній довжині конвеєрного полотна для запобігання його провисанню передбачають напрямні планки. Такі конвеєри застосовують для відносно легких виробів, для яких не є критичним зношування поверхні через проковзування стрічки або ланцюга під ними. Конвеєри з металевою стрічкою можна використовувати для транспортування стружки.

У **роликових конвеєрах** несуча поверхня для транспортування виробів складається з безлічі обертових роликів, укріплених на осях у корпусі крізь фрикційні втулки. Ці втулки дозволяють роликам проковзувати відносно їх осей під час гальмування чи зупинення виробів. Роликам надається обертання від привода замкнутим втулково-роликовим ланцюгом за допомогою зірок, закріплених на осях роликів. Переміщення відбувається з підпором завдяки дії сил тертя, що виникають між твірною поверхнею роликів і виробами.

**Ланцюговий конвеєр-розподільник** найчастіше застосовується для транспортування виробів типу кілець, фланців тощо, а також їх

розподілення між паралельно діючими верстатами. Він складається з корпусу, в середині якого на зірках натягнутий замкнутий ланцюг. На ньому через деякий крок є консольно укріплені пальці, що переміщують вироби. Внутрішні стінки корпусу конвеєра виконують функції напрямних елементів. Також конвеєр має механізми прийому та видачі виробів, оснащених відсікачами.

**Двовалкові конвеєри** використовують для переміщення з підпором виробів циліндричної форми, наприклад кілець, втулок, дисків тощо. Існує багато варіантів конструкції таких конвеєрів, вони відрізняються формами валків. Найбільш розповсюдженими є конічні валки, що мають кут нахилу твірної конуса відносно осі обертання валка не більше  $2^\circ$ . Завдяки тому що під час транспортування вироби обертаються, такі конвеєри можна застосовувати для завантаження й розвантаження безцентрових круглошліфувальних верстатів. Обертальний рух від привода надається обом валкам за допомогою ланцюгової передачі через зірки, закріплені на осях валків.

**Гвинтові конвеєри** використовують для переміщення довгомірних циліндричних виробів упоперек або вздовж їх осі. У першому випадку обертання спіральних поверхонь гвинтів є синхронним в однаковій фазі по кроку гвинта, щоб уникнути перекосу виробів. Гвинти знаходяться на деякій відстані, а між ними розташовані поздовжні напрямні, які забезпечують перекошування виробів уздовж осей гвинтів. Обертальний рух надається гвинтам від привода через ланцюгову передачу. Для переміщення виробів уздовж їх осі, яка буде збігатись з осями гвинтів необхідно, щоб виступи одного гвинта вільно входили в западини іншого. У цьому випадку заготовка, обертаючись навколо своєї осі, переміщується по зовнішній спіральній поверхні між обома гвинтами.

**Вібраційні конвеєри** застосовують у випадках, коли важко чи неможливо транспортувати вироби іншими засобами, наприклад, через їх зчеплення. Основним недоліком таких конвеєрів є можливе поширення вібрацій на сусіднє устаткування. Вироби під впливом вібрації переміщуються по напрямному лотку. Вібраційний рух лоткові зазвичай надає електромагнітний вібратор або ексцентрикний механізм із пружною ланкою.

У **пневматичному напівсамопливному конвеєрі** транспортування виробів здійснюється струменями стисненого повітря з тиском 0,01–0,02 МПа. Повітря подається крізь отвори в робочій поверхні конвеєра та утворює тонкий прошарок між поверхнями контакту конвеєра з ви-

робами. Робоча поверхня конвеєра має бути нахиленою відносно горизонтального положення на кут, менший за кут тертя.

**Лоткові самопливні конвеєри** призначені для транспортування виробів скочуванням або сковзанням під дією сили тяжіння на відстань, більшу за два метри. Робоча поверхня таких конвеєрів нахилена відносно горизонтального положення на певний кут. Вона може бути плоскою або складатися з безлічі роликів. Вироби, що мають поверхні обертання, будуть пересуватися скочуванням по плоскій поверхні, а вироби, що мають плоскі поверхні,—сковзанням по роликах. Кут нахилу конвеєрів залежить від способу транспортування, маси й матеріалу виробів. При переміщенні деталей скочуванням він має становити  $5-10^\circ$ , а при сковзанні по роликах  $3-5^\circ$ . У будь-якому разі для конкретних виробів виконують індивідуальний вибір цього кута. Обмежувальним фактором при його виборі є максимально допустима швидкість зіткнення виробів, при якій на їх поверхні ще не утворюються дефекти у вигляді подряпин, забоїв, вм'ятин тощо. Для зменшення швидкості переміщення заготовок застосовують гальмові пристрої.

### 8.2.2. Конвеєри періодичної дії

Основні види крокових конвеєрів періодичної дії такі: із захопувальними заціпками; із захоплювальними пристроями; з керованими заціпками та функціями накопичувача; планкові переключувальні; переключувальні з функціями накопичувача; пилкоподібні; гребінчасті. Крокові конвеєри переміщують виріб періодично на один крок—певну відстань.

**Конвеєр із захопувальними заціпками.** Під час переміщення виріб, захоплений підпружиненою храповиковою заціпкою, ковзає по напрямній поверхні конвеєра (рис. 8.2.). По закінченні переміщення заціпка виконує зворотний рух, захоплюючись під напрямну поверхню конвеєра, не пересуваючи виріб. Усі заціпки закріплені на рухомій штанзі, зворотно-поступальний рух якої забезпечує гідравлічний циліндр. Основним недоліком такого конвеєра є часте забруднювання храповикових заціпок стружкой.

**Конвеєр із захоплювальними пристроями.** На таких конвеєрах вироби переміщуються за допомогою захоплювальних пристроїв, виконаних у вигляді поворотних прапорців і закріплених на поворотній штанзі (рис. 8.3). Вони послідовно виконують такі рухи: прямий поступальний рух уздовж напрямної поверхні конвеєра, пересуваючи ви-

ріб на один крок уперед; обертальний рух навколо осі штанги, захоплюючись під напрямною поверхнею конвеєра; зворотний поступальний рух, повертаючись на один крок назад; обертальний рух, відновлюючи своє початкове положення. Усі рухи штанзи надають два гідравлічних циліндри. Конструкція цього конвеєра позбавлена зазначеного недоліку конвеєрів із захопувальними заціпками.

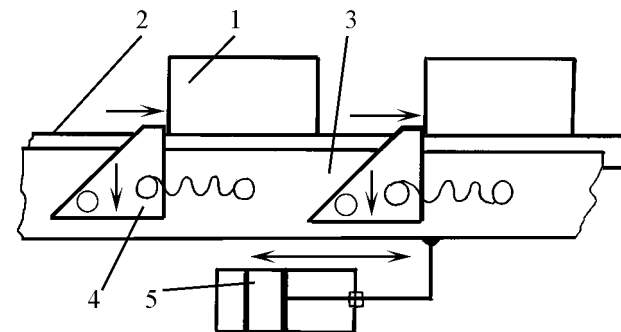


Рис. 8.2. Кроковий конвеєр із захопувальними заціпками:

1—виріб; 2—напрямна поверхня; 3—рухома штанга;  
4—храповикова заціпка; 5—гідравлічний циліндр

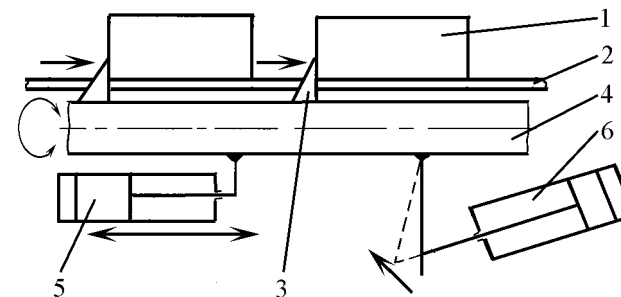
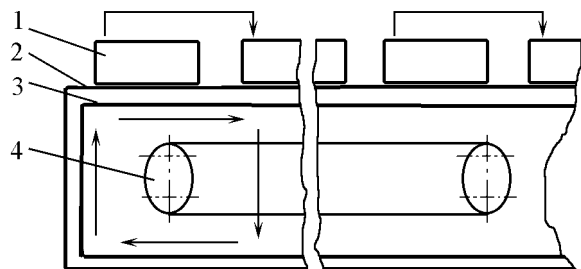


Рис. 8.3. Кроковий конвеєр із захоплювальними пристроями:

1—виріб; 2—напрямна поверхня; 3—поворотний захоплювальний пристрій;  
4—рухома штанга; 5—гідравлічний циліндр, який надає поступальні рухи;  
6—гідравлічний циліндр, що надає обертальні рухи

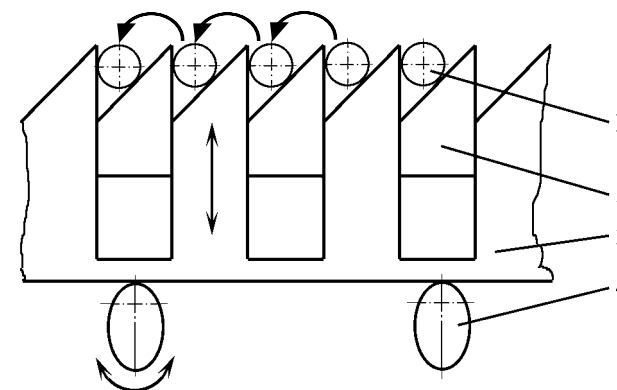
**Планковий перекладувальний конвеєр** (рис. 8.4) зазвичай застосовують для транспортування виробів, для яких неприпустимі пошкодження поверхонь унаслідок їх ковзання по напрямній поверхні конвеєра. Цей конвеєр забезпечує послідовне перекладання виробів за допомогою планки, що рухається від обертових ексцентриків та виконує такі переміщення: уверх, піднімаючи виріб над поверхнею конвеєра; уперед, переміщуючи виріб на один крок конвеєра; униз, опускаючи виріб на поверхню конвеєра; назад, відновлюючи своє початкове положення.



**Рис. 8.4. Планковий перекладувальний конвеєр:**  
1—виріб; 2—напрямна поверхня; 3—планка;  
4—обертовий ексцентриковий привод

**Пилкоподібний та гребінчастий конвеєр** застосовують для транспортування виробів типу вал (рис. 8.5). Основним конструктивним елементом таких конвеєрів є рухома пилкоподібна рейка. За принципом дії ці конвеєри аналогічні вже розглянутим. При переміщенні рухомої рейки в пилкоподібному конвеєрі вироби перекидаються через вершини виступів нерухокої рейки, а в гребінчастому конвеєрі вони пересуваються уздовж напрямних. Для збільшення продуктивності рухомих рейки зміщують відносно нерухомих на половину кроку виступів.

Розглянуті вище конвеєри не можуть накопичувати вироби. Уже зазначалося, що разом із виконанням транспортних функцій конвеєри повинні утворювати міжопераційні заділи для забезпечення незалежної роботи верстатів, тобто мати функції накопичувачів. Такі функції має **конвеєр-накопичувач із керованими заціпками й перекладувальний конвеєр-накопичувач**, також обладнаний керованими заціпками.



**Рис. 8.5. Пилкоподібний кроковий конвеєр:**  
1—виріб; 2—нерухома рейка; 3—рухома рейка;  
4—обертовий ексцентриковий привод

Таблиця 8.1

Рекомендовані швидкості переміщення виробів конвеєрами

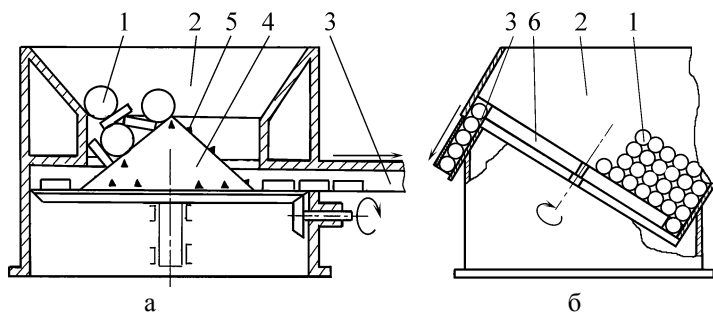
Конвеєр	Швидкість, м/хв	Транспортування
стрічковий	40–60	виробів масою до 2 кг
ланцюговий	4–15	кілець Ø24–160 мм
роликівий	8–12	виробів масою до 40 кг
	4–8	виробів масою 40–60 кг
розподільний	4–12	кілець Ø24–160 мм
двовалковий	0,5–0,8	кілець Ø24–160 мм
	1,2–1,5	валів Ø10–30 мм
гвинтовий	0,6–6	валів, залежно від такту
вібраційний	2–5	кілець Ø24–35 мм
пневматичний	6–20	виробів масою 1–2 кг
із заховуваними заціпками	10–12	виробів масою до 100 кг
з поворотними захоплювальними пристроями	30–40	виробів масою до 60 кг
з керованими заціпками	6–8	виробів масою до 100 кг
перекладувальний	5–10	виробів масою до 40 кг
пилкоподібний	4–10	валів Ø10–20 мм
гребінчастий	4–10	виробів типу шатунів



### 8.3. ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

У гнучких виробничих системах основною функцією завантажувально-розвантажувальних пристроїв є подача заготовок або деталей в орієнтованому положенні в схоплювач промислового робота чи лоток. Застосовуються найрізноманітніші конструкції таких пристроїв, їх розділяють на три основних види—бункерні, магазинні (лоткові) та вібраційні. У загальному випадку завантажувально-розвантажувальні пристрої складаються з резервуара для накопичення заготовок, виконаного у вигляді бункера чи магазину (лотка), захоплювально-орієнтувального механізму, руки із захоплювальним пристроєм, кантувача, перегрівача (за необхідності), відсікача, передавального механізму та привода.

**Бункерний пристрій** (рис. 8.6) включає такі функціональні механізми: бункер, механізм захоплення й орієнтування, механізм відводу надлишкових заготовок, лоток для подачі деталі на вихідну позицію та відсікач. **Бункер** призначений для накопичення заготовок у неорієнтованому положенні—навалом. За допомогою бункерних пристроїв здійснюється автоматична подача заготовок досить простої форми й порівняно невеликих розмірів, наприклад порожнистих роликів, ковпачків, гільз, кілець, шайб, втулок, трубок, валиків тощо.



**Рис. 8.6.** Деякі конструкції бункерних пристроїв:

- а—з конусним днищем; б—із дисковим днищем;  
1—заготовка; 2—чаша; 3—лоток; 4—конусне днище;  
5—шипи; 6—диск з отворами

Форми бункерів дуже різноманітні, але найбільш поширеними є кішподібні, чашоподібні та циліндричні. У будь-якому разі бункери

проектуються й виготовляються для певної номенклатури виробів. Днище чи стінки бункера розташовують під кутом до горизонтальної площини, завдяки чому заготовки під дією власної ваги й сил тертя рухаються в напрямку захоплювальних механізмів. Під час руху заготовки пересипаються й одночасно перемішуються, займаючи положення, сприятливе для їх захоплення. Захоплювальні механізми можуть бути у вигляді гачків, штирів і стрижнів.

Бункер повинен уміщати таку кількість заготовок, яка може забезпечити безупинну роботу протягом потрібного часу. Найчастіше цей час призначається кратним такту випуску продукції або складає частину часу, який триває робоча зміна, наприклад її половину або чверть. Об'єм бункера визначається за формулою

$$V_6 = \frac{V_3 t}{t_{um} K_V}, \quad K_V = 0,5 - 0,69,$$

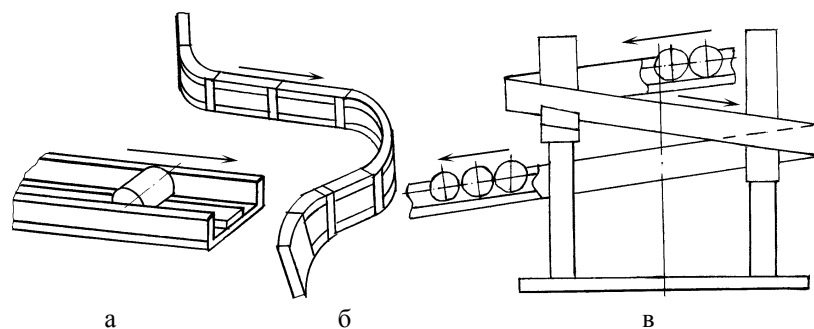
де  $V_3$ —об'єм однієї заготовки, см<sup>3</sup>;  $t$ —тривалість часу безупинної роботи на одній заправці, хв;  $t_{um}$ —штучний час на обробку, хв;  $K_V$ —коефіцієнт об'ємного заповнення, який залежить від форми заготовок і їх положення в бункері.

Інтенсивне перемішування заготовок у бункері призводить до псування їх зовнішніх поверхонь—це є головним недоліком бункерних пристроїв, тому насправді такі пристрої застосовуються рідше, ніж магазинні.

**Магазинні (лоткові) пристрої** включають комплекс функціональних механізмів, що здійснюють накопичення й видачу заготовок і деталей на вихідну позицію або у схоплювач промислового робота в орієнтованому положенні.

У багатьох випадках функцію магазину виконує прямий, нахилений або спіральний лоток (рис. 8.7). За конструктивним виконанням лотки можуть бути: жорсткими чи гнучкими, прямими, вигнутими, спіральними, гвинтовими, змійковими або зигзагоподібними, а також відкритими чи закритими. Напряму поверхню в лотках можуть утворювати смуги, стінки, прутки, шарикопідшипники, ролики, дроти. Разом із переміщенням заготовок у лотках часто виконується також і їх кантування (перевертання чи повертання).

Лотки застосовуються для накопичення й видачі об'ємних заготовок типу корпусних деталей та кронштейнів, що мають хоча б одну плоску поверхню, а також заготовок типу тіл обертання—гладких циліндрів, стрижнів, ступінчастих валів, циліндричних і конічних роликів, кілець, поршнів, гільз, клапанів, фланців, кульок, шайб, пальців тощо.



**Рис. 8.7. Конструкції лотків:**

а—прямий нахилений; б—змійковий нахилений; в—спіральний

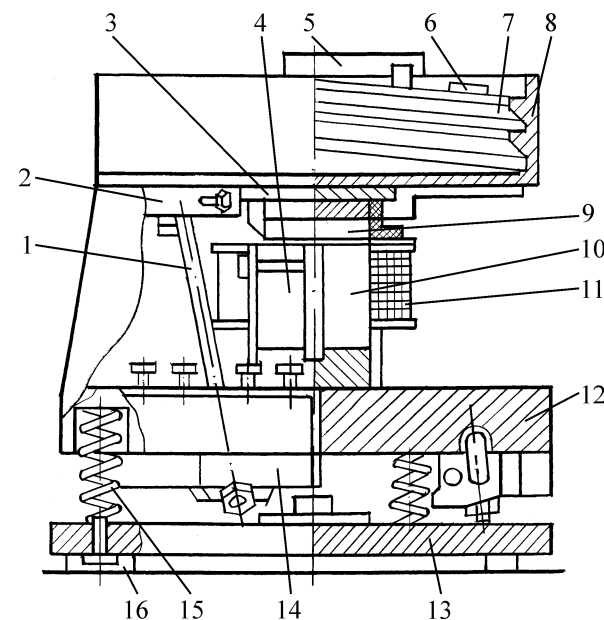
Переміщення в лотках здійснюється під дією сили тяжіння. Після захоплення першої заготовки всі наступні заготовки, розташовані в лотку, під дією сили тяжіння посуваються на один крок і перша з тих, що залишились, займає положення на вихідній позиції.

Довжина лотка розраховується, виходячи з відомої продуктивності верстата, необхідної кількості заготовок для разового завантаження, а також їх геометричних розмірів і форми.

Кут нахилу лотка, так само як і кут нахилу лоткових самопливних конвеєрів, залежить від максимально допустимої швидкості зіткнення заготовок. При перекочуванні заготовок типу тіл обертання кут нахилу лотків становить  $10\text{--}15^\circ$ , а при ковзанні деталей типу клапанів, поршнів та гільз кут нахилу збільшують до  $25\text{--}30^\circ$ . При переміщенні плоских деталей у роликівих або підшипникових лотках кут нахилу зменшують до  $3\text{--}5^\circ$ . У спіральній частині гнучких лотків кут нахилу зазвичай збільшують на  $20\text{--}30\%$ . Радіус вигину лотка встановлюють у межах  $3\text{--}5$  діаметрів транспортованих заготовок.

Лотки складають з уніфікованих деталей. Особливістю гнучких лотків є можливість припасування їх форми за місцем установлення в межах  $\pm (5\text{--}10)$  мм для спрощення монтажу. Гнучкі лотки виготовляють із сталеві стрічки, що поставляється в бунтах. У стрічці з одного чи з обох боків заздалегідь виштампувані прорізи для кріпильних елементів. Для запобігання випаданню деталей з лотків зазвичай передбачається запобіжна смуга чи стінка.

**Вібраційні пристрої** характеризуються простотою конструкції, універсальністю, надійністю й економічністю. У цих пристроях переміщення деталей забезпечується коливаннями бункера чи лотка за певною закономірністю, а орієнтування—застосуванням різних методів і засобів (рис. 8.8).



**Рис. 8.8. Вібраційний завантажувальний пристрій:**

1—нахилений стрижень; 2—верхній башмак; 3—з'єднувальна прокладка;  
4—вібратор; 5—приймач заготовок; 6—заготовка; 7—спіральний лоток;  
8—чаша; 9—якір; 10—сердечник; 11—електромагніт; 12—плита; 13—основа;  
14—нижній башмак; 15—пружина; 16—гумовий амортизатор

Колівальний рух забезпечує такі переваги зазначених завантажувальних пристроїв:

- дозволяє виконувати вибірку заготовок без захоплювальних механізмів;
- зменшує сили тертя між поверхнями пристрою й заготовками, що сприяє їх вільнішому рухові;

—запобігає ушкодженням поверхонь заготовок та іноді є єдиною можливим способом автоматизації завантаження;

—виключає утворення стійких склепін і заторів.

Зазначені фактори підвищують переналагоджуваність і універсальність вібраційних пристроїв. Тобто вони дозволяють подавати заготовки, різні за розмірами й формою. Максимальна технологічна продуктивність вібраційних завантажувальних пристроїв визначається за умов переміщення правильно орієнтованих заготовок, що рухаються щільним потоком одна за одною.

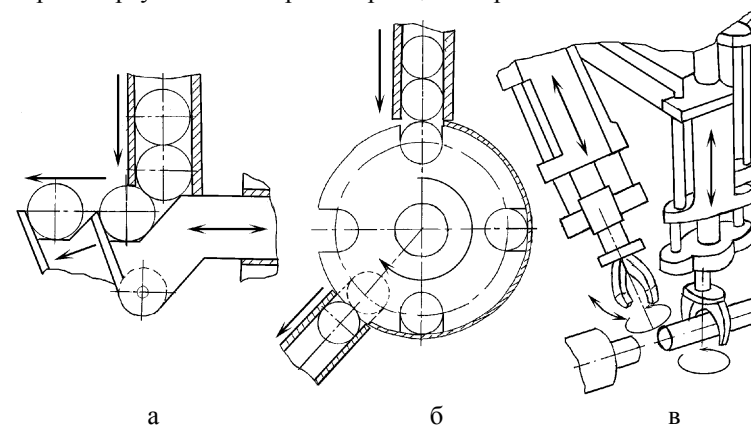
**За принципом дії** всі застосовувані методи орієнтації поділяють на пасивні й активні. **Пасивні** методи орієнтації полягають у тому, що при неправильному розташуванні заготовки вона відділяється від загального потоку (наприклад, повертається назад до бункера), а на позицію захоплення надходять тільки правильно орієнтовані заготовки. При **активному** методі орієнтація здійснюється примусовим послідовним приведенням усіх заготовок у потрібне положення.

**За характером впливу** на заготовки під час орієнтування розрізняють контактний та безконтактний методи. **Контактний метод** полягає в тому, що потрібне положення заготовкам надається шляхом безпосередньої дії орієнтувального механізму. **Безконтактний метод** орієнтації передбачає вплив на заготовки без прямого жорсткого контакту з орієнтувальним органом. У цьому разі орієнтування може здійснюватися гравітаційним або електромагнітним полем, гравітаційною, пневматичною, гідравлічною чи іншою силою.

На різних етапах реалізації автоматизованого технологічного процесу можуть виконуватись такі завдання орієнтації: безпосередньо в завантажувальному пристрої; на вихідній позиції для захоплення промисловим роботом; у процесі міжопераційного транспонування; у процесі захоплення промисловим роботом; при переміщенні заготовки промисловим роботом; безпосередньо на робочій позиції.

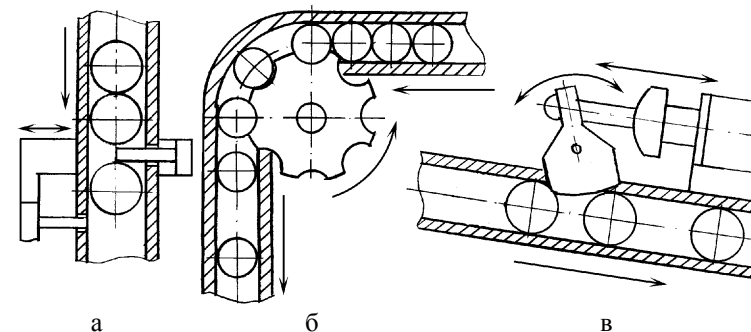
**Захоплювально-орієнтувальний механізм** здійснює захоплення заготовки з бункера, її орієнтування й подавання у верстат або у схоплювач промислового робота. Якщо замість бункера використовується магазин, то захоплювально-орієнтувальний механізм зазвичай відсутній. У цьому разі заготовки надходять до верстата по лотку або за допомогою проміжного механізму—шиберного (рис. 8.9, а) чи дискового (рис. 8.9, б) живильника вже в орієнтованому положенні. **Рука**—механізм, що виконує подачу заготовки (заготовок) із бункера магазину в затискний пристрій (пристрої) верстата або зняття обробленої деталі

(деталей) та її передачу у відповідний пристрій (рис. 8.9, в). Рука може виконувати функції **кантувача**—механізму для повороту заготовки під час транспортування або при її обробці на верстаті.



**Рис. 8.9. Живильні та кантувальні механізми:**  
а—шиберний живильник; б—дисковий живильник; в—рука-кантувач

**Відсікач**—механізм, що здійснює поштучне відділення заготовок (деталей) від загального потоку. Він може бути анкерної кулачкової або дискової конструкції.



**Рис. 8.10. Конструкції відсікачів:**  
а—анкерного; б—дискового; в—кулачкового

#### 8.4. ТРАНСПОРТНІ Й ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНІ ЗАСОБИ

Однією з проблем при впровадженні гнучких виробничих систем є автоматизація процесів завантаження й вивантаження. Усе більше уваги при автоматизації цих процесів приділяється транспортним роботам, що виконують функції перевантажників. На рис. 8.11 подана класифікація застосовуваних підйомно-транспортних роботів. Порівняно з іншими перевантажувальними засобами вони мають такі переваги:

- малогабаритність рухомого складу;
- широкий діапазон регулювання продуктивності;
- повне звільнення проїздів для інших видів транспорту після проходження транспортного робота;
- автономність дії.

З класифікації транспортних роботів видно, що найбільшого поширення в гнучких виробничих системах набули **безрейкові автоматичні візки**, які можуть бути вантажонесучими й вантажотягнучими—тягачами та буксирами з причіпними платформами чи візками. Можливості таких засобів є дуже широкими, насамперед завдяки простоті створення нових транспортних шляхів, а також оснащенню візків пристроями для автоматизації завантажувально-розвантажувальних операцій.

**Підлогові та підвісні рейкові транспортні роботи** застосовують для міжопераційного транспортування виробів. Вони складаються з електрифікованого візка з живленням від спеціального шинопроводу, що пересувається по монорейці, та промислового робота, який виконує такі функції: орієнтування, укладення, перенесення й установлення виробу по запрограмованій траєкторії; завантаження та розвантаження підвісок вантажонесучих конвеєрів; завантаження технологічного устаткування.

**Підвісні підйомно-транспортні роботи консольно-кранового типу** мають обмежену зону дії, їх застосовують як допоміжні засоби.

**Портальні підйомно-транспортні роботи** здатні до виконання більш широкого спектра робіт, зокрема обслуговування обробних верстатів, а також міжопераційного транспортування заготовок, деталей, оснащення та інструментів.

На сьогодні створено багато систем для спостереження за маршрутом руху транспортних роботів-візків (рис. 8.12). Найбільшого поширення набули транспортні роботи, обладнані індуктивною й оптоелектронною системами маршрутоспостереження.

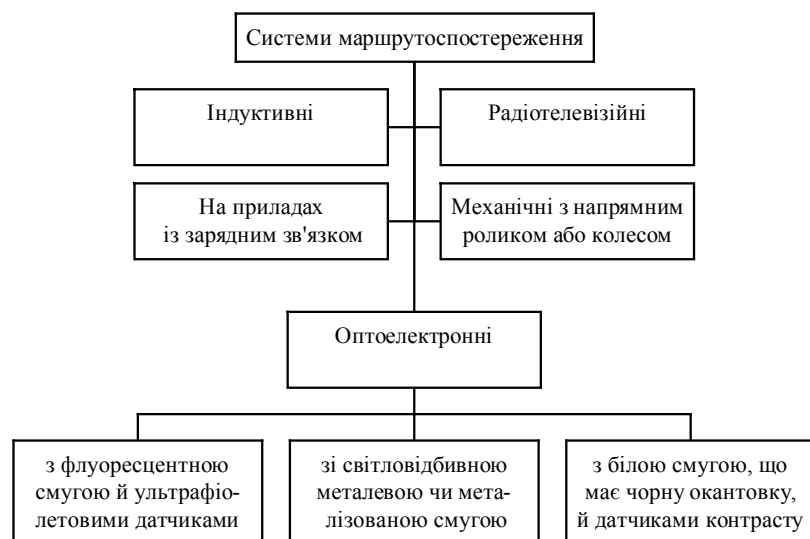


Рис. 8.11. Класифікація підйомно-транспортних роботів

**Індуктивні системи** можуть бути активними й пасивними. Інформація про напрямок руху, повороти й зупинки транспортного візка передається до керуючої ЕОМ по індукційному кабелю, уздовж якого він рухається.

**Оптоелектронні системи** маршрутопостереження складаються зі світлових маяків, розташованих у певній послідовності на стелі приміщення цеху, й датчиків, установлених на візку. Під час руху візок орієнтується на світлові маяки, а при точному позиціонуванні—на спеціальні мітки, нанесені на устаткуванні, біля якого він зупиняється.

**Радіотелевізійні системи** застосовуються дуже рідко через перешкоди від великої кількості сталевих конструкцій, які в машинобудівних цехах є у великій кількості.

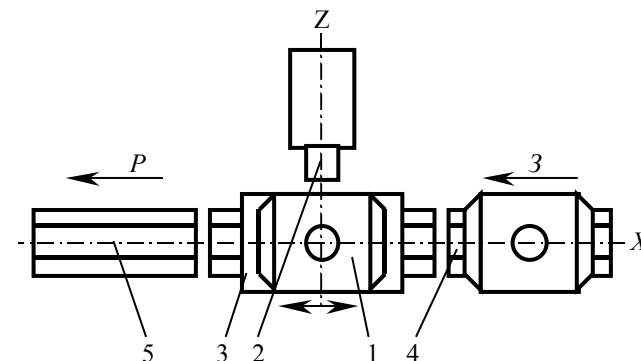


**Рис. 8.12. Класифікація систем маршрутопостереження транспортних роботів-візків**

Для підвищення ступеня автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт, а також збільшення продуктивності багатоопераційних верстатів разом із підйомно-транспортними роботами використовують різноманітні системи, що забезпечують автоматичну зміну заготовок. У таких системах застосовують пристрої-супутники для транспортування заготовок і завантажувально-розвантажувальні механізми для їх автоматичної зміни. Ці механізми являють собою одно- й багатопозиційні завантажувальні столи, на яких під час обробки однієї заготовки встановлюють і закріплюють іншу. На них зазвичай убудовані

чи змонтовані елементи для базування й закріплення пристроїв-супутників. Зміна заготовок виконується за певною схемою, яка залежить від конструкції верстата та завантажувально-розвантажувальних механізмів. Умовно можна виділити вісім таких схем, перші дві є базовими.

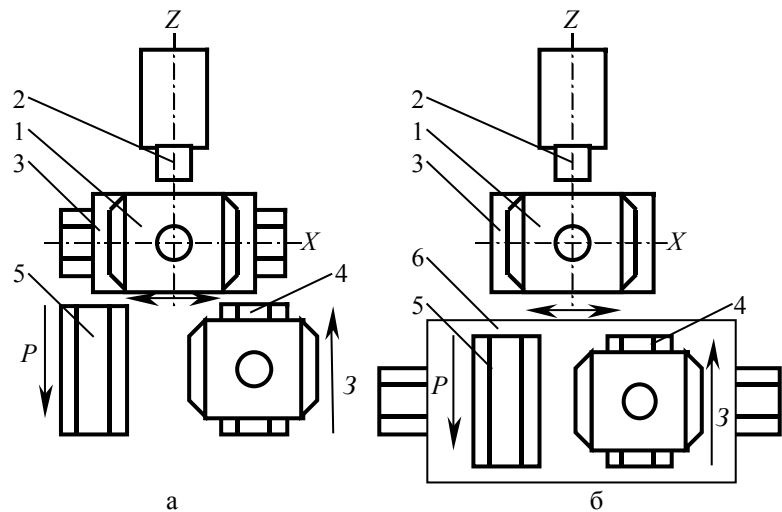
**Зміна заготовок за човниковою схемою** (рис. 8.13.). Одномісні пристрої для завантаження супутників розташовуються з обох боків стола верстата уздовж осі  $X$ . Кожний пристрій виконано у вигляді тумби з конвеєром та оснащено напрямними й приводами для переміщення супутників. Після обробки чергової заготовки стіл верстата переміщується уздовж осі  $X$  до розвантажувального пристрою для передачі супутника. Після його передачі стіл верстата посувається до завантажувального пристрою, де відбувається встановлення на нього нового супутника та, нарешті, він повертається в робоче положення для обробки наступної заготовки.



**Рис. 8.13. Човникова схема зміни заготовок:**

3—завантаження;  $P$ —розвантаження; 1—заготовка разом із пристроєм-супутником; 2—шпиндель верстата; 3—стіл верстата; 4—завантажувальний пристрій; 5—розвантажувальний пристрій

**Зміна заготовок при паралельному розташуванні супутників** (рис. 8.14). Така схема є більш зручною для приєднання верстата до загальноцехової транспортної мережі чи до накопичувача заготовок. Після обробки чергової заготовки зміна супутника здійснюється за такою ж послідовністю переміщень, як у попередній схемі. Якщо стіл верстата є нерухомим, то застосовують двомісні завантажувальні пристрої, що можуть рухатись уздовж осі  $X$ .



**Рис. 8.13. Схема зміни заготовок**

**при паралельному розташуванні супутників:**

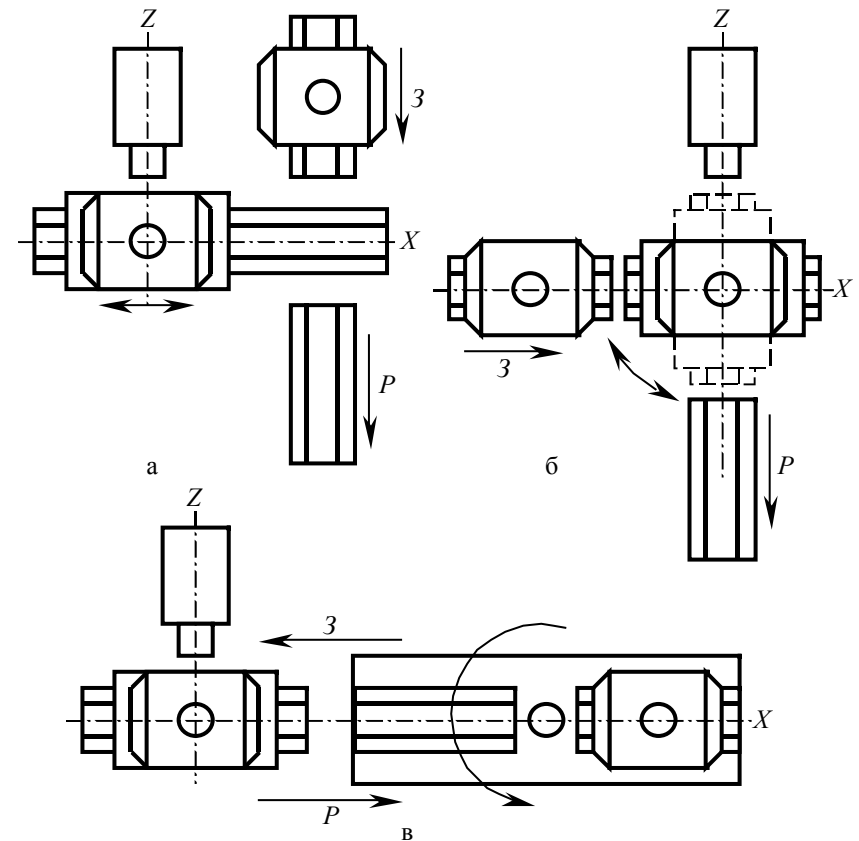
а—з рухомих столів верстата; б—із нерухомих столів верстата;  
 З—завантаження; Р—розвантаження; 1—заготовка разом із пристроєм-супутником; 2—шпиндель верстата; 3—стіл верстата; 4—завантажувальний пристрій; 5—розвантажувальний пристрій; 6—двомісний завантажник

**Зміна заготовок при Г-подібному розташуванні стола верстата й завантажників для супутників** (рис. 8.14, а). У цьому разі завантажувальні пристрої розташовуються по обидва боки стола верстата відносно його крайнього положення уздовж осі Х. При такому компонованні завантажувальних пристроїв переміщення супутників на обох завантажниках може здійснюватись єдиним приводом.

**Зміна заготовок при Г-подібному розташуванні позицій завантаження й розвантаження супутників** (рис. 8.14, б). Ця схема застосовує два одномісних завантажувальних пристрої, розташованих під кутом один до одного. Вона використовується у верстатах із поворотним столом, це потрібно для сполучення напрямних стола з напрямними кожного з пристроїв.

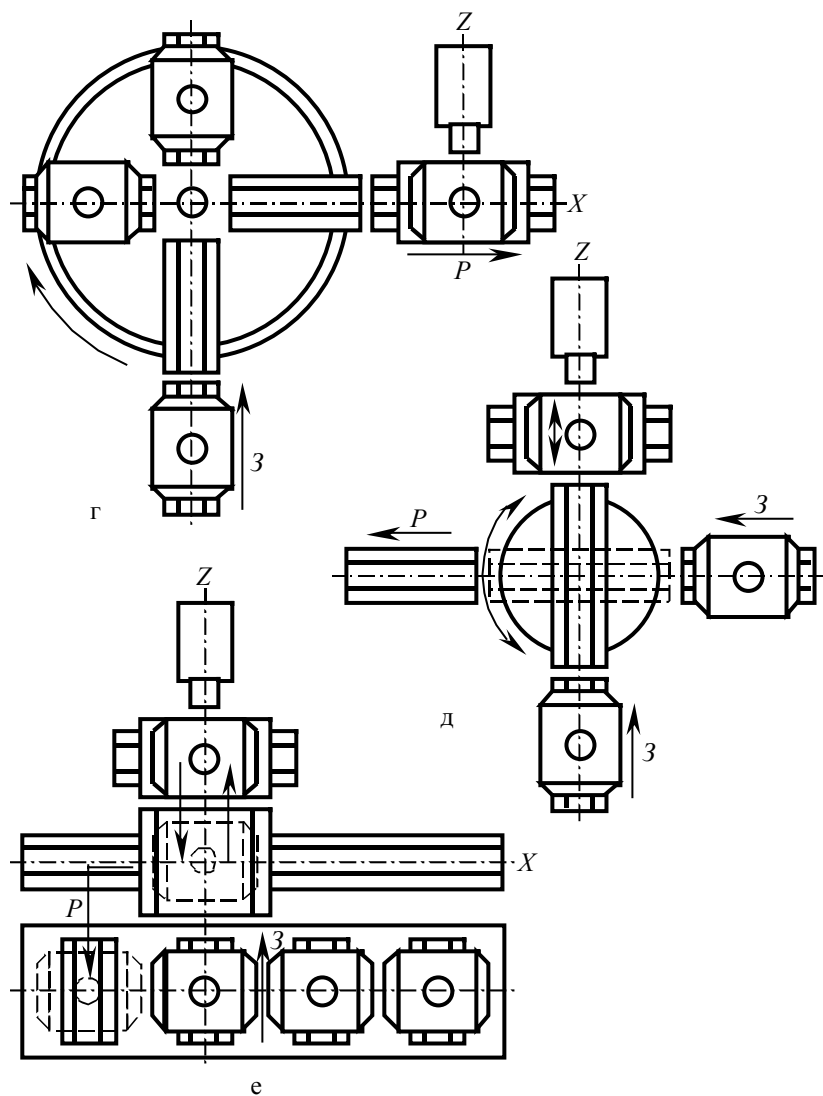
**Зміна заготовок за допомогою поворотного пристрою з позицією завантаження** (рис. 8.14, в). Ця схема забезпечує робітнику чи опе-

ратора зручний доступ до верстата й до позиції завантаження при їх налагодженні для обробки інших заготовок. Схему **зміни заготовок за допомогою багатопозиційного поворотного стола з однією позицією вивантажування** див. на рис. 8.14, г. Багатопозиційну схему **зміни заготовок за допомогою поворотного завантажника** при круговому розташуванні позицій завантаження-вивантаження див. на рис. 8.14, д.



**Рис. 8.14. Схеми зміни заготовок:**

а—Т-подібна; б—Г-подібна; в—з поворотним пристроєм



**Закінчення рис. 8.14. Схеми зміни заготовок:**  
 г—з поворотним столом; д—з поворотним завантажником;  
 е—при лінійному розташуванні супутників

Схему зміни заготовок при лінійному розташуванні позицій завантаження наведено на рис. 8.14, е, у цьому випадку завантажник здійснює лінійне переміщення уздовж позицій завантаження-вивантаження.

При круговому або лінійному розташуванні позицій завантаження на супутниках можуть бути встановлені різні заготовки, а їх обробка може виконуватись у будь-якій послідовності. Компонування одномісних і багатомісних завантажувальних пристроїв вибирають у кожному конкретному випадку, виходячи з умов експлуатації та конструктивних особливостей верстатів. Воно залежить від планування обладнання, напрямків технологічних потоків, схеми транспортування оброблюваних заготовок тощо.

#### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 8

1. Яких рівнів може бути транспортно-накопичувальна система?
2. Які види вантажопотоків охоплює транспортно-накопичувальна система?
3. Які конструктивні особливості транспортно-накопичувальних систем визначають під час їх конструювання?
4. У транспортно-накопичувальній системі яке обладнання є основним, а яке допоміжним?
5. За якими ознаками класифікують вантажі?
6. Які функції виконують конвеєри?
7. Як поділяють конвеєри за принципом дії?
8. Які призначення й галузь застосування стрічкових та ланцюгових конвеєрів?
9. Які конструктивні особливості мають роликові конвеєри?
10. Для виробів якої форми використовують двовалкові конвеєри?
11. Для транспортування виробів якої форми застосовують гвинтові конвеєри, якими способами може здійснюватись їх переміщення?
12. У яких випадках використовують вібраційні конвеєри?
13. Яким чином здійснюється транспортування виробів на пневматичному напівавтопливному конвеєрі?
14. Які характеристики лоткових самопливних конвеєрів визначаються при виборі способу транспортування певних виробів?
15. Які види конвеєрів періодичної дії є найбільш застосовуваними?

16. У якій послідовності рухаються робочі елементи конвеєра з храповиковими зачіпками при транспортуванні заготовок на один крок?

17. За якою послідовністю переміщуються робочі елементи конвеєра із захоплювальними пристроями при транспортуванні заготовок на один крок?

18. У яких випадках застосовують планковий перекладувальний конвеєр, як він здійснює транспортування?

19. Якою є галузь застосування пилкоподібних і гребінчастих крокових конвеєрів?

20. Які конвеєри періодичної дії можуть виконувати функції накопичування?

21. Які види завантажувально-розвантажувальних пристроїв використовують у ГВС, які функції вони виконують?

22. У загальному випадку з яких конструктивних елементів складаються завантажувально-розвантажувальні пристрої?

23. З яких конструктивних елементів складається бункерний завантажувальний пристрій, яка галузь його застосування?

24. Якої форми може бути бункер завантажувального пристрою, яким чином у ньому розташовані вироби?

25. Як визначається об'єм бункера завантажувального пристрою?

26. Чому бункерні завантажувальні пристрої є менш застосовуваними, ніж магазинні?

27. З яких конструктивних елементів складаються магазинні завантажувальні пристрої, яким чином у них розташовані вироби?

28. Вироби якої форми можуть завантажуватись за допомогою лотків магазинних пристроїв?

29. Які конструктивні характеристики нахилених лотків магазинних завантажувальних пристроїв залежать від форми виробів та способу їх завантаження?

30. Які переваги мають вібраційні завантажувальні пристрої?

31. Які методи застосовуються для орієнтування виробів у завантажувально-розвантажувальних пристроях?

32. Які види орієнтації виконуються на різних етапах реалізації технологічного процесу?

33. Які функції виконує захоплювально-орієнтувальний механізм завантажувальних пристроїв, у яких випадках він може бути відсутній?

34. Які функції виконують допоміжні механізми завантажувальних пристроїв, а саме: живильник, рука, кантувач, відсікач?

35. Які функції виконують підйомно-транспортні роботи, які переваги вони мають порівняно з іншими перевантажувальними засобами?

36. Яким чином класифікують підйомно-транспортні роботи, застосовувані в гнучких виробничих системах?

37. Чому безрейкові автоматичні візки набули найбільшого поширення в гнучких виробничих системах?

38. Для виконання яких функцій використовуються рейкові транспортні роботи, з яких основних конструктивних елементів вони складаються?

39. Чому підвісні підйомно-транспортні роботи мають обмежену галузь застосування?

40. Які види робіт можуть виконувати порталні підйомно-транспортні роботи?

41. Які системи маршрутоспостереження застосовуються для контролювання переміщень транспортних роботів?

42. Як здійснюється контролювання положення транспортного робота оптоелектронною системою маршрутоспостереження під час його переміщення й позиціонування?

43. Чому радіотелевізійні системи маршрутоспостереження транспортних роботів практично не застосовуються в машинобудівних цехах?

44. З якою метою застосовують системи зміни заготовок при обробці на верстатах?

45. За якими схемами може здійснюватись зміна заготовок при обробці на верстатах?

46. У якій послідовності виконується зміна заготовки на верстаті за човниковою схемою?

47. Чому схема зміни заготовок при паралельному розташуванні супутників зручніша, ніж човникова схема?

48. Які схеми зміни заготовок можуть застосовуватись для верстатів із поворотним столом?

49. У яких випадках застосовують схеми зміни заготовок із лінійним і круговим розташуванням позицій завантаження?

50. Від чого залежить вибір схеми зміни заготовок при обробці на верстатах?



## Розділ 9 СКЛАДСЬКА СИСТЕМА

Таблиця 9.1

### 9.1. ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ СКЛАДІВ ПІДПРИЄМСТВА

Склади промислових підприємств за типами вантажів доцільно класифікувати так:

- склади вихідних матеріалів і комплектуючих виробів, отриманих по кооперації,—склади прибуття;
- склади напівфабрикатів, заготовок, інструменту, спеціальної та універсальної технологічної оснастки—проміжні виробничі склади;
- склади відправлення—готової продукції.

**За термінами зберігання** вантажів виділяють такі групи складів:

- безпосереднього перевантаження вантажів із терміном зберігання, меншим за одну добу;
- тимчасового зберігання вантажів до 5 діб;
- короткострокового зберігання вантажів протягом 6–20 діб;
- із середніми термінами зберігання вантажів терміном 21–40 діб;
- тривалого зберігання вантажів протягом 41–90 діб;
- довгострокового зберігання вантажів від 3 місяців до 1 року;
- багаторічного зберігання вантажів довше 1 року.

Важливою класифікаційною ознакою складів є **обсяг прибуття й відправлення вантажів**. Разові обсяги вантажів, що відвантажуються та прибувають, на одному складі можуть змінюватись у широкому діапазоні (табл. 9.1).

**За кількістю найменувань** вантажів, складованих одночасно, склади можна класифікувати так:

- однотипних вантажів із кількістю найменувань від 60 до 100 шт;
- багатономенклатурні, з кількістю найменувань понад 100 шт.

Кількість найменувань вантажів істотно впливає на вибір **способу збереження**. На складах однотипних вантажів застосовуються способи блокового зберігання в штабелях або на стелажах із багатомісними комірками; на багатономенклатурних—метод рядного зберігання на клітинних стелажах.

**За висотою зберігання** вантажів одноповерхові склади поділяють на три основні групи: низькі, з корисною висотою зони складування до 5 м; середньої висоти, у межах 5–8 м; висотні, з корисною висотою зони складування понад 8 м.

**Класифікація складів штучних вантажів за співвідношенням обсягів прибуття й відправлення одного найменування вантажу**

Співвідношення обсягів прибуття $Q_n$ , відправлення $Q_e$ та місткості піддона $G$	Характеристика процесів		Типи складів
	прибуття вантажів на склад	відправлення вантажів зі складу	
$Q_n = G = Q_e$	по одному піддону з вантажем одного найменування	по одному піддону з вантажем одного найменування	Проміжні технологічні склади заводів, склади ГВС
$Q_n = G > Q_e$		з відбиранням вантажів із піддона	
$Q_n = G < Q_e$		по декілька піддонів із вантажем одного найменування	
$Q_n > G = Q_e$	великими разовими обсягами по декілька піддонів	по одному піддону з вантажем одного найменування	Склади готової продукції заводів, перевалочні склади
$Q_n > G > Q_e$		з відбиранням вантажів із піддона	
$Q_n > G < Q_e$		великими порціями по декілька піддонів із вантажем одного найменування	
$Q_n < G = Q_e$	шляхом докладання вантажів у піддони дрібними порціями	по одному піддону з вантажем одного найменування	Технологічні склади комплектації на заводах
$Q_n < G > Q_e$		з відбиранням вантажів із піддона	
$Q_n < G < Q_e$		великими порціями по декілька піддонів із вантажем одного найменування	

**За рівнем механізації й автоматизації** склади можуть бути п'яти типів: немеханізовані, механізовані, високомеханізовані, автоматизовані й автоматичні.

У **немеханізованих** складах при перевантаженні, переміщенні та складуванні вантажів застосовують тільки ручну працю. У **механізованих** складах для обслуговування зони зберігання вантажів використовують засоби механізації з ручним керуванням, а також частково—ручну працю. У **високомеханізованих** складах для операцій складування, переміщення, навантаження й вивантаження застосовують тільки

ки засоби механізації з ручним керуванням, ручна праця цілком відсутня. В **автоматизованих** складах для операцій переміщення й складування вантажів застосовується напівавтоматичне устаткування з введенням команд із пульта чи клавіатури, в **автоматичних**—обладнання, що автономно працює та керується від ЕОМ, рідше—напівавтоматичні механізми.

На промислових підприємствах система складського господарства може бути побудована за централізованою чи децентралізованою схемою обслуговування. **Централізована схема** є найбільш раціональною. У цьому разі в цехах і на ділянках склади відсутні, а всі запаси сировини, заготовок, напівфабрикатів і готових виробів зберігають на центральних складах. При складському обслуговуванні за централізованою схемою транспортування вантажів може бути організоване по кільцевих або маятникових маршрутах. Кожний кільцевий маршрут повинен містити визначену кількість складів, цехів, ділянок, у тому числі ГВС. При маятникових маршрутах склад має безпосередній зв'язок із певним цехом. При **децентралізованій схемі** складського обслуговування передбачаються дрібні склади в усіх цехах, а транспортування зазвичай здійснюється по маятникових маршрутах.

Класифікації складів за іншими ознаками такі:

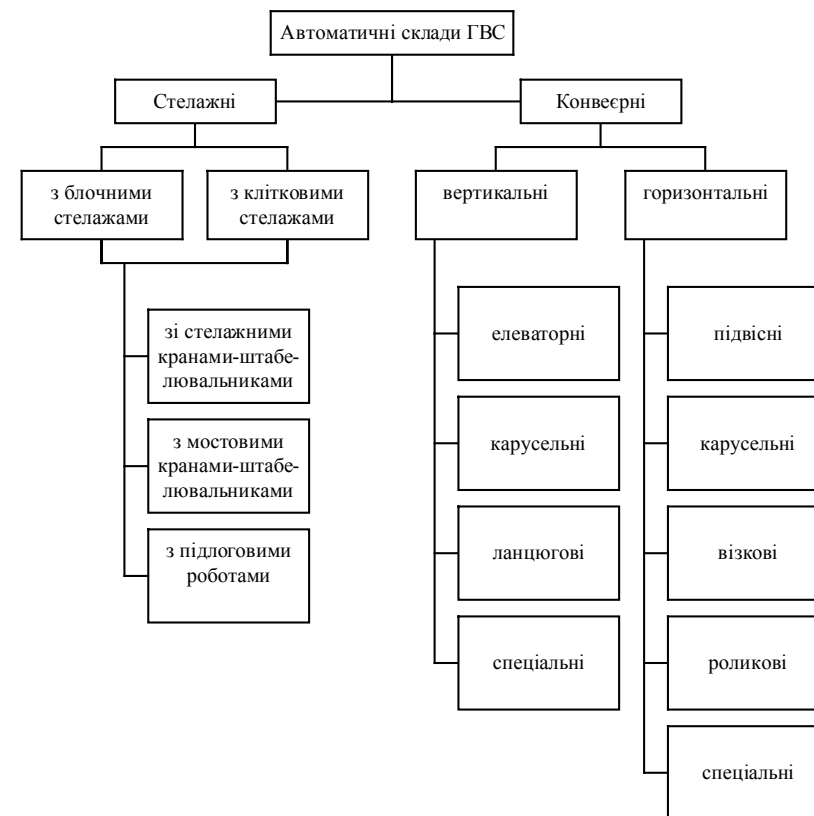
- за технологією роботи: комплектувальні; з пакетною переробкою вантажів;
- за видом складування: штабельні; стелажні;
- за взаємним розташуванням сховища й експедиції: потокові; тупикові;
- за типом будівельної частини: закриті будівлі (однопрогінні та багатопрогінні, одноповерхові й багатоповерхові); навіси; відкриті площадки;
- за розташуванням на генеральному плані заводу: розташовані окремо; зблоковані з виробничими корпусами.

## 9.2. СТРУКТУРА Й КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СКЛАДІВ ГВС

Склади забезпечують взаємодію виробничої системи з іншими системами промислового підприємства. Через них надходять і відвантажуються всі матеріальні потоки, потрібні для нормального функціонування ГВС.

Основні **класифікаційні ознаки автоматичних складів** такі: на-

явність стелажних конструкцій, типи й конструкція стелажів, типи штабелювальних машин (рис. 9.1).



**Рис. 9.1. Класифікація автоматичних складів за типами застосованого устаткування**

Також застосовується класифікація автоматичних складів за іншими ознаками, наприклад за обсягом і розмірами складів, виконуваними функціями, типами та параметрами складської тари, розташуванням ділянок прибуття й відправлення вантажів відносно зони зберігання, рівнем автоматизації, технічними засобами автоматизації тощо.

Автоматичний склад має зону для зберігання вантажів; ділянки прийому й видачі вантажів для внутрішньозаводського транспорту, внутрішнього транспорту ГВС та із зони зберігання; ділянку укладення деталей у транспортно-складську тару.

З метою безперебійного виконання виробничого процесу автоматизована складська система повинна забезпечити:

—зберігання нормативного запасу матеріалів, а також облік, прийом і видачу вихідної сировини, заготовок, основних та допоміжних матеріалів, порожньої тари, інструментів, оснастки, запасних частин для верстатів, змінних схоплювачів для промислових роботів тощо;

—тимчасове зберігання й накопичування готових виробів, відходів виробництва, бракованих деталей.

Найбільш поширеними є **автоматичні стелажні склади**, вони оснащені стелажними конструкціями, автоматичними штабелювальними машинами, транспортно-складською тарою, пристроями для перевантаження порожньої або навантаженої тари з штабелювальних машин на накопичувачі; підлоговими конвеєрними чи іншими накопичувачами, пристроями для передачі тари з накопичувача в транспортну систему гнучкого виробництва або в зворотному напрямку, а також технічними засобами системи автоматичного управління складом.

Якщо розглянути таку складську систему з функціонального погляду, то можна виділити три **функціональні компоненти**:

—підсистему прийому вантажів, яка складається із секцій розвантаження, тимчасового зберігання, сортування й розкладання вантажів у складську тару, а також необхідних транспортних засобів;

—підсистему зберігання прийнятих вантажів, що має зону зберігання, вхідний накопичувач вантажів, вихідний накопичувач вантажів, штабелювальники, стелажі та інші транспортні засоби для переміщення вантажів і тари;

—підсистему відправлення вантажів на зовнішньому транспорті, яка має необхідні підйомно-транспортні засоби, секції відбору й упакування вантажів, відділ комплектації, оформлення та видачі замовлень, секцію тимчасового зберігання перед відправленням, секцію завантаження на зовнішній транспорт, внутрішні транспортні засоби.

Залежно від інтенсивності вантажопотоку і виробничої потужності цеховий склад може бути єдиним централізованим або мати декілька окремих підрозділів, спеціалізованих за видами вантажів.

### 9.3. КЛАСИФІКАЦІЯ СКЛАДСЬКИХ НАКОПИЧУВАЧІВ

Основними видами робіт при створенні автоматичних складів гнучких виробничих систем є розв'язання задач проектування складських накопичувачів, розподілення функцій між ними, раціонального вибору їх типу, кількості, завантажуваного об'єму, схем взаємодії та розташування.

Головним критерієм при розрахунках об'єму міжопераційних складських накопичувачів є мінімально допустима кількість заготовок, що забезпечує безперебійну роботу виробничої системи, з урахуванням можливих необслуговуваних періодів.

Складські накопичувачі за режимом роботи та їх розташуванням у системі можна поділити на такі типи.

1. **Місцевий (внутрішній) накопичувач.** Він утворюється однією буферною зоною, розташованою безпосередньо в робочій позиції (вузлі системи). У таких місцях матеріал очікує наступної операції обробки чи транспортування в межах системи.

2. **Розподільний міжопераційний накопичувач-склад.** Він розташовується в межах виробничої системи й виконує, наприклад, функції проміжного накопичувача між централізованим зовнішнім накопичувачем і робочими позиціями або тільки функції розширеного буферного накопичувача цієї системи, в цьому разі він обслуговує тільки її.

3. **Централізований міжопераційний накопичувач.** Він знаходиться поза виробничою зоною, а його продуктивність має відповідати потребам усього підприємства.

Різні сполучення трьох розглянутих типів приводять до чотирьох практично можливих функціональних моделей накопичувачів.

1. **Буферна зона.** Вона складається з двох місцевих накопичувачів заготовок і деталей, розташованих у буферних місцях по обидва боки робочої позиції. Її максимальний об'єм визначається загальною кількістю заготовок, що підлягають міжопераційному накопиченню. При розрахунках об'єму необхідно зважати на непостійну кількість заготовок, бо узгодити такі зміни з буферними зонами інших робочих позицій неможливо. На етапі проектування варто врахувати ймовірне майбутнє розширення виробничої системи, тому що буферні зони тісно пов'язані зі схемою розташування обладнання, а внесення незапланованих змін викликати певні труднощі.

2. **Буферні зони й розподільний міжопераційний накопичувач-склад.** Робочі позиції мають буферні зони, які забезпечують безпере-

бійну роботу системи. Кожна партія заготовок, що надходить для обробки цілком або частково накопичується в цих зонах. Надлишок заготовок, що залишається від великої партії та не може бути зараз же залученим у виробництво, розкладається в міжопераційний накопичувач-склад і там очікує на обробку. При такій моделі немає потреби у великих буферних зонах, але є необхідність подальшого додаткового транспортування надлишку заготовок. Об'єм розподільного накопичувача визначається різницею між максимально можливою кількістю заготовок у партії та кількістю заготовок, що одразу надійшли у виробництво й розподілені по буферних зонах.

**3. Буферні зони й централізований накопичувач.** Ця модель за принципом розподілення партії заготовок є майже ідентичною попередній моделі. Єдиною відзнакою є те, що замість розподільного міжопераційного накопичувача-складу застосовується централізований накопичувач. Недоліком такої моделі є збільшений обсяг транспортних операцій.

**4. Буферні зони, розподільний і централізований накопичувачі.** Ця модель сполучає усі типи накопичувачів, тобто всі буферні зони, розподільні накопичувачі-склади та централізований накопичувач. Вони утворюють окрему гілку єдиної багаторівневої системи міжопераційного накопичення автоматизованого підприємства. Розрахунки об'єму буферних зон і розподільних накопичувачів виконуються за критеріями, зазначеними для першої та другої моделі. Об'єм централізованого накопичувача розраховується за максимальною загальною кількістю заготовок, що накопичуються всіма системами підприємства.

#### 9.4. ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКА ТАРА

Основою технічного забезпечення, а також механізації й автоматизації процесів транспортування та складування вантажів є застосування технологічної спеціалізованої (пристроїв-супутників) або транспортно-складської (піддонів) багатообігової тари. Вибір параметрів тари є одним із перших етапів проектування технології складування. Ці параметри ув'язують зовнішні та внутрішні вантажопотоки, виробничі ділянки заводу, номенклатуру вантажів й усі елементи складської системи—стелажі, штабелювальне устаткування й складську будівлю.

Ув'язування параметрів тари з характеристиками зовнішніх вантажопотоків складу повинне виконуватись шляхом оптимального заван-

таження транспортних засобів, а також забезпечення безперевалочного процесу транспортування вантажів від постачальників до споживачів із застосуванням транспортних пакетів.

**Транспортним пакетом** називається укрупнена вантажна одиниця, яка зберігає форму в процесі вантажообігу та надає можливість комплексної автоматизації завантажувально-розвантажувальних і складських операцій. Транспортний пакет формується зі штучних вантажів у тарі чи без неї з використанням різних способів і засобів пакування. Одним з основних засобів пакування є **піддони**, їх можна класифікувати за такими ознаками:

—за призначенням—транспортно-складські та спеціалізовані технологічні;

—за видом транспортованих вантажів—універсальні для вантажів широкої номенклатури й спеціальні для конкретних вантажів;

—за конструкцією—плоскі, стоякові, ящиккові, одно- та двонастильні, одно- й двозахідні;

—за матеріалом—металеві, дерев'яні, пластмасові, картонні, композитні з деревостружкових плит та інших матеріалів;

—за терміном придатності до використання—разові й багатообігові;

—за застосуванням—внутрішньоскладські, для внутрішньозаводських перевезень і для зовнішніх магістральних перевезень;

—за розмірами— 150×200, 200×300, 300×400, 400×600, 600×800, 800×800, 800×1000, 800×1200, 1000×1000, 1000×1200.

Багатообігові піддони є частиною транспортно-складського устаткування ГВС. Під час виробництва певні вантажі, наприклад заготовки, напівфабрикати чи деталі, розташовують у фіксованому положенні та іноді попередньо закріплюють на супутниках або спеціальних технологічних піддонах, що спеціально розроблені для ГВС.

#### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 9

1. За якими ознаками класифікують склади промислового підприємства?

2. Як класифікують склади за рівнем механізації й автоматизації складських робіт?

3. Які способи збереження вантажів можуть застосовуватись на складах, від чого залежить вибір способу?

4. За якими схемами може бути організоване складське господарство виробничого підприємства?

## Розділ 10 СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГВС

5. Які види маршрутів застосовуються при організації складського обслуговування?
6. За якими ознаками класифікують автоматичні склади ГВС?
7. Як класифікують автоматичні склади за типами застосовуваного устаткування?
8. Які підрозділи має автоматичний склад ГВС?
9. Які види робіт має виконувати автоматична складська система для забезпечення безперебійної роботи ГВС?
10. Який вид автоматичного складу є найбільш поширеним, яким обладнанням він оснащений?
11. Які підсистеми можна виділити, якщо розглядати автоматичну складську систему з функціонального боку?
12. Який критерій застосовується при проектуванні та виборі видів складських накопичувачів?
13. Як класифікують складські накопичувачі за виконуваними функціями й місцем розташування у виробничій системі?
14. Де розташовується та які функції виконує розподільний міжопераційний накопичувач-склад?
15. З яких елементів складається буферна зона, за якою характеристикою визначається її об'єм?
16. За яким критерієм визначається необхідний об'єм розподільного міжопераційного накопичувача-складу за умов його спільної роботи з буферними зонами, розташованими на робочих позиціях ГВС?
17. За яким критерієм визначається необхідний об'єм централізованого складського накопичувача підприємства?
18. На що впливає вибір параметрів складської тари?
19. Що називають транспортним пакетом, як він формується?
20. За якими ознаками класифікують транспортні піддони?

### 10.1. СТРУКТУРНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ЧПУ

Узвичаєна **класифікація систем числового програмного управління** об'єктивно віддзеркалює їх розвиток у процесі вдосконалення апаратних і програмних засобів керування. Відповідно до неї всі типи систем ЧПУ позначають у такий спосіб:

1. *Numerical Control (NC)*—автономна система ЧПУ з постійною структурою. Це означає, що виконання програми, введеної із зовнішнього носія, відбувається за допомогою незмінних алгоритмів, реалізованих апаратними (схемними) засобами. Об'єм оперативної пам'яті таких систем обмежено розмірами двох кадрів програми, тому під час обробки постійно виконується зчитування інформації з носія, а для обробки наступної заготовки цикл зчитування необхідно повторювати спочатку. Зрозуміло, що таку систему ЧПУ можна застосовувати тільки для автоматизації роботи окремих верстатів. Вона не має вбудованих функцій, що дозволяють без додаткових апаратних доробок інтегрувати її із системою управління ГВС.

2. *Stored Numerical Control (SNC)*—автономна система ЧПУ з постійною структурою, яка має збільшений об'єм оперативної пам'яті та здатна зберігати всю програму обробки. Також окремі команди можуть бути введені безпосередньо з пульта ЧПУ. Програма зчитується з носія один раз перед обробкою всієї партії заготовок. Розглядувана система є результатом удосконалення системи *NC*, але вона також без додаткових змін не може бути інтегрована в ГВС.

3. *Memory Numerical Control (MNC)*—це гібридна система ЧПУ, яка сполучає в собі ознаки систем *SNC* та *CNC* та є дещо спрощеним варіантом останньої. Вона також має оперативну пам'ять, здатну зберігати усю програму та керується мікропроцесором.

4. *Computer Numerical Control (CNC)*—автономна система ЧПУ зі змінною структурою. Це означає, що основні робочі алгоритми та зв'язки задаються програмно й можуть змінюватись. Система має характерні ознаки ЕОМ. Її параметри можна змінювати в період налагодження й адаптації з метою урахування особливостей певного верстата та згодом у процесі його експлуатації. Програмний комплекс системи *CNC* складається з модуля завантаження програм, модуля керування

верстатом, який містить підпрограми управління координатними переміщеннями, підпрограми виконання технологічних команд, підпрограму підготування даних, підпрограму-диспетчер та драйвери—підпрограми для взаємодії із зовнішніми приладами. Зовнішніми приладами можуть бути пристрої для зчитування та зберігання програм, засоби діагностування й контролю, принтер або плотер, а також засоби зовнішніх комунікацій.

Така структура системи *CNC* є дуже гнучкою, дозволяє постійно додавати їй нові функції та властивості, а також інтегрувати у ГВС без значних матеріальних витрат і апаратних доробок.

5. *Handled Numerical Control (HNC)*—це система ЧПУ, яка за своєю програмною структурою є цілком ідентичною системі *CNC*. Особливістю апаратної структури *HNC* є відсутність вбудованого пристрою для зчитування програм обробки, а їх уведення здійснюється оператором безпосередньо з пульта чи клавіатури пристрою ЧПУ. У такій конфігурації системи *HNC* можуть застосовуватись для управління обробкою відносно простих за формою заготовок. Проте ці системи зазвичай мають інтерфейс для підключення зовнішнього портативного пристрою для зчитування програм під час налагодження й адаптації системи. При інтеграції устаткування в ГВС застосування систем *HNC* є менш вартісним через відсутність вбудованих пристроїв зчитування на кожному верстаті.

6. *Direct Numerical Control (DNC)*—централізована система прямого (групового) керування устаткуванням від однієї центральної ЕОМ по мережних каналах зв'язку. Вона є основою для побудови гнучких виробничих систем, що складаються з різнотипного обладнання. Така система може здійснювати управління верстатами; виробничими, допоміжними та підйомно-транспортними роботами; конвеєрами; різними транспортними засобами; завантажувально-розвантажувальними, перевантажувальними, накопичувальними, складськими та іншими пристроями ГВС. *DNC*—це система зі змінною структурою, що має функції програмної інтеграції з розглянутими системами ЧПУ.

Система *DNC* може працювати в трьох режимах:

—індивідуального управління, коли один чи кілька верстатів незалежно працюють від однієї ЕОМ.

—послідовного управління, коли ЕОМ керує роботою всього устаткування відповідно до черговості виконання технологічних операцій;

—гнучкого управління, коли ЕОМ здійснює поточне контролювання потоків деталей, матеріалів, а також інформаційного потоку від сис-

тем ЧПУ устаткування, цей режим є основним у ГВС.

7. *Multi Processor System Terminal (MPST)*—децентралізована багатопроцесорна система групового керування. Вона за програмною структурою є аналогом системи *DNC*, характеризується великою обчислювальною потужністю, але не набула поширення через велику вартість та інші причини.

8. *Voice Numerical Control (VNC)*—це система із змінною структурою, яка забезпечує введення програм за допомогою голосових команд. Основою програмного модуля введення команд є алгоритми розпізнавання мови, але вони є надто чутливими до мови, тембру голосу, темпу вимовляння слів, зовнішніх шумів, дикції, акценту тощо. Крім того, вони вимагають великого обсягу обчислювальних ресурсів, що призводить до високої вартості апаратної частини. Тому системи *VNC* на сьогодні так і не вийшли з категорії «екзотичних», а алгоритми розпізнавання мови набули поширення хіба що у виробках складної побутової електроніки.

## 10.2. ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ

Необхідна кількість електронно-обчислювального обладнання визначається кількістю рівнів управління системою. На найнижчому рівні здійснюється керування окремими виконавчими елементами гнучких виробничих модулів або роботизованих технологічних комплексів, із яких складається система. Наступні рівні визначаються її масштабністю відповідно до класифікації (див. п. 5.1), тобто керування осередками, системами, лініями, ділянками, цехами та заводом у цілому. Рівень керування заводом є найвищим.

На найнижчому рівні виконуються програми, за якими здійснюється обробка й транспортні операції. За допомогою цього програмного забезпечення можна контролювати, наприклад, відхилення геометричних розмірів оброблюваних поверхонь, температуру різання, швидкість зносу різального інструмента тощо. За допомогою програмного забезпечення проміжних рівнів здійснюється керування вантажопотоками між системами нижчого рівня, аналізується інформація, що надходить з усіх підпорядкованих систем. Проміжні рівні є з'єднувальними ланками для нижчих і вищих рівнів. На найвищому рівні зберігаються керуючі програми, накопичується й аналізується вся інформація.

Управління системою може здійснюватись за двома схемами—централізованою й децентралізованою. **Централізована схема** вимагає прийняття усіх рішень на найвищому рівні з подальшою передачею інформації на всі рівні системи. Виконання будь-яких дій на нижчих рівнях можливе тільки після підтвердження з вищого рівня, тому на найнижчому рівні такої системи обсяги інформації, що передається по каналах зв'язку, будуть значно більшими, ніж на найвищому рівні. Така ієрархічна схема зазвичай не буває оптимальною при частих змінах номенклатури виробів, вона значно зменшує гнучкість виробництва.

З метою забезпечення найбільшої гнучкості виробництва застосовується **децентралізована схема** управління, яка на сьогодні є найбільш поширеною. Вона передбачає значне зменшення кількості рівнів й розвинуті інформаційні зв'язки між системами одного рівня, а також прийняття певних рішень на нижчих рівнях, які не потребують підтвердження з вищого рівня.

### 10.3. ЗАДАЧІ, ФУНКЦІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

**Основні задачі системи управління**—це поточний контроль стану виробництва та розробка й впровадження нової виробничої програми при зміні номенклатури виробів.

З функціонального погляду система управління складається з двох компонентів:

—підсистеми технічного керування, задачею якої є обробка геометричної та технологічної інформації, що забезпечує необхідне й надійне формоутворення;

—підсистеми організаційного керування, задачами якої є реалізація управління виробничим процесом одночасного виготовлення різних виробів та поточна координація цього процесу.

**Функції підсистеми технічного керування** такі:

—числове програмне управління приводами обробного устаткування;

—автоматичне налагодження й переналагодження систем окремих верстатів;

—адаптивне керування обробкою на верстатах (режимами різання, силовими й тепловими параметрами різання);

—технічне діагностування елементів системи, які забезпечують технологічний процес (контроль готовності верстата до роботи, опера-

тивна циклова й вузлова діагностика, спеціальна діагностика, діагностика за результатами обробки).

**Функції підсистеми організаційного керування** такі:

—облік і контроль стану заготовок, деталей та виробів;

—керування вантажопотоками;

—оптимізація маршруту обробки залежно від поточної ситуації;

—зберігання й редагування бази керуючих програм;

—керування роботою транспортно-накопичувальної системи, складської системи, системи контролю й вимірювань, а також інших систем, що забезпечують безперебійне виробництво;

—контролювання ходу виконання технологічних процесів.

Загальні функції, які виконує система управління, **на рівні виробничого модуля** такі:

—зв'язок із системою групового управління вищого рівня;

—керування обробкою (зміна заготовки, ідентифікація заготовки або пристрою-супутника, зміна оброблюваних поверхонь, зміна встановлених розмірів);

—керування інструментом (спостереження за станом різальної кромки й контролювання стійкості інструмента, зміна інструмента);

—керування верстатом (виконання пробних циклів, діагностика стану, контролювання параметрів подач, оптимізація режимів різання).

Загальні функції, які виконує система управління, **на рівні виробничого осередку** чи більш масштабної структури такі:

—керування верстатами, транспортом, установкою заготовок, інструментом, міжопераційним складом, якістю обробки тощо;

—зв'язок із системами ЧПУ підпорядкованого обладнання;

—спостереження за процесом, логікою команд, відхиленнями, аномальними ситуаціями;

—оповіщення про відхилення від нормативної технології;

—контролювання виконання команд і розв'язання задач;

—ідентифікація заготовок, деталей, устаткування;

—диспетчеризація (формування послідовностей обробки, завантаження програм, аналіз черговості обробки);

—тестування (пошук помилок, тестування й редагування програм, перевірка стану файлів, імітація розрахункових варіантів, імітація даних);

—формування статистичних даних про обсяг випуску, кількість відмов, види простоїв, причини відмов, фактичний час роботи;

—прийняття рішень для досягнення максимальної продуктивності

та мінімальної собівартості при заданій номенклатурі.

Якщо розглядати пристрої системи управління з погляду їх програмно-апаратної реалізації, то всі можливі функції керування насамперед визначаються технічними характеристиками компонентів, на яких вони реалізовані. Основними **технічними характеристиками керуючих пристроїв ЧПУ** є такі:

- тип системи управління відповідно до класифікації;
- кількість координат, які може сприймати система й одночасно ними керувати, дискретність задавання координат;
- наявність функції лінійної та кругової інтерполяції в площині, об'ємної лінійної, гвинтової інтерполяції;
- можливість вибору або зсуву початку системи координат (нуля) програмно чи з пульта системи;
- наявність різних способів задавання розмірів—абсолютними значеннями, приростами, параметрами функцій;
- можливість зворотного виконання програми та її відпрацювання в різних масштабах;
- наявність функцій програмного корегування розмірів інструменту й елементів верстата;
- наявність інтерфейсів для з'єднання з ЕОМ та іншими зовнішніми пристроями;
- наявність системи редагування програм, можливість ручного введення програм й розширення набору функцій мови програмування;
- швидкодія системи й приводів подач, типи приводів подач;
- індикація положення виконавчих елементів верстата, виконуваних функцій, поточного кадру;
- варіантність і блочність побудови системи;
- наявність систем діагностування й самодіагностування;
- габаритні розміри, маса, конструктивні особливості, ергономічність конструкції.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 10

1. Які характеристики має система ЧПУ типу *NC*?
2. Чим відрізняються характеристики системи ЧПУ типу *NC* від систем *SNC*, *MNC*?
3. Чому системи ЧПУ типу *NC*, *SNC* не можуть бути інтегровані в гнучку виробничу систему без додаткових апаратних доробок?

4. Чому на відміну від систем ЧПУ типу *NC*, *SNC*, *MNC* системи *CNC* та *HNC* легко інтегруються в гнучку виробничу систему без додаткових апаратних доробок?

5. На що вказують характеристики: «ЧПУ з постійною структурою», «ЧПУ зі змінною структурою»?

6. Чому система *DNC* застосовується для керування гнучкими виробничими системами?

7. У яких режимах може працювати система *DNC* при керуванні устаткуванням?

8. Чому на сьогодні системи ЧПУ типу *VNC* не набули поширення?

9. Які функції виконуються на різних рівнях багаторівневої системи управління?

10. Чим визначається кількість рівнів управління виробничою системою?

11. За якими схемами може бути організоване управління виробничою системою?

12. Чому децентралізована схема управління виробничою системою є більш ефективною, ніж централізована, за умов частого зміни номенклатури виробів?

13. З яких функціональних підсистем складається система управління?

14. Які функції виконує підсистема технічного керування?

15. Які функції виконує підсистема організаційного керування?

16. Які функції повинна виконувати система управління на рівні виробничого модуля?

17. Які функції повинна виконувати система управління на рівні виробничого осередку чи більш масштабної структури?

18. З яких параметрів складається технічна характеристика керуючих пристроїв ЧПУ?



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белоусов А. П. Основы автоматизации производства в машиностроении.—М.: Высш. шк., 1982.—351 с.
2. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник /Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий.—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990.—588 с.
3. Гибкие производственные комплексы /Под ред. П. Н. Беянина, В. А. Лещенко.—М.: Машиностроение, 1984.—384 с.
4. Гибкое автоматическое производство /Под ред. С. А. Майорова, Г. В. Орловского.—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983.—376 с.
5. Грачев Л. Н. Автоматизированные участки для точной размерной обработки деталей /Л. Н. Грачев, Д. Е. Гиндин.—М.: Машиностроение, 1981.—240 с.
6. Дашенко А. И. Проектирование автоматических линий.—М.: Высш. шк., 1983.—328 с.
7. Кузнецов Ю. Н. Станки с ЧПУ: Учеб. пособие.—К.: Выща шк., 1991.—278 с.
8. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов: Учеб. для машиностроит. спец. вузов.—М.: Машиностроение, 1990.—351 с.
9. Металлорежущие станки: Учеб. для машиностроит. вузов /Под ред. В. Э. Пуша.—М.: Машиностроение, 1985.—256 с.
10. Пуш В. Э. Автоматические станочные системы /В. Э. Пуш, Р. Пигерт, В. Л. Сосонкин.—М.: Машиностроение, 1982.—319 с.
11. Резание: технология, оснастка, инструмент /Под ред. М. А. Прялина.—Д.: Промінь, 1985.—183 с.
12. Справочник технолога по автоматическим линиям /Под ред. А. Г. Косиловой.—М.: Машиностроение, 1982.—320 с.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### А

- аванпроект, 29
- автоматизация виробництва, 7
- автоматизация обробки, 7
- автоматизованний склад, 112
- автоматичний склад, 113, 114
- агрегатний модуль, 78

### Б

- багатоінструментальний верстат, 57
- багатоцільовий верстат, 57
- безвідмовність, 49
- безрейковий автоматичний візок, 100
- бункер, 94, 95
- бункерний пристрій, 94
- буферна зона, 115

### В

- вантажопідйомність, 79
- верстатний пристрій, 74
- верстат-автомат, 16
- верстат-напівавтомат, 16
- види гнучкості, 44, 45
- вимірювальний пристрій, 72
- виріб-представник, 13
- виробнича програма, 13, 15
- виробничий процес, 5, 6, 7, 8

- виробництво безупинним потоком, 22, 23
- виробничий цикл, 6
- виробничий робот, 81
- виробнича ділянка, 31
- виробнича потужність, 6
- високо механізований склад, 111
- вібраційний конвеєр, 89
- вібраційний пристрій, 97
- відмова, 49
- відсікач, 99
- внутрішня гнучкість, 45

### Г

- гвинтовий конвеєр, 89
- геометрична точність верстата, 51
- гнучка автоматизация, 18
- гнучка автоматизована ділянка, 35
- гнучка автоматизована лінія, 35
- гнучка виробнича система, 34
- гнучке автоматизоване виробництво, 35
- гнучкий автоматизований завод, 35
- гнучкий автоматизований цех, 35
- гнучкий виробничий комплекс, 35
- гнучкий виробничий модуль, 34
- гнучкий виробничий осередок, 34
- гнучкість процесу, 44
- гнучкість роботи, 44

гнучкість устаткування, 45  
головний привод, 66  
гребінчастий конвеєр, 92

## Д

датчик зворотного зв'язку, 73  
двовалковий конвеєр, 89  
діагностування, 50  
дійсна потужність виробництва, 6  
довговічність, 50  
допоміжні підрозділи цеху, 31  
допоміжні роботи, 81  
допоміжні цехи, 27

## Е

економічна ефективність, 47  
елементи пристроїв, 74  
енергетична система, 27  
етапи виробничого процесу, 5  
ефективність, 46

## Ж

живильник, 98  
жорстка автоматизація, 16

## З

завод із повним виробничим циклом, 26  
завантажувально-розвантажувальний пристрій, 94  
загальнозаводські підрозділи, 27

заготівельні підприємства, 26  
засоби автоматизації, 16  
захоплювально-орієнтувальний механізм, 98  
збережність, 50  
зміна заготовок, 103, 104, 105, 106, 107  
зовнішня гнучкість, 45

## І

імовірність безвідмовної роботи, 50  
індуктивна система, 101, 102  
інтенсивність відмов, 50  
інформаційний модуль, 78

## К

кантувач, 94, 99  
кінематична точність верстата, 51  
класи вантажів, 87  
коефіцієнт готовності, 50  
коефіцієнт приведення, 14  
коефіцієнт розбіжності мас, 15  
коефіцієнт серійності, 15  
коефіцієнт складності, 14  
коефіцієнт технічного використання, 51  
комбіноване керування ЧПУ, 61  
комплексне виробництво, 5  
конвеєр із заховуваними заціпками, 90

конвеєр із захоплювальними пристроями, 90  
конвеєр, 90, 91, 92, 93, 96  
конвеєр безупинної дії, 88  
конвеєр періодичної дії, 90  
контурне керування ЧПУ, 61  
кроковий двигун, 67

## Л

ланцюговий конвеєр, 88  
лоток, 108, 109  
лотковий самопливний конвеєр, 90  
лотковий пристрій, 95

## М

маніпуляційний пристрій, 68  
маршрутна гнучкість, 44  
масове виробництво, 21  
машинна гнучкість, 44  
механізований склад, 111  
механічний модуль, 78  
механоскладальне підприємство, 26  
мобільність, 80

## Н

надійність, 49  
накопичувач, 92, 115, 116  
напрявні, 65  
наробок до відмови, 50

немеханізований склад, 111  
непотоковий виробничий процес, 6

## О

обробні цехи, 26  
обсяг випуску, 6  
одиничне виробництво, 19  
оптоелектронна система, 102  
організація управління, 121

## П

параметрична гнучкість, 45  
партія, 20  
перевантажувальні засоби, 100  
передпроектні роботи, 27  
перекладувальний конвеєр, 92, 93  
переналагоджуваність, 45  
пилкоподібний конвеєр, 92, 93  
підвісні транспортні роботи, 100  
піддони, 116, 117  
пневматичний напівсамопливний конвеєр, 89  
позиційне керування ЧПУ, 61  
портальні підйомно-транспортні роботи, 100  
потоковий виробничий процес, 6  
потоково-серійна форма виробництва, 22  
похибка позиціонування, 53, 80  
похибки непогодженості, 52  
похибки обробки, 51

пошкодження, 50  
працевдатність, 49  
предметна форма організації  
виробництва, 21  
приведена виробнича  
програма, 13  
привод подач, 66  
привод позиціонування, 68  
програма випуску, 6, 13  
продуктивність, 37, 38, 39  
проектна потужність, 6  
проекування цехів, 25  
промисловий робот, 56, 78, 81, 82,  
83  
прямоточна форма організації  
виробництва, 22

## **Р**

радіотелевізійні системи, 102  
ремонтпридатність, 50  
ресурс, 50  
рівень автоматизації, 7  
роботизований технологічний  
комплекс, 33, 82  
робоча зона, 80  
робочий проект, 30  
робоча документація, 30  
роликотий конвеєр, 88  
рука, 98

## **С**

санітарно-технічні підрозділи, 27

серійне виробництво, 20  
серія, 20  
система автоматичної зміни  
інструмента, 68  
система забезпечення  
функціонування, 36  
система маніпулювання, 68  
система управління, 36, 43, 61, 73,  
119, 122  
система управління без  
зворотного зв'язку, 61  
система управління зі зворотним  
зв'язком, 61  
складська система, 27, 36, 110  
слідкуючий електропривод, 67  
спеціалізовані пристрої, 75  
спеціалізовані роботи, 82  
спеціальні пристрої, 75  
спеціальні роботи, 82  
станина, 65  
структура промислових  
підприємств, 26  
структурна гнучкість, 45  
ступені рухливості, 79, 81, 82  
ступінь автоматизації, 7, 35  
ступінь гнучкості, 36  
схоплювач, 78

## **Т**

тара, 116  
термін служби, 50  
термін зберігання вантажів, 110

техніко-економічне  
обґрунтування, 28  
технічне завдання, 29  
технологічна продуктивність, 38  
технологічний процес, 5, 7  
технологічний пристрій, 74  
тип вантажів, 110  
тип виробництва, 15  
точна виробнича програма, 13  
точність верстатів, 51, 52  
точність обробки, 51  
транспортна система, 27  
транспортний пакет, 117  
транспортно-накопичувальна  
система, 86

## **У**

умовна виробнича програма, 15  
універсальні роботи, 82  
універсальні пристрої, 75  
універсальність, 45

## **Ф**

фактична продуктивність, 38  
форми організації виробництва,  
21

## **Ц**

цех, 31  
цехова форма організації  
виробництва, 21  
циклова продуктивність, 38  
циклограма, 17

## **Ч**

ЧПУ, 61, 73, 119

## **Ш**

швидкодія, 80  
шпindelь, 66

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3	5.2. Система забезпечення функціонування гнучкої виробничої системи .....	36
ЧАСТИНА I. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ПИТАННЯ ПОВУДОВИ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	5	5.3. Основні характеристики гнучкого виробництва.....	37
Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ШЛЯХИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ.....	5	5.3.1. Продуктивність ГВС та верстатів із ЧПУ .....	37
Контрольні питання до розділу 1 .....	7	5.3.2. Поняття про гнучкість автоматизованого виробництва. Елементи й види гнучкості.....	40
Розділ 2. ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ У СУЧАСНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ.....	8	5.3.3. Ефективність роботи ГВС. Економічна ефективність обробки на верстатах із ЧПУ .....	46
Контрольні питання до розділу 2 .....	12	5.3.4. Надійність функціонування ГВС .....	49
Розділ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА Й ВИБІР ЗАСОБІВ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	13	5.3.5. Точність технологічного устаткування.....	51
3.1. Методи визначення виробничої програми випуску виробів при проектуванні нового виробництва.....	13	Контрольні питання до розділу 5 .....	54
3.2. Типи виробництва та їх вплив на вибір засобів автоматизації .....	15	ЧАСТИНА II. ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ГНУЧКОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ.....	56
3.2.1. Одиначне виробництво .....	19	Розділ 6. ВЕРСТАТНА СИСТЕМА ГВС .....	56
3.2.2. Серійне виробництво .....	20	6.1. Класифікація верстатних систем .....	56
3.2.3. Масове виробництво .....	21	6.1.1. Класифікація металорізального устаткування.....	57
3.3. Форми організації виробництва .....	21	6.1.2. Індксація металорізального устаткування і моделей систем ЧПУ .....	61
Контрольні питання до розділу 3 .....	23	6.2. Конструктивні елементи верстатів із ЧПУ .....	65
Розділ 4. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ЦЕХІВ І ДІЛЯНОК .....	25	6.3. Критерії вибору й класифікація технологічних пристроїв ..	74
4.1. Основні завдання проектування .....	25	Контрольні питання до розділу 6 .....	76
4.2. Структура промислових підприємств .....	26	Розділ 7. ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ В ГВС .....	78
4.3. Передпроектні роботи: формування вихідних даних для проектування виробництва.....	27	7.1. Характеристики промислових роботів .....	79
4.4. Проектні роботи: розробка технічного завдання й робочого проекту. Послідовність проектування цехів.....	29	7.2. Класифікація промислових роботів .....	81
Контрольні питання до розділу 4 .....	32	7.3. Принципи побудови роботизованих технологічних комплексів.....	82
Розділ 5. ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ.....	34	Контрольні питання до розділу 7 .....	84
5.1. Класифікація гнучких виробничих систем.....	34	Розділ 8. ТРАНСПОРТНО-НАКОПИЧУВАЛЬНА СИСТЕМА .....	86
		8.1. Класифікація й склад транспортно-накопичувальних систем.....	86
		8.2. Конвеєри .....	88
		8.2.1. Конвеєри безупинної дії .....	88
		8.2.2. Конвеєри періодичної дії .....	90
		8.3. Завантажувально-розвантажувальні пристрої .....	94
		8.4. Транспортні й перевантажувальні засоби.....	100
		Контрольні питання до розділу 8 .....	107

Розділ 9. СКЛАДСЬКА СИСТЕМА.....	110
9.1. Загальна класифікація складів підприємства .....	110
9.2. Структура й класифікація автоматичних складів ГВС .....	112
9.3. Класифікація складських накопичувачів .....	115
9.4. Транспортно-складська тара.....	116
Контрольні питання до розділу 9 .....	117
Розділ 10. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГВС .....	119
10.1. Структурно-інформаційні характеристики систем ЧПУ..	119
10.2. Принципи організації управління .....	121
10.3. Задачі, функції та характеристики системи управління ...	122
Контрольні питання до розділу 10 .....	124
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	126
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....	127

Темплан 2006, поз. 11

Навчальне видання

Юрій Валентинович Ткачов  
Євген Олексійович Джур  
Євген Юрійович Ніколенко

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ЦЕХІВ**

Навчальний посібник

Редактор І. І. Бакуменко  
Техредактор Л. П. Замятіна  
Коректор Т. А. Андреева

---

Підписано до друку 27.07.2006 р. Формат 60×84/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Ум. друк. арк. 7,9. Ум. фарбовідб. 7,9. Обл.-вид. арк. 8,8.  
Тираж 150 пр. Зам. №

---

РВВ ДНУ, вул. Наукова, 13, м. Дніпропетровськ, 49050.  
Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050