

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

**ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕРСТАТНИХ
РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Навчальний посібник
з дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих
комплексів»

для студентів денної та заочної форм навчання
освітнього ступеню «бакалавр»
спеціальності 131 Прикладна механіка

Луцьк - Покровськ
2023

УДК 621.9(075.8)
Н 65

Навчальний посібник до вивчення дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих комплексів» для студентів денної та заочної форм навчання освітнього ступеню «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» [Електронний ресурс] / уклад. Л.П. Калафатова, С.О. Вірич, М.О. Бабенко. – Луцьк-Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. – 252 с.

Розглянуті закономірності розвитку та удосконалення конструкцій автоматизованої техніки. Завдяки наведеним відомостям надана можливість: здійснити вивчення організації технологічного процесу як основи автоматизації та проектування роботизованих верстатних комплексів; придбати теоретичні знання та навички щодо їх проектування для умов масового, серійного та одиничного виробництва; визначити тенденції розвитку автоматизованих виробництв у машинобудуванні і механічній обробці з метою підвищення їх продуктивності і забезпечення високої якості продукції.

Посібник призначений для вивчення дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих комплексів» студентами-бакалаврами за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», також може бути корисним для магістрів, аспірантів і докторантів з цієї ж спеціальності.

Укладачі: Калафатова Л.П., проф., д. т. н., проф. кафедри ПМ
Вірич С.О., доц., к. т. н, зав. кафедри ПМ
Бабенко М.О., к. пед. н., ст. викладач кафедри ПМ

Рецензенти: Клименко Г.П., проф., д. т. н., проф. кафедри «Автоматизація виробничих процесів» Донбаської державної машинобудівної академії
Костенко В.К., проф., д. т. н., зав. каф. «Природоохоронна діяльність» ДВНЗ ДонНТУ

ISBN 978-966-377-253-0

© Донецький національний технічний університет, 2023
Калафатова Л.П.
Вірич С.О.
Бабенко М.О.

ЗМІСТ

	СПИСОК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
	ВСТУП	7
1	МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕХАНООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТІВ І ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ В УМОВАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ	11
1.1	Поняття автоматизації виробничих процесів	11
1.2	Вимоги до сучасного машинобудівного виробництва	12
1.3	Засоби автоматизації в різних типах виробництва	16
1.4	Шляхи подальшого розвитку автоматизації ТП у машинобудуванні і засобів її реалізації	27
1.5	Питання для самоконтролю за першою темою	29
2	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС – ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	30
2.1	Класифікація технологічних процесів за ознакою: трудомісткість автоматизації	30
2.2	Завдання, що вирішуються при проектуванні технологічних процесів	33
2.3	Класифікація технологічних процесів та технологічного обладнання за ознакою безперервності	34
2.4	Операція в автоматизованому виробництві як елемент технологічного процесу	39
2.5	Варіантність технологічних процесів та критерії оцінки їх ефективності	41
2.6	Питання для самоконтролю за другою темою	44
3	ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ І ПРОГРЕСИВНІСТЬ НОВОЇ ТЕХНІКИ	46
3.1	Теорія продуктивності праці як наукова основа вирішення проблемних та прикладних питань автоматизації	46
3.2	Фактори, що визначають продуктивність праці	48
3.3	Порівняння варіантів техніки. Коефіцієнт зростання продуктивності праці	52
3.4	Економічна ефективність автоматизованого обладнання	54
3.5	Питання для самоконтролю за третьою темою	55
4	ТЕОРІЯ АГРЕГАТУВАННЯ РОБОЧИХ МАШИН ЯК ОСНОВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ВПЛИВУ НА РІВЕНЬ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	56
4.1	Технологічні методи підвищення продуктивності	56
4.2	Принцип поєднання операцій. Способи реалізації принципу	67
4.3	Способи диференціації технологічних процесів і концентрації операцій	72
4.4	Агрегування робочих машин. Методи і види агрегування	78
4.5	Види продуктивності робочої машини	83

4.6	Визначення оптимального ступеня диференціації і концентрації операцій, виходячи із забезпечення максимуму продуктивності обладнання	88
4.7	Питання для самоконтролю за четвертою темою	101
5	ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МАШИН-АВТОМАТІВ І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ	102
5.1	Обґрунтування можливості підвищення продуктивності систем технологічного обладнання за рахунок зміни принципів їх побудови	102
5.2	Структурні схеми машин і ліній різних видів агрегування	111
5.3	Питання для самоконтролю за п'ятою темою	123
6	ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ УМОВ МАСОВОГО ТА ВЕЛИКОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	124
6.1	Автоматичні лінії, їх призначення та класифікація	124
6.2	Питання для самоконтролю за шостою темою	136
7	ЦІЛЬОВІ МЕХАНІЗМИ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ, ЇХ ФУНКЦІЇ. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ	137
7.1	Класифікація цільових механізмів автоматичних ліній	137
7.2	Цільові механізми холостих ходів автоматів і автоматичних ліній	138
7.3	Види автоматизованих завантажувальних пристроїв	140
7.4	Механізми орієнтації БЗП	147
7.5	Допоміжні механізми завантажувальних пристроїв	168
7.6	Промислові роботи як автоматична завантажувальна система	176
7.7	Питання для самоконтролю за сьомою темою	181
8	АВТОМАТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ПРИСТРОЇ	184
8.1	Транспортні механізми автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком	184
8.2	Питання для самоконтролю за восьмою темою	195
9	ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ – ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	196
9.1	Поняття гнучких виробничих систем, їх класифікація та структура	196
9.2	Основні елементи ГВС, їх особливості, розв'язувані ними завдання	206
9.3	Питання для самоконтролю за дев'ятою темою	245
	ЗАКЛЮЧЕННЯ	246
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	249

СПИСОК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТП – технологічний процес
ОТ – обчислювальна техніка
АЛ – автоматична лінія
ЧПК – числове програмне керування
ГВМ – гнучкий виробничий модуль
РТК – роботизований технологічний комплекс
ГВС – гнучка виробнича система
Г АВ – гнучке автоматизоване виробництво
ГАЛ – гнучка автоматична лінія
ГАД – гнучка автоматизована ділянка
ГАЦ – гнучкий автоматизований цех
ГАЗ – гнучкий автоматизований завод
СК – система керування
ЕОМ – електронна обчислювальна машина
ОЦ – оброблювальний центр
НАЛ – непереналагоджувана автоматична лінія
ПАЛ – переналагоджувана автоматична лінія
САУ – система автоматичного управління
САПР – система автоматизованого проектування
АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва
АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом
АСУ – автоматизована система управління
АСУП – автоматизована система управління підприємством
АРМ – автоматизоване робоче місце
ПР – промисловий робот
ТО – технологічне обладнання
ВПД – верстат, пристосування, інструмент, деталь
ТАС – транспортні автоматизовані системи
АСІЗ – автоматизована система інструментального забезпечення
АСВВ – автоматизовані системи видалення відходів
АСЗЯ – автоматизовані системи забезпечення якості
АСЗН – автоматизовані системи забезпечення надійності
АСК – автоматизовані системи керування

БТА – багатошпиндельні токарні автомати
ПО – предмети обробки
ЗП – завантажувальні пристрої
АЗП – автоматичні завантажувальні пристрої
МЗП – магазинні завантажувальні пристрої
БМЗП – бункерно-магазинні завантажувальні пристрої
БЗП – бункерні завантажувальні пристрої
БОП – бункерно-орієнтуючі пристрої
ВЗП – вібраційні завантажувальні пристрої
КП – керуюча програма
АТСС – автоматизована транспортно-складська система
АТНС – автоматизована транспортно-накопичувальна система
АСОПВ – автоматизована система оперативного планування виробництва
ВО – верстатне обладнання
МОТС – мастильно-охолоджувальні технологічні середовища
УП – управляюча програма
ВП – виробничі процеси
АО – автооператори
ПЗ – програмне забезпечення
МЗ – математичне забезпечення

ВСТУП

Сучасне машинобудівне виробництво відрізняється складністю виробничих і технологічних процесів. У цих умовах вирішення проблеми підвищення продуктивності праці та якості виробленої продукції, можливості швидкого переорієнтування на випуск виробів різної номенклатури при мінімальних витратах можливе тільки шляхом впровадження комплексної автоматизації. Комплексна автоматизація виробництва – це багатоваріантне завдання створення нової техніки, як правило, що принципово відрізняється від технічного арсеналу неавтоматизованого виробництва. Для цього необхідно вміти проектувати та широко використовувати автоматизовані системи технологічного обладнання.

Тому дисципліна «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих комплексів», яка присвячена вивченню студентами методології проектування та організації раціональної експлуатації систем автоматизованого обладнання, є однією з основних при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Метою викладання вищевказаної дисципліни є необхідність дати студентам глибокі знання про закономірності розвитку та удосконалення конструкцій автоматизованої техніки; на основі сучасних уявлень здійснити вивчення організації технологічного процесу як основи автоматизації та проектування верстатних комплексів; придбати теоретичні знання та навички щодо проектування автоматизованих верстатних комплексів (АВК) для умов масового, серійного та одиничного виробництва.

Введення в автоматизацію верстатних комплексів являє собою важливу галузь інженерії та виробництва, спрямовану на підвищення ефективності та якості процесів механічної обробки матеріалів на верстатах.

Автоматизований верстатний комплекс (АВК) є сукупністю верстатів, обладнання та систем, керованих автоматично з використанням сучасних технологій та програмного забезпечення. Він включає різноманітні пристрої, від

ЧПК-верстатів до робіт, систем візуального контролю та автоматичної зміни інструменту, а також транспортних систем, що поєднують окремі виробничі модулі в складну багатофункціональну технічну систему.

Основні засоби автоматизації, задіяні у структурі АВК:

- Числове програмне керування (ЧПК): у верстатному обладнанні дозволяє попередньо задавати шлях руху інструменту на верстаті, що забезпечує високу точність та гнучкість обробки.

- Робототехніка: роботи можуть виконувати безліч операцій у структурі АСК – це подача заготовок на верстат і знімання вже оброблених деталей; обробка; міжпозиційне транспортування заготовок, готових виробів, інструментів тощо; сортування та пакування готової продукції.

- Системи автоматичної зміни інструменту: ці системи дозволяють автоматично за програмою змінювати інструменти на верстаті залежно від завдання, що скорочує час переналагодження. Для цього найчастіше використовуються роботи.

- Системи візуального контролю: оптичні системи та камери можуть використовуватися для контролю розмірів, дефектів та інших параметрів заготовок, деталей у реальному часі.

Таким чином, автоматизація верстатних комплексів охоплює широкий спектр технологій, методів та систем, які дозволяють керувати та контролювати роботу верстатів з мінімальною участю людини. Наслідком є наступні переваги такого виробництва.

- Підвищення продуктивності за рахунок: збільшення швидкості обробки деталей; скорочення тимчасових витрат на переналагодження верстатів; збільшення змінності роботи майже до роботи у цілодобовому режимі. При цьому автоматизація дозволяє максимально використовувати виробничі потужності, забезпечуючи швидшу та ефективнішу обробку деталей.

- Поліпшення якості виробів, які виготовляються, за рахунок того, що автоматичні системи менше схильні до людської помилки, можуть забезпечити

високу і стабільну точність обробки. Як наслідок це призводить до скорочення браку, що особливо важливо для виготовлення складних деталей.

- Збільшення гнучкості виробництва за рахунок використання автоматизованого перепрограмування обладнання, що дозволяє швидко переходити на вирішення різних завдань при випуску різноманітних типів продукції.

- Економія трудовитрат: багато операцій, які раніше виконувались вручну, тепер можуть бути автоматизовані, що дозволяє зменшити залежність від операторів і, знижуючи навантаження на робочу силу, дає змогу зосередитись на вирішенні завдань більш високого рівня.

- Зниження загальних витрат: хоча впровадження автоматизації може вимагати значних інвестицій, воно у довгостроковій перспективі дозволяє знизити витрати на виробництво виробів за рахунок зростання продуктивності обробки та зменшення ймовірності браку.

Загалом автоматизація верстатних комплексів відіграє ключову роль у сучасній промисловості, забезпечуючи підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств. При цьому рішення про впровадження автоматизованих верстатних комплексів потребує уважного аналізу переваг та недоліків з урахуванням специфіки підприємства та виробництва.

Виходячи зі сказаного, основні питання, які розглядає дисципліна:

- вивчення: тенденцій розвитку автоматизованих виробництв; класифікацій автоматизованих верстатних комплексів та впливу їх структури на продуктивність обробки; засобів комплексної автоматизації різних типів виробництв; конструкцій елементів комплексів і їх цільових механізмів – технологічного обладнання, транспортування, механізмів фіксації заготовок, інструментального забезпечення, контролю та діагностики; методів розрахунків механізмів автоматичного обладнання АВК;

- вивчення можливостей узагальнення результатів аналізу технологічності виробів і раціонального вибору засобів автоматизації для їх виробництва, а також методів моделювання оптимізаційної структури автоматизованих верстатних

комплексів для різних типів виробництв в умовах технічного переозброєння промисловості.

У сукупності це дозволить майбутнім спеціалістам:

- розробляти технологічні процеси виготовлення виробів, придатні для автоматизації для різних типів виробництва – від масового до дрібносерійного;
- теоретично обґрунтовувати структуру автоматизованих верстатних комплексів та особливостей конструкцій їх обладнання;
- здійснювати вибір раціональних проектних рішень при комплексній автоматизації в умовах виробництв різного рівня серійності;
- виконувати конструкторські розрахунки механізмів автоматичного обладнання верстатних комплексів.

Посібник може бути базовим при вивченні дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих комплексів» студентами-бакалаврами за спеціальністю 131 «Прикладна механіка». Викладені матеріали також можуть бути корисними для магістрів і аспірантів машинобудівних вищих навчальних закладів, наукових і інженерно-технічних робітників, які пов'язані з проектуванням і експлуатацією сучасного автоматизованого метало-оброблювального обладнання.

РОЗДІЛ 1

МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕХАНООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТІВ І ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ В УМОВАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Поняття автоматизації виробничих процесів

Машинобудування – одна з ключових галузей сучасної економіки. Вона створює найактивнішу частину основних продуктивних доходів – знаряддя праці і, тим самим, в значній мірі визначає можливість технічного прогресу, зростання суспільного виробництва та ефективності всього народного господарства. Найважливіше значення в інтенсифікації суспільного виробництва має випереджальний розвиток машинобудівного комплексу і таких базових галузей, як верстатобудування, приладобудування і т. д.

До недавнього часу розвиток техніки був пов'язаний в основному з отриманням, передачею, перетворенням і використанням різних видів енергії. Нині він дедалі більшою мірою стає пов'язаним також і з проблемами отримання, накопичення, обробки і використання в технологічних процесах (ТП) величезних масивів інформації. Розвиток обчислювальної техніки привів до можливості автоматизації буквально всіх областей діяльності людини, в тому числі створення і експлуатації машин. Якщо раніше механізація та автоматизація в машинобудуванні ставили своїм завданням полегшити фізичну працю людей і звільнити їх від монотонних ручних операцій, то сучасні комп'ютерні системи дозволяють полегшити як фізичну, так і розумову працю.

Таким чином, автоматизація виробничих процесів є комплексом заходів по розробці нових прогресивних технологічних процесів і проектування на їх основі високопродуктивного технологічного обладнання, яке здійснює робочі і допоміжні процеси виробництва без безпосередньої участі людини.

Автоматизацію в машинобудуванні не можна розуміти лише як процес впровадження елементів і схем автоматики, насичення ними існуючих або знову спроектованих конструкцій машин.

Автоматизація – це комплексна конструкторсько-технологічна задача створення принципово нової техніки на базі прогресивних ТП обробки, контролю, складання. Вона включає створення таких методів і схем обробки, конструкцій компоновок машин і систем машин, які, як правило, були б неможливі, якщо людина як і раніше, залишалася б безпосереднім учасником ТП.

1.2 Вимоги до сучасного машинобудівного виробництва

Сучасне машинобудівне виробництво являє собою складну виробничу систему, яка повинна забезпечити безперебійне функціонування всіх її підрозділів. При виготовленні продукції (машин) здійснюється ряд ТП, в ході яких заготовки (сировина) перетворюються в готові вироби.

Виробнича система здійснює виготовлення заданих виробів у замкненому виробничому циклі, що містить матеріальний, інформаційний та енергетичний потоки (рис. 1.1).

Виробничий цикл – це комплекс ТП, які протікають усередині виробничої системи з метою перетворення у потрібному напрямку матеріального потоку, що відбувається з використанням необхідних інформації і витратної енергії.

Матеріальний потік включає оброблювані матеріали, комплектуючі вироби, технологічне оснащення (інструменти, пристосування, вимірювальні засоби) та відходи виробництва.

Основним носієм інформації у виробничій системі є виробнича документація. Технічне відображення виробу (схеми, креслення, технологічні карти, керуючі програми для обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) і т. д.) послідовно проходить через усі фази виробничого циклу.

Інформаційний потік містить технічну інформацію (конструкторську і технологічну), дані про хід виробництва, економічні показники роботи виробництва та інформацію щодо керуючих впливів на ТП.

Енергія, яка отримується з централізованої енергетичної системи, витрачається на здійснення ТП, виконання транспортних та інших допоміжних операцій з об'єктами матеріального виробництва, а так само для забезпечення інформаційного потоку.

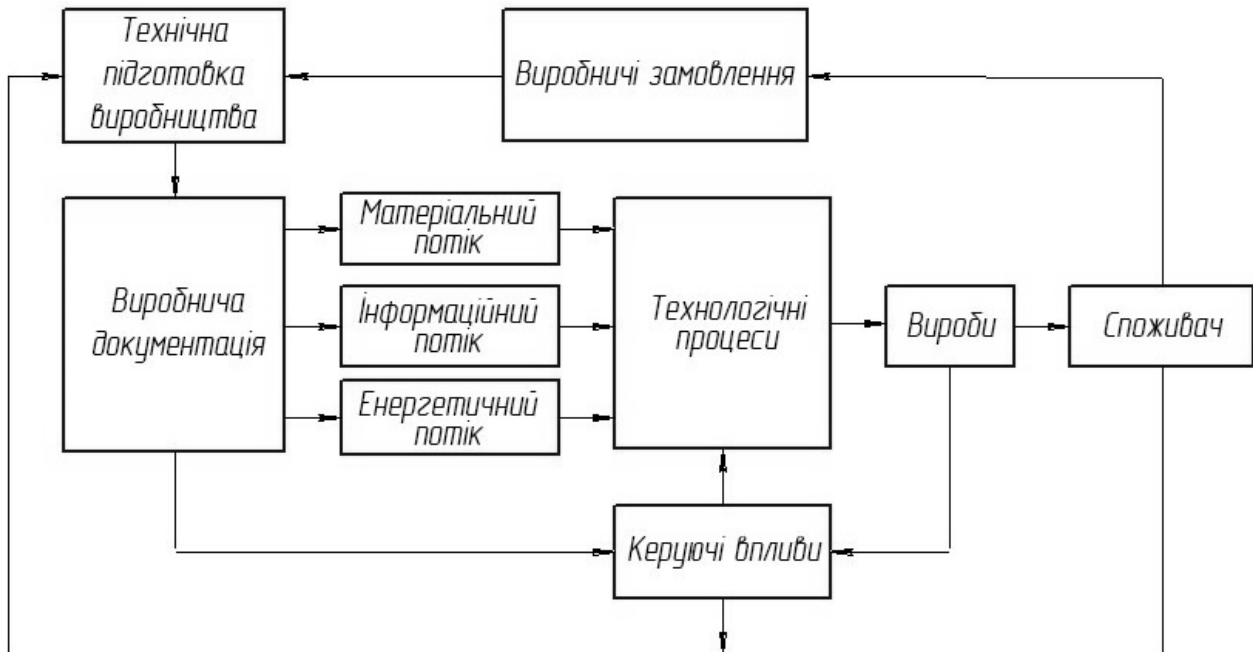


Рисунок 1.1 – Структура виробничого процесу

Вдосконалення виробничих циклів повинно задовольнити наступним основним вимогам.

1.2.1 Підвищення продуктивності праці

Здійснюючи виробничий цикл, людина ставить перед собою завдання отримати вироби кращої якості при мінімальних витратах праці на їх виготовлення.

Кількість затраченої праці вимірюється її інтенсивністю і тривалістю. Безперервне збільшення продуктивності праці нормальної інтенсивності – основне джерело підвищення життєвого рівня людини.

Застосування засобів автоматизації на всіх етапах виробничого циклу створює передумови для різкого підйому продуктивності праці. Про ступінь використання автоматизованої праці на підприємстві свідчать наступні

показники: коефіцієнт ступеня автоматизації і коефіцієнт рівня автоматизованої праці.

Коефіцієнт ступеня автоматизації C_a характеризується відношенням числа автоматично керованих ТП до загального числа процесів виробничого циклу (в %)

$$C_a = \frac{ТП_a}{ТП_a + ТП_m + ТП_p} 100\%, \quad (1.1)$$

де $ТП_a, ТП_m, ТП_p$ – відповідно, число автоматично керованих, механічних і ручних процесів у виробничому циклі.

Більш об'єктивним є показник автоматизації, який вимірюється коефіцієнтом рівня автоматизованої праці y_a в загальних трудовитратах (в %)

$$y_a = \frac{T_a}{T_a + T_m + T_p} 100\%, \quad (1.2)$$

де T_a, T_m, T_p - відповідно, час автоматизованої, механічної та ручної праці в загальних трудовитратах при реалізації виробничого циклу.

Однак для процесу автоматизації машинобудування, як і для будь-якого процесу розвитку, властиві суперечності, незнання яких може призвести до нераціональної витрати сил, засобів і часу. Кожне виробництво потребує певних коштів і видів автоматизації, які визначаються на основі техніко-економічних розрахунків відносно конкретних виробничих умов. Крім того, технічні засоби самі по собі не здатні забезпечити високу продуктивність праці, якщо відсутні відповідні форми організації виробництва.

Найбільш ефективними є ті шляхи розвитку техніки, які гарантують більш високі темпи зростання продуктивності праці. Тому методи автоматизації

виробництва в машинобудуванні слід розглядати як методи підвищення продуктивності праці.

1.2.2 Поліпшення якості продукції

Без належної якості вироби стають не потрібними. Аналіз якості виробів з метою її оцінки та покращення виконується методами метрології, враховуючи особливості процесів машинобудування.

Більшість процесів у машинобудуванні, особливо у механообробці, є багатоопераційними, тобто кожна поверхня деталей піддається багаторазовим технічним впливам. Поліпшення якості продукції пов'язане з оптимізацією побудови багатоопераційних ТП в умовах автоматизованого виробництва, що вимагає застосування складного математичного апарату і великого обсягу експериментальних досліджень. До таких проблем відносять завдання прогнозування технічної надійності роботи автоматичного обладнання, тобто кількісної оцінки термінів втрати обладнанням початкових значень параметрів якості обробки.

1.2.3 Зниження собівартості продукції

Зниження собівартості продукції пов'язане з необхідністю безперервного підвищення рентабельності (прибутковості) виробництва. На собівартість продукції впливає будь-яка зміна у виробничому циклі, показниках продуктивності праці, використанні основних фондів, витрати матеріалів, енергії і т. д. Застосування більш досконалих ТП і автоматизованих засобів виробництва, в тому числі обчислювальної техніки (ОТ), повинно знижувати собівартість виробленої продукції при забезпеченні або підвищенні її якісних характеристик. Тим самим компенсуються додаткові капіталовкладення понад ті, що технологічно необхідні.

Використання ОТ і високоавтоматизованого верстатного обладнання: верстатів-автоматів, автоматичних ліній (АЛ) з верстатів із ЧПК, гнучких виробничих модулів (ГВМ), роботизованих технологічних комплексів (РТК),

гнучких виробничих систем (ГВС) – дає належний техніко-економічний ефект лише при відповідній організації виробництва. В іншому випадку знижується ряд показників роботи підприємства у зв'язку з високою вартістю цього обладнання.

1.2.4 Підвищення гнучкості виробництва

У сучасному машинобудівному виробництві виникли і діють тенденції, які вимагають поєднання принципів автоматизації і гнучкості, тому що дрібносерійне і серійне виробництво, для яких притаманна швидка зміна номенклатури оброблюваних виробів, становить приблизно 80% від обсягу машинобудування і є передумовою для подальшого його зростання. Крім того масове виробництво (особливо при виготовленні предметів побуту) також характеризується в даний час швидкозмінністю, що пов'язано з потребами у зростанні темпів підвищення якості об'єктів виробництва. У багатьох випадках терміни випуску продукції скорочуються до одного року і навіть місяця незалежно від характеру виробництва.

Тому найважливішою проблемою автоматизації є проблема мобільності техніки та її гнучкості, що передбачає створення принципово нових систем автоматизації, які, маючи всі переваги високої продуктивності, дозволяли б вільно переходити з випуску одного виду продукції на інший.

Поєднання принципів автоматизації і гнучкості дозволяє поєднати на сучасному технологічному обладнанні продуктивність і якість механообробки спеціальних верстатів-автоматів і АЛ з гнучкістю універсальних верстатів з ручним управлінням.

1.3 Засоби автоматизації в різних типах виробництва

1.3.1 Основні типи технологічного обладнання при автоматизації

При сучасному рівні розвитку техніки основною ознакою машинобудівного виробництва стає його автоматизація. Будь-які нові неавтоматизовані ТП і обладнання повинні розглядатися як вимушене рішення,

коли в конкретних умовах виробництва з якихось причин відсутні технічні та економічні передумови для їх автоматизації.

При автоматизації технологічне устаткування ділиться на напівавтомати, автомати, автоматичні лінії, роботизовані технологічні комплекси (РТК) і гнучкі виробничі системи.

Напівавтомати – машини, що працюють в автоматичному циклі, для повторення якого потребується втручання робітника (орієнтування і завантаження заготовок на верстат, знімання виробів після закінчення обробки).

На рис. 1.2 показана структура виробничого циклу. Тут t_p – робочий або машинний час обробки; t_x – допоміжний час, необхідний для повторення циклу обробки.

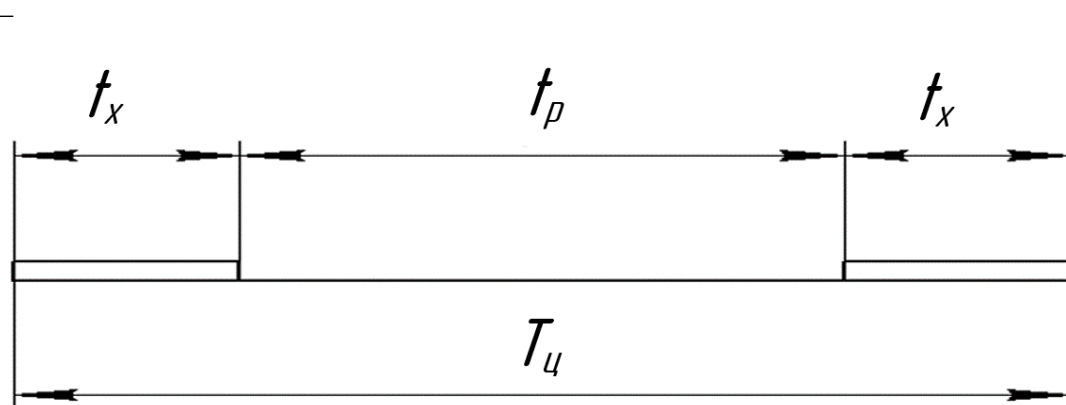


Рисунок 1.2 – Структура виробничого циклу

Автомати – робочі машини, які при виконанні ТП без участі людини реалізують всі робочі і допоміжні ходи робочого циклу і потребують її втручання лише для контролю й налагодження обладнання.

Автоматична лінія (АЛ) – автоматично діюча система машин, розташованих у певній технологічній послідовності (рис. 1.3) і об'єднаних спільними засобами транспортування і єдиною системою автоматичного керування.

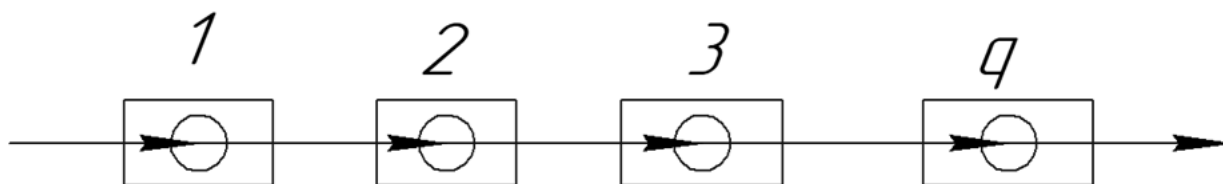


Рисунок 1.3 – Структура автоматичної лінії, що складається з q позицій

Роботизований технологічний комплекс (РТК) – автономно діюча сукупність однієї або декількох одиниць технологічного обладнання, а також одного або декількох промислових роботів, які виконують технологічні (основні) або допоміжні операції, та засобів оснащення, що забезпечують автоматичний цикл роботи всередині комплексу та зв'язок його з вхідними та вихідними потоками решти виробництва та здійснюють багаторазові цикли.

Гнучкі виробничі системи (ГВС) – це сукупність у різних поєднаннях обладнання з ЧПК, РТК, гнучких виробничих модулів (ГВМ), окремих одиниць технологічного обладнання та систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, яким притаманна властивість автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик.

За організаційними принципами розрізняють наступні види ГВС.

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) – це одиниця технологічного обладнання для виробництва виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик з програмним керуванням (ПК), автономно функціонуюча, яка автоматично здійснює всі функції, пов'язані з їх виготовленням, має можливість вбудовуватися в ГВС.

Гнучка автоматична лінія (ГАЛ) – це ГВС, в якій технологічне устаткування розташоване у прийнятій послідовності операцій технологічного процесу.

Гнучка автоматизована ділянка (ГАД) – ГВС, функціонуюча за технологічним маршрутом, в якому передбачена можливість зміни послідовності використання технологічного обладнання.

Гнучкий автоматизований цех (ГАЦ) – ГВС, що представляє собою в різних поєднаннях сукупність ГАЛ, ГАД, роботизованих технологічних ділянок і комплексів для виготовлення виробів заданої номенклатури.

Гнучкий автоматизований завод (ГАЗ) – ГВС, що представляє собою поєднання ГАЦ, яка призначена для випуску конкретної продукції.

1.3.2 Етапи розвитку автоматизованого обладнання в механообробці

Етапи розвитку верстатного обладнання з точки зору його автоматизації скорочено можна описати наступним чином.

Історично першою групою металорізального устаткування є універсальні верстати з ручним управлінням, які постійно удосконалювалися і навіть оснащувалися окремими засобами автоматизації (малої автоматизації). Їх переваги – широка універсальність і висока гнучкість (можливість швидкого переналагодження на обробку нової деталі); основні недоліки – мала продуктивність і виконання робітниками всього необхідного циклу управління роботою верстата, залежність якості обробки від кваліфікації верстатника.

Збільшення масштабів виробництва, потреба у виготовленні великої кількості одних і тих же виробів зумовили появу універсальних верстатів-автоматів і напівавтоматів. Їх особливість – висока продуктивність. Так, наприклад, токарний шестишпindelний автомат замінює за продуктивністю 20 універсальних токарних верстатів. Універсальність токарних автоматів значно менша, ніж верстатів з ручним управлінням, що є причиною великої кількості типорозмірів універсальних автоматів.

Верстати-автомати відрізняє тривалість їх переналагодження на випуск іншої деталі – від кількох годин до кількох днів тому, що їх переналагодження пов'язане зі зміною «програмоносіїв», якими в цьому випадку виступають матеріальні об'єкти – копії, кулачки тощо. Це знижує фактичну продуктивність автоматів в умовах дрібносерійного і серійного виробництва, вони ефективні у велико-серійному і масовому виробництвах.

Прагнення максимально підвищити продуктивність при великих масштабах виробництва призвело до створення спеціалізованих і спеціальних автоматів.

Спеціалізованими називають верстати-автомати, які можуть бути переналагоджені на обробку невеликої групи однотипних деталей.

Спеціальні верстати-автомати створюються для обробки однієї деталі. Висока спеціалізація такого обладнання призводить до значного спрощення його конструювання, конструкції та системи управління, можливості вибору оптимального варіанту ТП, що супроводжується високою продуктивністю в умовах велико-серійного і масового виробництва.

Розвиток спеціалізації верстатів-автоматів створює протиріччя між масовістю і гнучкістю виробництва. При зміні об'єкту виробництва (в масовому виробництві зміна об'єктів виробництва здійснюється не частіше, ніж через п'ять-шість років) більшість спеціалізованого обладнання виявляється непотрібним, не зважаючи на повну працездатність. Це вимагає створення верстатів-автоматів, в яких поєднується висока продуктивність спеціальних автоматів з широкими технологічними можливостями і з певною гнучкістю. У той же час процес проектування, виготовлення та освоєння таких верстатів повинен бути істотно скороченим. Одним з методів вирішення поставленої задачі є уніфікація вузлів (агрегатів), механізмів, деталей і систем керування (СК) верстатами, що призвело до створення агрегатних верстатів.

З часом вимоги до підвищення продуктивності обладнання в серійному виробництві сформулювали нові підходи до конструкцій і рівня автоматизації використаних верстатів. Були спроби застосувати для цих цілей автоматизоване обладнання, яке створюється на базі універсальних верстатів і призначене для групової технології. Однак, із-за складності і трудомісткості додаткового оснащення верстатів при освоєнні нових виробів підготовка автоматизованого процесу займала настільки довгий період, що до моменту випуску виробу це обладнання могло морально застарівати.

Для дрібносерійного і серійного машинобудування необхідні були принципово нові засоби автоматизації, що поєднують в собі продуктивність і точність верстатів-автоматів з гнучкістю універсального обладнання. Основним методом вирішення зазначеної проблеми стає групова технологія, а основним обладнанням – верстати з ЧПК і верстатні комплекси на їх основі.

Передумовами для створення складного гнучкого обладнання з ЧПК є розвиток обчислювальної техніки, інформатики, електроніки, електроавтоматики. Відмітна особливість цих верстатів – завдання програми обробки деталі в числовій (математичній) формі.

Принцип числового програмного керування обладнанням виник приблизно 70 років тому і має етапи, пов'язані в основному з етапами розвитку обчислювальної техніки. При цьому істотно змінилася конструкція і компонування верстатів.

Спочатку (50-ті роки XX століття) системами ЧПК оснащувалися звичайні універсальні верстати традиційних технологічних груп. Виявилися принципово нові можливості підвищення продуктивності за рахунок скорочення допоміжного часу при обробці і зменшення кількості оснащення.

Наступний етап розвитку верстатів з ЧПК (60-ті роки XX століття) характеризується зміною компонування верстатів, появою пристроїв автоматичної зміни інструменту, підвищенням жорсткості основних вузлів і точності переміщень робочих органів. Простішими стали кінематичні схеми верстатів, що привело до широкого впровадження верстатів з ЧПК в промисловість.

Сучасний етап розвитку верстатів з ЧПК (початок – останні роки XX століття) характеризується різким розширенням їх функціональних можливостей, підвищенням рівня автоматизації і застосуванням у системі керування потужних обчислювальних засобів (мікро-ЕОМ і мікропроцесорної техніки). З'явився різновид металорізального обладнання – багатоцільові верстати (багатоопераційні верстати, оброблювальні центри (ОЦ)). У них виражений новий підхід до побудови ТП за рахунок можливості забезпечення

комплексної обробки деталей складної форми різними видами інструментів без переобладнань і переустановок заготовок або при мінімальному їх числі. Великий набір виконуваних на одному верстаті різних операцій (розточувальних, фрезерних, токарних, свердлильних, шліфувальних і т. д.) змінює уявлення про традиційні технологічні групи верстатів.

Автоматизовані верстатні системи.

Основне та допоміжне обладнання, об'єднане загальною виробничою метою (завданням), створює складні виробничі системи. До них відносяться і верстатні системи.

Автоматизована виробнича система є різновидом складної виробничої системи і являє собою одиницю, комплекс або сукупність у різних поєднаннях основного та допоміжного обладнання з різним ступенем автоматизації, яка забезпечує випуск або переробку будь-якого продукту виробництва.

В залежності від ступеню автоматизації складні виробничі системи поділяються на автоматичні і автоматизовані. В автоматизованих (напіваавтоматичних) верстатних системах транспорт, завантажувальні операції та операції обробки автоматизовані частково.

Автоматичні системи можна структурувати наступним чином.

Автоматична лінія (АЛ) — система машин (комплекс основного та допоміжного обладнання), що автоматично виконують у певній технологічній послідовності та із заданим ритмом увесь процес виготовлення виробів.

За ступенем гнучкості АЛ додатково поділяються на спеціальні — непереналагоджувані (НАЛ); спеціалізовані — переналагоджувані (ПАЛ); гнучко-переналагоджувані (ГАЛ).

НАЛ призначені для обробки строго визначених за формою та розмірами виробів. При зміні об'єкта виробництва, такі лінії замінюють або перебудовують.

ПАЛ мають більш широкі експлуатаційні можливості і призначені для обробки однотипної продукції в певному діапазоні параметрів. При зміні об'єкта виробництва у таких лініях, як правило, лише перелаштовують окремі агрегати та змінюють режими їхньої роботи; основне технологічне устаткування

найчастіше може бути використане для виготовлення нової однотипної продукції.

Спеціальні та спеціалізовані АЛ застосовуються головним чином у масовому виробництві. Вони будуються з агрегатних, спеціальних і універсальних верстатів-автоматів і напівавтоматів, забезпечують додаткове (у кілька разів) підвищення продуктивності праці за рахунок автоматизації проміжних транспортних операцій, завантаження і вивантаження заготовок і готових деталей. Можливо вбудовування в такі АЛ крім обробних верстатів контрольних автоматів, мийних машин, роботів, накопичувачів, складальних агрегатів та ін.

Впровадження у велико серійне та масове виробництво АЛ призводить до скорочення в 1,5–2 рази кількості верстатів-автоматів і виробничих площ, у 5–10 разів і більше зменшується кількість робочих, знижується собівартість продукції.

Недоліки АЛ такого типу: висока трудомісткість, а іноді і неможливість переналагодження лінії на обробку іншої деталі і, тим більше, на інший ТП; простої верстатів із-за неполадок в роботі іншого обладнання, що входить до структури лінії. Для серійного виробництва такі АЛ малоефективні.

Великі перспективи подальшого підвищення продуктивності праці і ефективності обробки в серійному і дрібносерійному виробництвах має створення гнучко-переналагоджуваних або, так званих, гнучких АЛ (ГАЛ).

ГАЛ (базуються на використанні верстатів з ЧПК) повинна забезпечувати можливість швидкого переналагодження для виготовлення різної однотипної продукції, аналогічної тій, що передбачена на стадії проектування. Такі АЛ називають ще швидко-переналагоджуваними або груповими. Їх застосовують у серійному виробництві. Менша продуктивність ГАЛ порівняно зі спеціальними компенсується їх швидким переналагодженням для виробництва широкої номенклатури продукції.

1.3.3 Рівні і засоби автоматизації в механообробці

Рівні і засоби автоматизації виробництва залежать від його серійності та оснащеності технічними засобами.

Засоби виробництва, що випускаються машинобудуванням, мають два види:

- універсальне обладнання (верстати) з ручним управлінням, які забезпечують найбільшу гнучкість виробництва, наприклад, універсальні верстати, що можуть бути швидко пристосованими до випуску практично будь-якої продукції, але мають низьку продуктивність і вимагають постійної присутності верстатника;
- автоматичні лінії з жорсткою програмою робіт (програмоносії – кулачки, копії тощо), що забезпечують найбільш високу продуктивність праці, найменше залучення робочої сили і високу стабільність якості, але практично не пристосовані до зміни продукції, яка випускається, і важко перебудовуються навіть при порівняно невеликих змінах в конструкції виробів.

Решта обладнання займає проміжне положення. Розвиток автоматизації обладнання дозволяє підняти продуктивність праці, але, як правило, супроводжується зниженням універсальності обладнання та звуженням технологічних областей його застосування.

Автоматизація має на меті виключити з процесу виробництва послідовно різні функції, які виконуються робітником-верстатником. Згідно з цим можна умовно визначити наступні рівні автоматизації.

Перший рівень автоматизації – автоматизація циклу обробки. Вона полягає в управлінні послідовністю та характером рухів робочого інструменту з метою отримання заданої форми, розмірів та якості поверхні на оброблюваній деталі. Найбільш повне втілення автоматизація цього рівня отримала у верстатах із ЧПК. При цьому забезпечується можливість оптимально здійснювати функції управління практично для необмеженої номенклатури деталей. Продуктивність

праці зростає в 2–4 рази проти верстатів, що управляються людиною. Якість продукції значно підвищується.

Другий рівень автоматизації – автоматизація завантаження (установка заготовки та зняття деталей з верстата). Це ефективна область автоматизації, яка дозволяє робочому обслуговувати кілька верстатів, тобто, перейти до багатостанкового обслуговування.

Найбільшою універсальністю і швидкістю переналагодження відрізняються промислові роботи (ПР), що використовуються як завантажувальні пристрої. У міру зниження вимог до швидкості переналагодження завантажувальних пристроїв і збільшення розміру партії деталей, що обробляються, спрощуються засоби для завантаження деталей в робочу зону. На багатоцільових верстатах такими засобами часто служать маніпулятори і автооператори.

Ефективність другого рівня автоматизації дедалі частіше забезпечується створенням РТК, у яких робот обслуговує один або групу верстатів.

Третій рівень автоматизації – автоматизація контролю за ходом процесу, який раніше виконувався верстатником і включав контроль:

- за станом різальних інструментів та своєчасною їх заміною (контроль фактичного ресурсу кожного інструменту та розмірний контроль положення його ріжучих кромок);
- за якістю оброблюваних деталей (розмірів, а в необхідних випадках і поверхонь, що обробляються);
- за станом верстата та видаленням стружки, а також контроль та підналагодження при виконанні технологічного процесу (адаптивне керування).

Автоматизація перерахованих вище функцій звільняє людину від постійного зв'язку з верстатом і забезпечує тривалу роботу обладнання (протягом однієї-двох змін) при обробці деталей одного найменування.

Третій рівень автоматизації забезпечується створенням адаптивних роботизованих технологічних комплексів та гнучких виробничих модулів.

Четвертий рівень автоматизації – автоматичне переналагодження обладнання. Переналагодження обладнання на обробку виробу іншого найменування на існуючому устаткуванні поки що здійснюється здебільшого вручну. Якщо процес переналагодження технічно не підготовлений, він може займати значну частину загального календарного часу (від кількох годин до цілої зміни і більше). Чим частіше за умовами виробництва потрібно переналагодження, тим більше виявляються втрати часу та звужується зона обслуговування одним робітником. Тому одним із центральних завдань є вдосконалення систем переналагодження обладнання – застосовуваних пристроїв, інструменту та оснащення, а також методів завдання циклів та режимів обробки, спрощення переналагодження завантажувальних пристроїв, контрольних систем тощо.

В ідеалі слід прагнути до створення систем забезпечення функціонування обладнання та всіх супутніх допоміжних пристроїв, які могли б здійснити автоматичне переналагодження. Висока вартість всіх засобів автоматизації, технічні труднощі, що стоять на шляху створення високонадійного обладнання та засобів контролю і управління, поки стримують широке використання у машинобудуванні цього ступеня автоматизації.

П'ятий рівень автоматизації – гнучкі виробничі системи, які мають забезпечувати автоматичне виробництво різних деталей різними партіями. При цьому собівартість продукції і продуктивність ГВС близькі до тих, що досягаються в масовому виробництві під час виготовлення деталей однієї назви.

У таблиці 1.1 наведено класифікацію обладнання, виконану за рівнем автоматизації основних та допоміжних операцій.

На рис.1.4 представлено області найбільш ефективного застосування різних типів обладнання та виробничих систем, що відрізняються рівнем автоматизації. Ці області обумовлені, в основному, номенклатурою оброблюваних деталей і розміром партій обробки.

Таблиця 1.1 – Класифікація обладнання за ступенем автоматизації основних і допоміжних операцій

Автоматизована операція, процес	Верстат з ЧПК	Багато-цільовий верстат	РТК	Автоматичні лінії:			ГВС
				НАЛ	ПАЛ	ГАЛ	
Оброблення	+	+	+	+	+	+	+
Завантаження/Розвантаження	-	+/-	+	+	+	+	+
Зміна інструменту	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+	+
Контроль обробки	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+
Оброблення деталей, номенклатура яких попередньо відома	+	+	+	+	+	+	+
Оброблення деталей, номенклатура яких аналогічна попередньо відомим	+	+	+/-	-	-	+	+
Оброблення деталей, номенклатура яких принципово відмінна від попередньо відомих	+	+	+/-	-	-	-	+

1.4 Шляхи подальшого розвитку автоматизації ТП у машинобудуванні і засобів її реалізації

В даний час існують технічні можливості автоматизації всіх елементів виробничого циклу. Одним із шляхів розвитку автоматизації є комплексна автоматизація, що охоплює весь комплекс виробництва виробів при автоматизації усіх стадій їх виготовлення.

Комплексна автоматизація – це конструкторсько-технологічна проблема створення і впровадження нових високо інтенсивних ТП, високопродуктивного технологічного (основного) і допоміжного обладнання, а також єдиних комплексних систем автоматичного управління ними (САУ).

Значимість сучасних САУ не тільки в заміщенні дій людини при управлінні обладнанням, але й у реальній необхідності та можливості створення прогресивних засобів виробництва, які неможливі при безпосередній участі людини в процесах управління. При цьому машинобудівне виробництво

розглядається як керована (кібернетична) система, що складається із сукупності предметів, знарядь, видів праці і кінцевої продукції.

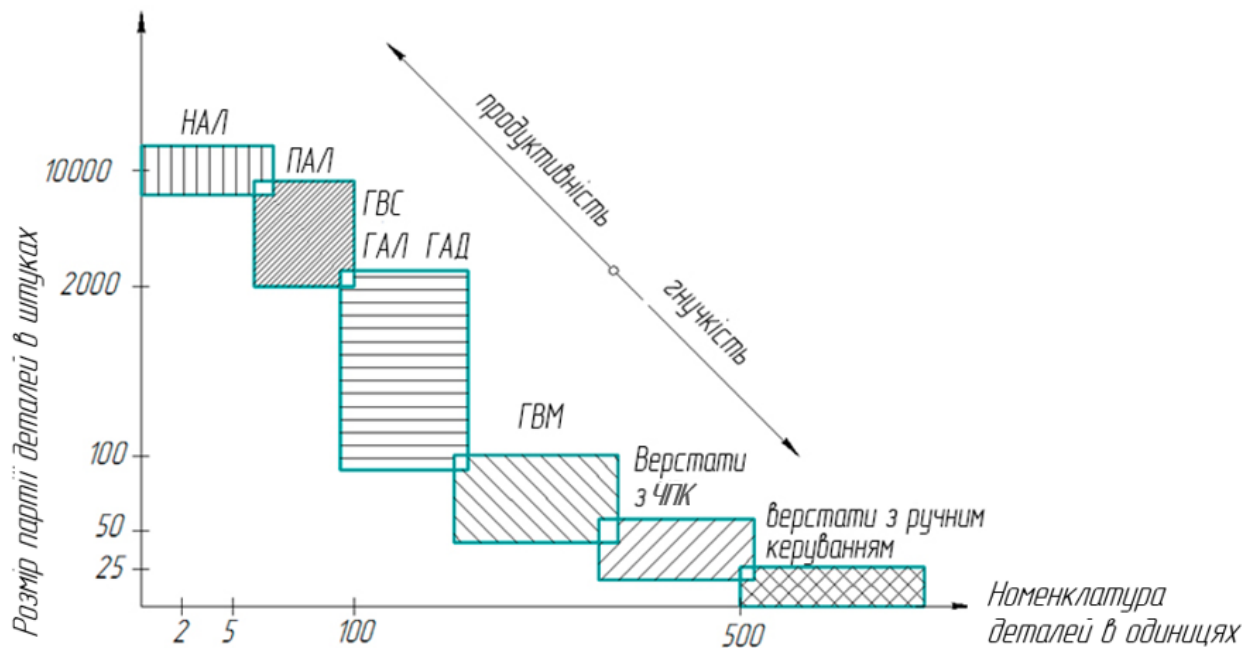


Рисунок 1.4 – Області переважного застосування найбільш ефективного верстатного обладнання і систем, де: НАЛ – непереналагоджувані АЛ; ПАЛ – переналагоджувані АЛ; ГВС – гнучкі виробничі системи, до складу яких можуть входити ГАЛ, ГАД, РТК, ГВМ

Системний підхід до вдосконалення машинобудівного підприємства в цілому полягає в усуненні традиційних ^{ЧПК} відділу сфер виробництва та його підготовки. Наступним більш високим етапом розвитку автоматизації є інтегрована автоматизація.

Інтегрована автоматизація передбачає об'єднання в єдину систему всіх етапів проектування і виготовлення деталей, в той час як комплексна автоматизація охоплює тільки сферу виробництва.

Елементи інтегрованої автоматизації втілюються на сучасних підприємствах створенням систем автоматизованого проектування (САПР) виробів і технологій; автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (АСТПВ); автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) і автоматизованих систем управління підприємством

(АСУП). Кожна із зазначених систем є людино-машинною, у якій найбільш трудомісткі функції реалізуються засобами обчислювальної техніки, а творчі функції – конструкторами, технологами і організаторами виробництва, що працюють на автоматизованих робочих місцях (АРМ).

Загальну мету інтегрованої автоматизації можна визначити як освоєння в найкоротші терміни нової продукції необхідного рівня при дотриманні заданих параметрів якості та обмежень за економічними показниками, потужності проектних і виробничих підрозділів. Ця мета, що обумовлена необхідністю забезпечення темпів технічного прогресу, по-своєму актуальна при будь-якій серійності виробництва і багато в чому залежить від рівня розвитку науки, техніки і технологій.

1.5 Питання для самоконтролю за першою темою

1. В чому полягає основна мета дисципліни, що вивчається?
2. Поняття автоматизації виробничих процесів.
3. Визначте структуру виробничого циклу.
4. Назвіть вимоги до сучасного машинобудівного виробництва.
5. Якими параметрами визначається ступінь автоматизованої праці на виробництві?
6. Назвіть основні типи технологічного обладнання при автоматизації.
7. Опишіть засоби автоматизації в різних типах виробництва.
8. Назвіть рівні автоматизації, яким чином вони пов'язані з типом технологічного обладнання?
9. Наведіть області переважного використання обладнання різних рівнів автоматизації.
10. Назвіть шляхи подальшого розвитку автоматизації ТП у машинобудуванні.
11. В чому полягає основна різниця між комплексною та інтегрованою автоматизаціями?

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС – ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Основою автоматизації виробництва є технологічні процеси, які мають забезпечувати високу продуктивність, надійність, якість та економічність виготовлення виробів.

Під час розробки ТП автоматизованого виробництва у механообробці розглядають комплексно всі його елементи: завантаження-розвантаження заготовок (виробів), їх базування та закріплення, обробку, контроль, міжопераційне транспортування та складування та ін. Тому для оцінки можливості та ефективності автоматизації важливо правильно класифікувати ТП.

Як відомо, ТП – це частина виробничого процесу, під час якого відбувається якісна зміна розмірів, геометрії, властивостей матеріалу заготовки та інше, а також контроль виготовленої деталі. ТП закладається в основу проектування автоматизованих систем робочих машин. Однак, у машинобудуванні ТП здебільшого багатоваріантні, і трудомісткість їх реалізації в автоматичному режимі різна.

2.1 Класифікація технологічних процесів за ознакою «трудомісткість автоматизації»

Існують два основних класи та два підкласи ТП при класифікації їх за ознакою «трудомісткість автоматизації». Розподіл ТП по видах визначається особливостями взаємної орієнтації в просторі оброблюваного виробу й інструменту.

Перший клас ТП. До нього відносяться ТП, для реалізації яких потрібна строга орієнтація предмета праці (заготовки) в просторі і наявність відповідно зорієнтованого знаряддя праці (інструменту).

До цього класу відносяться ТП механічної обробки на металорізальних верстатах. Орієнтація здійснюється при встановленні заготовки на верстаті (рис. 2.1). В якості знаряддя праці використовується різальний інструмент: різці, свердла, фрези і т. д., який також має відповідну орієнтацію щодо оброблюваних поверхонь заготовки.

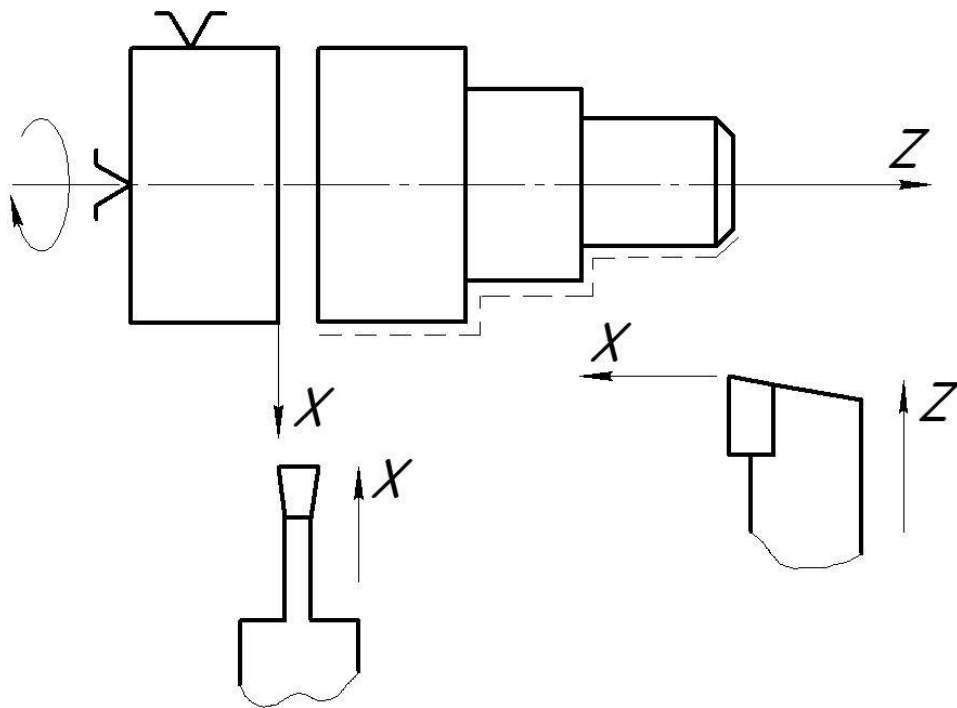


Рисунок 2.1 – Схема реалізації ТП першого класу

Другий клас ТП. До цього класу відносяться ТП, для реалізації яких не потрібно орієнтації заготовки в просторі, а в якості інструменту використовується робоче середовище. Прикладами таких ТП можуть служити термообробка, фарбування, нанесення гальванічних покриттів на всі поверхні виробу тощо.

Перший підклас ТП. До цього підкласу відносяться процеси, для реалізації яких не потрібно орієнтації заготовки, але інструмент необхідний, наприклад, ТП пресування деталей з порошків (рис. 2.2).

Другий підклас ТП. До нього належать ТП, для реалізації яких потрібна орієнтація заготовки, а в якості інструменту використовується робоче середовище. Наприклад, процеси нанесення покриттів на окремі ділянки заготовки (рис. 2.3) можна віднести до другого підкласу.

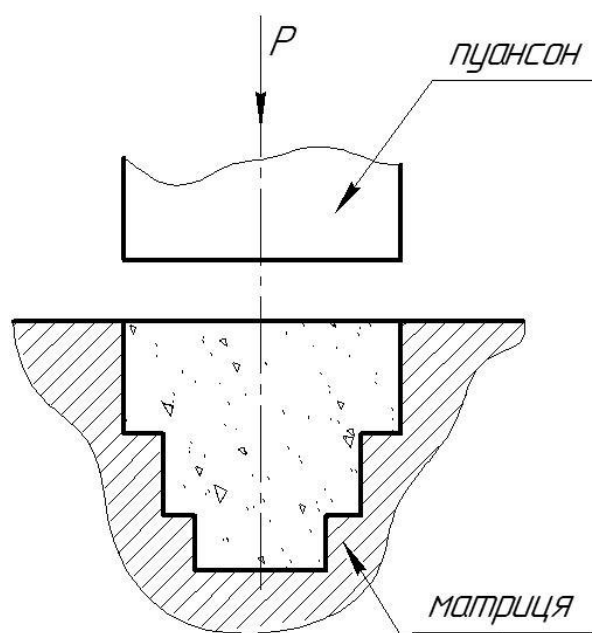


Рисунок 2.2 – Приклад ТП першого підкласу

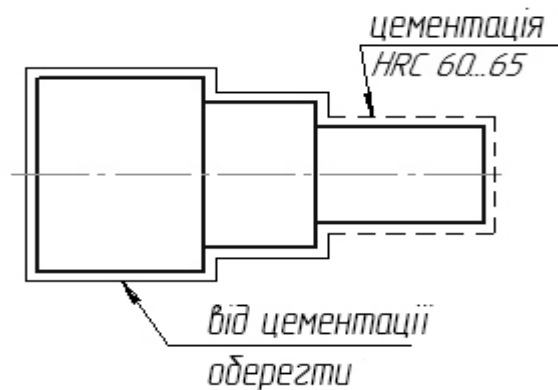


Рисунок 2.3 – Приклад ТП другого підкласу

Досвід вирішення завдань автоматизації виробничих процесів показує, що найбільш трудомісткою частиною при реалізації ТП є орієнтація заготовки в просторі. На підставі цього можна зробити висновок, що найменша трудомісткість з точки зору автоматизації, притаманна ТП, які відносяться до другого класу, потім першого підкласу.

Основний акцент при вивченні дисципліни буде зроблено на питаннях, пов'язаних з проектуванням автоматизованих систем машин, що реалізують ТП першого класу, тобто, процеси механічної обробки матеріалів, які є найбільш трудомісткими в умовах автоматизації.

2.2 Завдання, що вирішуються при проектуванні технологічних процесів

При розробці ТП автоматичної обробки на робочій машині весь процес обробки розбивається на окремі елементи – операції.

Якісно різні операції виконуються за різними законами обробки, протікають в різних умовах і, отже, з різними швидкостями. Це призводить і до суттєвої відмінності по тривалості їх виконання. Кількісна оцінка за витратами часу на робочі і холості (допоміжні) операції є основою для визначення продуктивності машини. При проектуванні робочої машини або системи машин (наприклад, автоматичної лінії), які реалізують конкретний ТП, починаючи з його розробки, необхідно вирішити цілий ряд завдань, що визначають якісну і кількісну сторони ТП.

Якісна сторона розробки ТП передбачає:

- *вибір способів обробки* – той самий виріб можна отримати не тільки за допомогою різних способів обробки (наприклад, обробку площини можна здійснювати струганням, фрезеруванням, шліфуванням і т. д.), але в межах кожного виду обробки можливе застосування кількох різних способів (циліндричне фрезерування або торцеве, зустрічне чи попутне і т. д.);

- *вибір послідовності обробки* – при обробці складних виробів зазвичай існує велика кількість варіантів послідовності обробки різних поверхонь (наприклад, при обробці отворів під кріплення деталей);

- *вибір технологічних баз* – робиться в тому випадку, якщо вони ще не задані попередніми операціями обробки;

- *вибір різального та вимірювального інструментів*, а саме, при обраних способах обробки можна вести за допомогою стандартного інструменту, або використовувати спеціальний інструмент; аналогічно необхідно обґрунтовано вибрати стандартні або спеціальні вимірювальні інструменти.

Кількісна сторона розробки ТП передбачає:

- *вибір раціональних режимів обробки*;

- *вибір оптимального ступеня диференціації ТП і концентрації операцій* - практично тільки обробку найпростіших виробів можна виконувати в одній робочій позиції; зазвичай ТП обробки диференціюється (розчленовується) на окремі елементи, які потім концентруються в робочих машинах;

- *вибір оптимальної структури автоматичних систем машин*.

При вирішенні цих завдань необхідно виходити із забезпечення високої продуктивності устаткування і заданої якості продукції.

2.3 Класифікація технологічних процесів та технологічного обладнання за ознакою безперервності

2.3.1 Класифікація ТП за ознакою безперервності

У будь-якому технологічному способі обробки закладена безперервність його здійснення. Як правило, технологічні операції відбуваються до тих пір, поки зовнішні умови, не пов'язані з самим способом, не змушують переривати процес (наприклад, необхідність видалення вже оброблених виробів з верстату і встановлення нових заготовок і т. д.).

Ознаками безперервності будь-якого ТП є: безперервний вплив одного технологічного комплекту інструментів на оброблюваний матеріал і безперервне переміщення інструмента й оброблюваного матеріалу для зміни об'єктів обробки. Під комплектом інструментів розуміють мінімально необхідну і достатню їх кількість, які передбачені даним ТП. До комплекту інструментів, наприклад, при обробці різьбових отворів можуть входити свердло, зенкер і мітчик.

Дискретний ТП визначається тим, що технологічний комплект інструментів має паузу в роботі.

Прикладом безперервного ТП може бути процес токарної обробки циліндричної поверхні, де різець має змогу безперервно переміщатися по заданій траєкторії і вести обробку аж до втрати ним ріжучих властивостей. Цього можна досягти, якщо використовувати відносний рух подачі для зміни оброблюваного матеріалу – прутка (рис. 2.4).

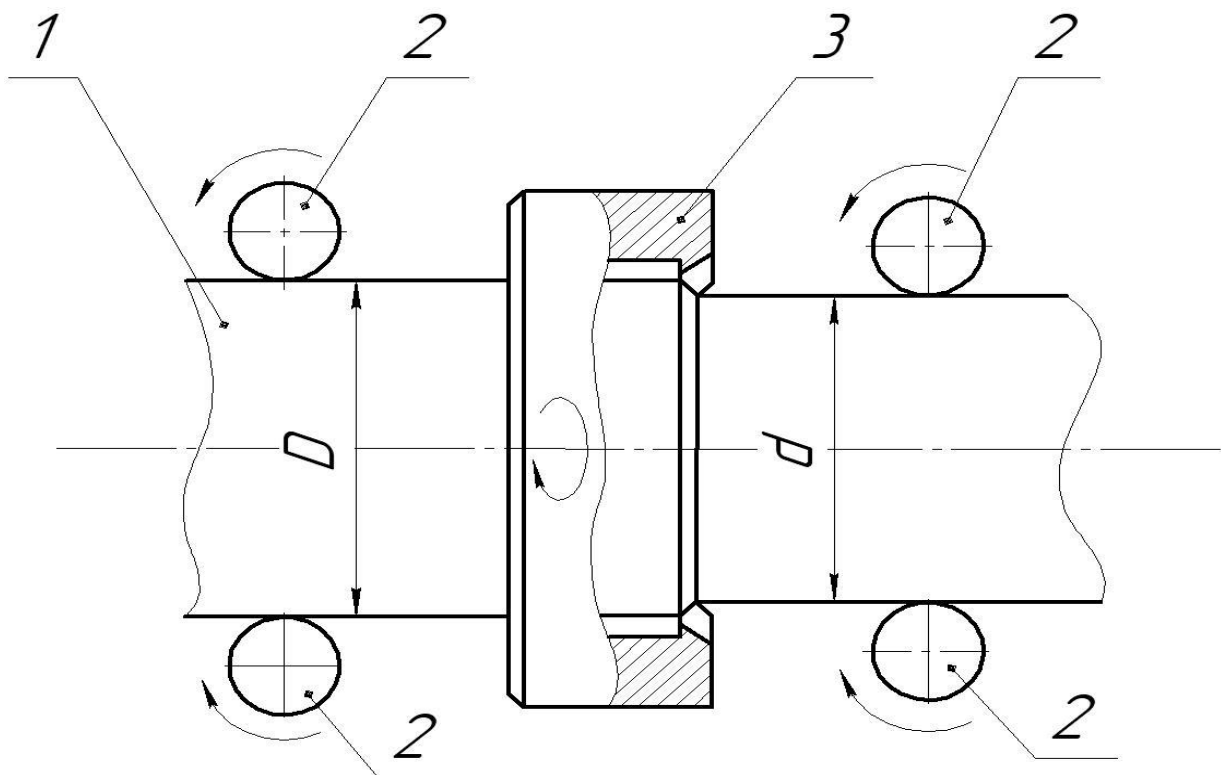


Рисунок 2.4 – Приклад реалізації безперервного процесу токарної обробки:
1 – заготовка; 2 – валки, що забезпечують подачу заготовки; 3 – різцева головка

Обробка деталі в центрах на токарному верстаті є прикладом переривчастого ТП, тому що його необхідно періодично переривати для заміни обробленої деталі.

Наступний приклад. Шліфування деталей циліндричної форми в центрах на круглошліфувальному верстаті. В цьому випадку процес шліфування є переривчастим або дискретним тому, що є пауза в роботі інструменту для заміни оброблюваної деталі.

Безперервність процесу шліфування може реалізуватися при обробці деталей на безцентрово-шліфувальних верстатах, де осьова подача заготовок суцільним потоком повз інструменту (робочого і приводного кругів) забезпечує їх безперервну заміну в процесі обробки, яка відбувається без пауз (рис. 2.5).

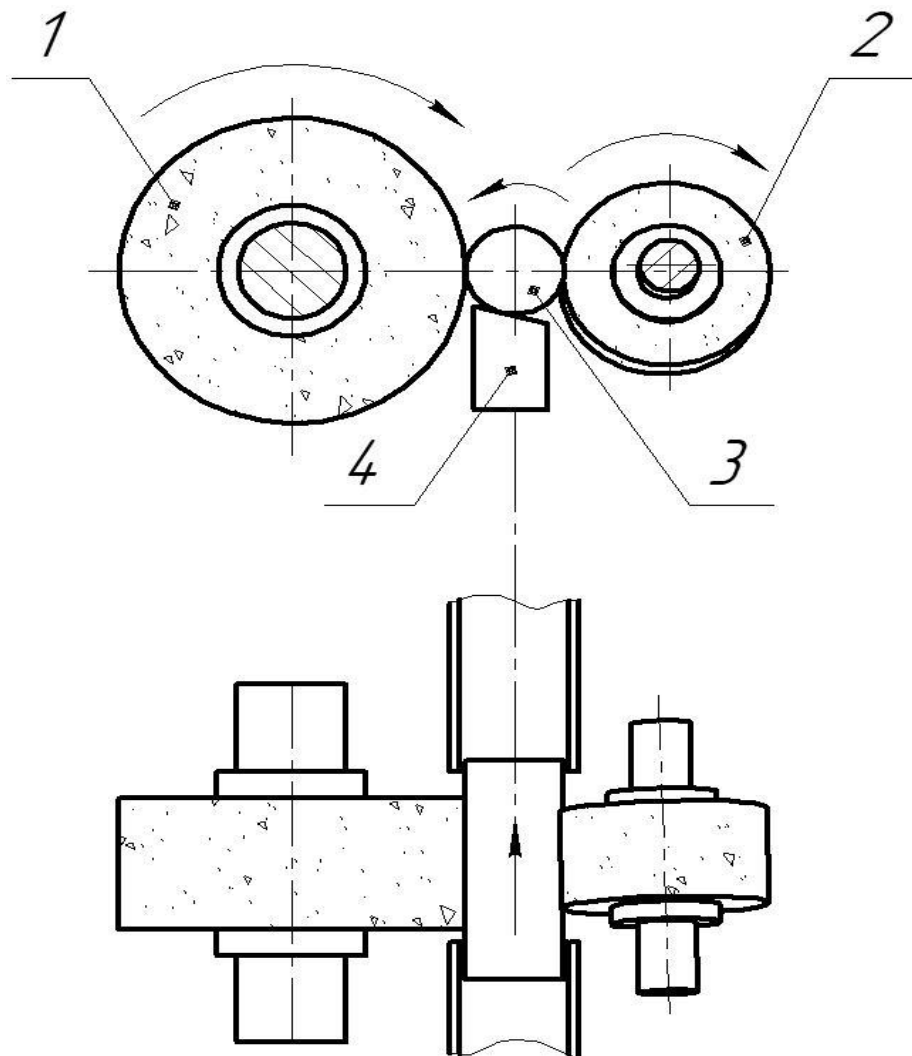


Рисунок 2.5 – Схема безцентрового шліфування: 1 – робочий круг; 2 – приводний круг; 3 – заготовка; 4 – ніж для підтримки заготовки

Таким чином, якщо в даних конкретних умовах не вдається забезпечити безперервне живлення верстата заготовками та видалення оброблених деталей, чи необхідно здійснити кілька операцій, то з'являється дискретність в технології, характерна для машинобудівного виробництва. Звідси виникає циклічність при виконанні технологічних процесів і в роботі машин (верстатів), що їх реалізують.

2.3.2 Класифікація робочих машин за ознакою «безперервність робочого циклу»

Робоча машина – це поєднання механізмів або пристроїв, які виконують певні доцільні дії для виконання корисної роботи.

Для робочих машин, в нашому випадку – верстатів, як правило, характерна циклічність у роботі, тобто, періодична повторюваність окремих рухів, пов'язаних з випуском конкретних деталей. Технологічне обладнання за ступенем безперервності робочого циклу поділяється на дискретні, безперервні і квазібезперервні машини.

Дискретні машини у своєму циклі роботи передбачають зупинення предмета праці (заготовки) при виконанні робочої операції над ним. У більшості випадків універсальні верстати відносяться до цієї категорії машин.

Продуктивність такої машини визначається залежністю

$$Q_d = \frac{1}{t_{п.з} + t_z + t_p + t_{відкр} + t_{вид} + t_{х.п}} \quad (1/хв), \quad (2.1)$$

де $t_{п.з}$ – час подачі заготовки на верстат; t_z – час затиску заготовки; t_p – час робочих ходів (обробка); $t_{відкр}$ – час відкріплення готової деталі; $t_{вид}$ – час видалення деталі з верстата; $t_{х.п}$ – час холостих переміщень інструменту.

Машини безперервної дії – це машини з безперервним циклом роботи. Вони характеризуються тим, що інструмент займає задане положення, а предмет праці – заготовка, рухається з заданою робочою швидкістю (рис. 2.6).

Продуктивність машини безперервної дії визначається за формулою

$$Q_{\text{бп}} = \frac{V_p}{L} (1/\text{хв}), \quad (2.2)$$

де V_p – робоча швидкість переміщення оброблюваних заготовок, відповідає рівню подачі; L – крок розстановки виробів на столі верстата.

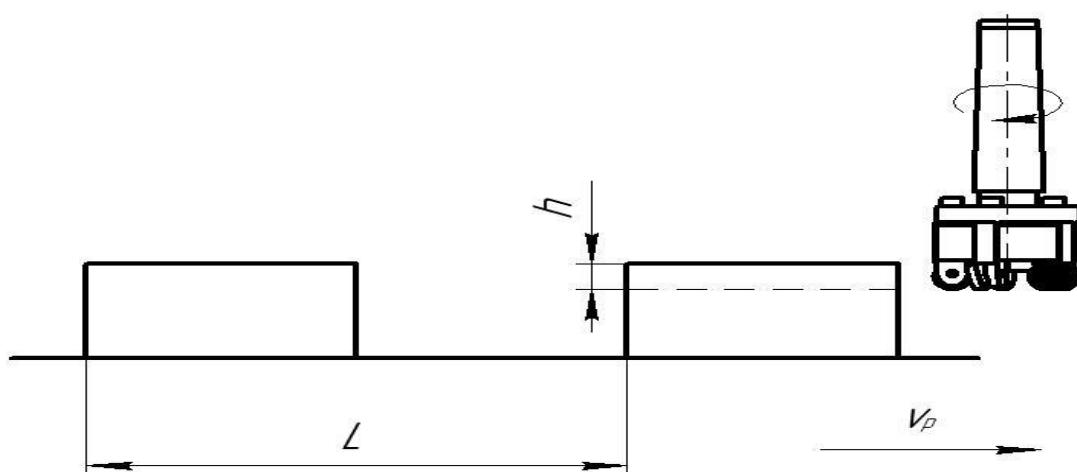


Рисунок 2.6 – Приклад принципу роботи машини безперервної дії

Квазібезперервні машини або машини квазібезперервної дії характеризуються тим, що при їх експлуатації технологічний вплив інструмента на заготовку відбувається при їх взаємному безперервному русі з однаковою транспортною швидкістю (рис. 2.7).

Продуктивність цих машин

$$Q_{\text{кбп}} = \frac{V_T}{L} (1/\text{хв}), \quad (2.3)$$

де V_T – транспортна швидкість переміщення заготовки та інструменту; L – крок розстановки виробів на столі верстата.

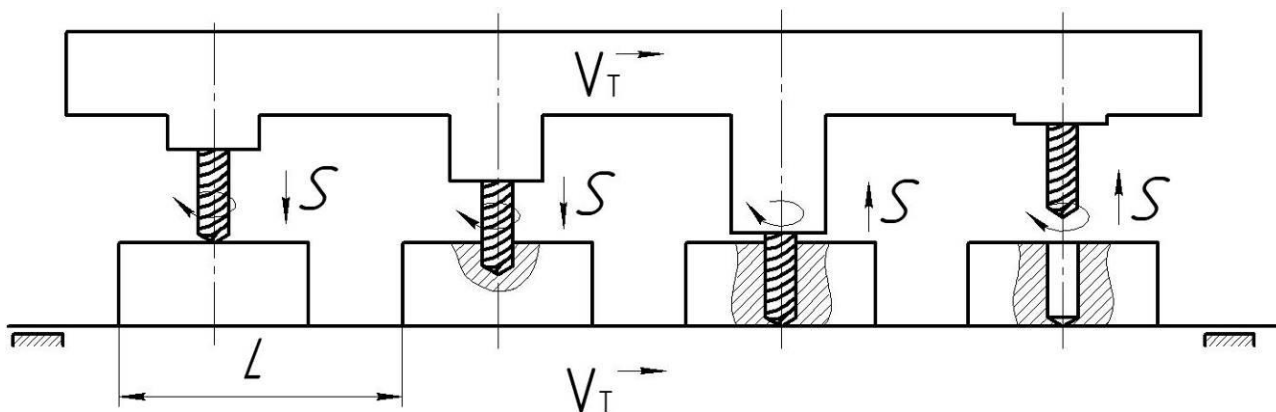


Рисунок 2.7 – Схема роботи машини квазібезперервної дії

Порівняння продуктивності машин з різною безперервністю робочого циклу за умови рівної тривалості робочого впливу інструменту на заготовку показує, що найбільш продуктивними є машини квазібезперервної дії, тобто $Q_d < Q_{бп} < Q_{кбп}$.

2.4 Операція в автоматизованому виробництві як елемент технологічного процесу

При розробці ТП зазвичай весь обсяг обробки виробу, взятий сам по собі, безвідносно до руки людини, розкладається на складові елементи – операції.

У технології машинобудування визначення операції наступне: технологічна операція – це закінчена частина ТП, виконана на одному робочому місці. Стосовно до умов механоскладального виробництва стандартизоване визначення операції має наступний вигляд: технологічна операція – це частина ТП, що виконується безперервно на одному робочому місці, над одним або декількома одночасно оброблюваними виробами, одним або декількома робочими.

Це визначення базується на тому, що ТП заснований на застосуванні ручної праці, обов'язкової участі в ньому робітника. Воно справедливо для неавтоматизованого виробництва, коли розчленування ТП визначається тим об'ємом технологічного впливу, який людина – безпосередній учасник процесу,

в стані виконати на своєму робочому місці. В основу поняття операції було покладено не характер ТП, а робоче місце.

В автоматизованому виробництві, де людина перестає бути безпосереднім учасником ТП, таке визначення призводить до змішування понять «технологічна операція» і «технологічний перехід». Технологічний перехід – це закінчена частина технологічної операції, що виконується над однією або кількома поверхнями заготовки, одним або декількома одночасно працюючими інструментами без зміни або при автоматичній зміні режимів роботи верстата.

Так, згідно з наведеним визначенням, увесь ТП, що виконується на автоматичній лінії, на великій кількості верстатів, великою кількістю інструментів складається з однієї операції – автоматної, так як зберіглося одне робоче місце оператора, який безпосередньо у ТП не бере участь. Розчленим автоматичну лінію на дві ділянки, додавши ще одне робоче місце (працюють вже два оператора), і число операцій формально подвоїлося, але це не змінило сам технологічний процес обробки. Таким чином, наведене визначення операції для сучасного автоматизованого виробництва не має ні технологічного, ні конструктивного сенсу.

Для умов автоматизованого виробництва весь обсяг технологічного впливу слід розчленувати безвідносно до руки людини і робочого місця. Операція в умовах автоматизованого виробництва – це елемент ТП, взятий безвідносно до руки людини, який виконується одним цільовим механізмом, що забезпечує взаємодію інструменту і заготовки для здійснення обробки.

Класифікація операцій передбачає в автоматизованому виробництві наявність робочих і холостих операцій. Таким чином, в автоматах і автоматичних лініях операція являє собою елемент робочого циклу машини, виконуваний конкретним цільовим механізмом. Ними є механізми робочих операцій – супорти, силові голівки, шліфувальні бабки, вимірювальні головки тощо; а також механізми холостих операцій – механізми завантаження, затиску, повороту і т. д.

Поділ ТП на складові частини обумовлений рядом причин.

Перша група причин – фізичні причини. Приклад – неможливість обробки всіх поверхонь виробу одночасно при різних вимогах до якості поверхонь, що формуються, реалізуючи тільки одну операцію (рис. 2.8).

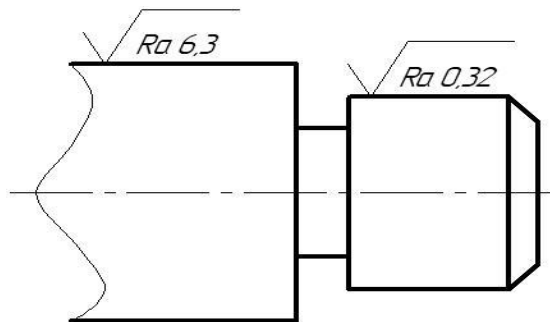


Рисунок 2.8 – Приклад неможливості забезпечення заданої якості поверхонь за рахунок виконання однієї операції

Друга група причин – економічні причини, пов'язані з необхідністю раціонального використання обладнання, інструментів.

2.5 Варіантність технологічних процесів та критерії оцінки їх ефективності

Існують різні способи реалізації якісних та кількісних завдань, що вирішуються при проектуванні ТП.

ТП може бути реалізований з використанням різних структурних варіантів обладнання:

- на однопозиційній машині при одноінструментальній обробці, враховуючи, що позиція – це фіксоване положення, займане незмінно закріпленою оброблюваною заготовкою спільно з пристосуванням щодо інструмента чи нерухомої частини верстата, для виконання операції або її частини;
- на однопозиційній машині при багатоінструментальній обробці;
- на багатопозиційній машині;
- на системі одно- або багатопозиційних машин і т. д.

При автоматизації ТП необхідно виконати без участі людини не тільки робочі, але і холості операції, як-то:

- орієнтацію заготовки в просторі (в умовах автоматизації потрібен механізм орієнтації);
- подача заготовки в робочу зону (необхідний механізм захвату заготовки та її подання в робочу зону);
- закріплення заготовки та розкріплення деталі на верстаті (потрібні механізми автоматичного затиску і розтиск заготовки або деталі);
- передача заготовки до наступної позиції (необхідний механізм її транспортування і передачі) і т. д.

При зміні варіанту ТП обробки конкретної деталі можливі зміни у складі та змісті холостих операцій, пов'язаних з обробкою на конкретній машині.

Як було сказано вище, один і той же виріб можна отримати не тільки за допомогою різних видів обробки, але і в межах кожного виду обробки можуть бути свої особливості (циліндричне фрезерування або торцеве, попутне чи зустрічне тощо). В кожному окремому випадку потрібні різні ходи для інструментів, типи інструментів, режими обробки, виникають різні сили різання, внаслідок чого для кожного способу обробки будемо мати різні за конструкцією робочі механізми та верстати з різною продуктивністю і потужністю. Це положення є вихідним при виборі належного ТП, який обумовлює проектування робочої машини (верстату).

Так, наприклад, існує кілька способів обробки циліндричних зубчастих коліс: методом копіювання за допомогою модульної фрези на звичайному фрезерному верстаті із застосуванням ділильної головки; методом обкатки черв'ячною фрезою на зубофрезерному верстаті; стругальним різцем на зубостругальному верстаті; гребінкою і т. д. Ці способи ілюструють варіантність процесу обробки і показують, що кожен спосіб обробки призводить до використання робочих машин різних конструкцій.

Критерієм оцінки ефективності ТП, найважливішою характеристикою його прогресивності є технологічна продуктивність K_o , яка залежить від тривалості машинної обробки (t_p) і не враховує витрати часу на холості операції.

Найпростішим варіантом будь-якого ТП є обробка деталі в одній позиції при послідовному виконанні всіх операцій обробки. В цьому випадку може бути визначена підсумкова сумарна тривалість протікання ТП ($\sum t_{p_i}$), яка залежить, з одного боку, від конструкції деталі, її складності, з іншого – від прогресивності обраних способів і режимів обробки. Таким чином, технологічна продуктивність K_o є характеристикою прогресивності ТП обробки даної деталі безвідносно до структури машини.

Розглянемо приклад обробки валика, представленого на рис. 2.9. Заготовка – пруток.

Для зовнішньої обробки поверхні довжиною L , наприклад, час обробки може бути виражений формулою

$$t_{p_i} = \frac{L_i}{s_{xв}}, \quad (2.4)$$

де i – кількість переходів, яка визначається як $i=h/t_i$, при цьому h – весь припуск на обробку, t_i – глибина різання на i -му переході; $s_{xв}$ – хвилинна подача.

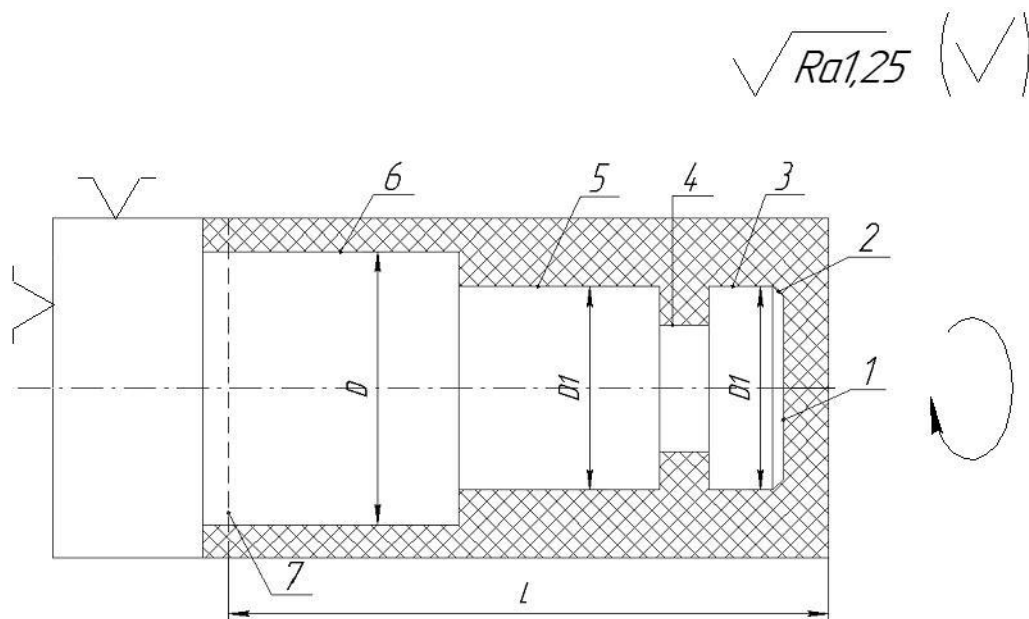


Рисунок 2.9 – Схема обробки валика (заштриховані ділянки – припуск, що підлягає видаленню при обробці)

Знаючи, що $S_{\text{хв}} = S_{\text{об}} n$, де n – частота обертання, яка дорівнює $n = \frac{1000 v}{\pi D}$,

визначимо:

$$t_{p_i} = \frac{L_i \pi D_i h_i}{1000 s_{\text{об}} v t_i}. \quad (2.5)$$

Тоді технологічна продуктивність обробки окремо взятої поверхні виразиться залежністю

$$K_0 = \frac{1000 s_{\text{об}} v t_i}{L_i \pi D_i h_i}. \quad (2.6)$$

Технологічна продуктивність реалізації вибраного варіанту ТП визначається сумою часів несуміщених (тих, що виконуються окремо) переходів $\sum t_{p_i}$ і дорівнює

$$K_0 = \frac{1}{\sum t_{p_i}}. \quad (2.7)$$

Порівнюючи значення K_0 різних варіантів реалізації процесу, можна оцінити прогресивність запропонованих технологічних рішень, перспективність застосування різних ТП при обробці конкретних деталей. Величина K_0 характеризує собою можливість даного ТП у його найпростішому варіанті – без суміщення операцій. Такий варіант характерний для автоматизованих або неавтоматизованих універсальних одноінструментальних верстатів.

2.6 Питання для самоконтролю за другою темою

1. Наведіть класифікацію ТП за ознакою: трудомісткість автоматизації.
2. В чому особливості класифікації ТП і технологічного обладнання (ТО) за ознакою безперервності? Поясніть поняття «машина дискретної дії» «машина безперервної дії», «машина квазібезперервної дії».
3. Яким чином ступінь безперервності ТО впливає на продуктивність обробки виробів?

4. Наведіть особливості поняття «операція» в автоматизованому виробництві. Класифікація операцій, приклади.
5. Варіантність ТП, навести приклади.
6. Назвіть критерій оцінки ТП і технічних характеристик ТО, наведіть приклади.
7. Поясніть поняття технологічної продуктивності процесу, її залежність від параметрів режиму обробки.
8. За яким параметром можна оцінити прогресивність запропонованих технологічних рішень?

РОЗДІЛ 3

ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ І ПРОГРЕСИВНІСТЬ НОВОЇ ТЕХНІКИ

3.1 Теорія продуктивності праці як наукова основа вирішення проблемних та прикладних питань автоматизації

Автоматизація виробничих процесів, створення та впровадження автоматизованого обладнання супроводжується необхідністю вирішення наступних науково-технічних проблем.

Універсальне неавтоматизоване обладнання, як правило, за своїм конструктивно-компонувальним рішенням є моноваріантним. Це зумовлено тим, що компоновка і конструкція верстатів десятиліттями складалися і відпрацьовувалися з умови спільної роботи системи «людина-машина» з пристосуванням до можливостей людини. Конструктивне вдосконалення універсального ручного обладнання відбувається, як правило, за рахунок зміни кінематики і динаміки машин (збільшення потужності, швидкохідності приводу, підвищення точності і жорсткості вузлів тощо).

Впровадження автоматичних систем машин знімає будь-які обмеження в реалізації ТП, конструкцій, компоновок, які пов'язані з безпосередньою участю людини у виробничих процесах. Тому при проектуванні автоматизованого обладнання можлива велика кількість варіантів побудови машин і систем машин. Практично будь-яку продукцію, оброблювану на автоматизованому обладнанні, можна отримати і на універсальному обладнанні.

Мета автоматизації – підвищення продуктивності машин і скорочення кількості обслуговуючих робітників, а, в кінцевому рахунку – отримання економічного ефекту в порівнянні з неавтоматизованим виробництвом. Тому науковою основою автоматизації виробничих процесів є теорія продуктивності машин і праці, яка дозволяє не тільки вирішувати практичні завдання розрахунку

і проектування автоматизованого устаткування, але і проблемні питання аналізу й оцінки шляхів автоматизації, вибору найбільш перспективних її напрямків.

Математична основа теорії продуктивності – рівняння, що зв'язують показники продуктивності машин і продуктивності праці з технологічними, конструктивними, структурними, вартісними та іншими показниками обладнання. Це дозволяє не тільки підраховувати кількісно продуктивність машин або економічну ефективність їх впровадження, але й аналізувати різні можливі варіанти автоматизованого обладнання, вибирати такі параметри машин, що проектуються, які є оптимальними і забезпечують максимальну продуктивність або найбільший економічний ефект.

На базі теорії продуктивності праці академіком Г.А. Шаумяном створена математична модель автоматів і АЛ по продуктивності й ефективності (рис. 3.1).

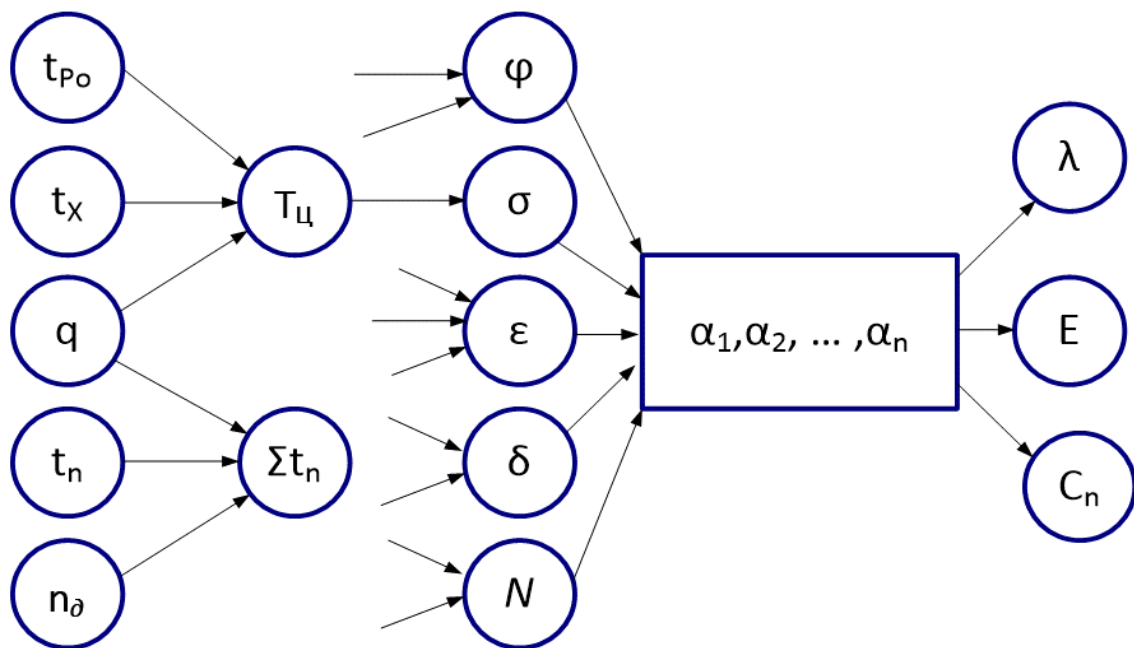


Рисунок 3.1 – Структурна схема математичної моделі взаємозв'язку показників продуктивності та ефективності автоматів і АЛ

Структурна схема включає в себе:

- первинні параметри, що характеризують технологію, конструкцію і компоновку машин, рівень їх експлуатації, а саме: режими і загальна тривалість

обробки $t = t_{po}$, час холостих ходів циклу t_x , позациклові втрати конструктивних елементів t_n , число робочих позицій q , число ділянок, на які розділена лінія n_o , (у сукупності вони чисельно визначають тривалість робочого циклу системи T_u і сумарні позациклові втрати $\sum t_n$ як характеристику працездатності обладнання);

- варіаційні параметри, які визначають собою техніко-економічні параметри порівнюваних варіантів: по продуктивності ϕ , вартості σ , кількості обслуговуючих робітників ε , коефіцієнту експлуатаційних витрат δ , терміну служби N та ін.;

- постійні для даної моделі параметри, які входять у формули як константи, наприклад, нормативні показники по амортизаційним відрахуванням α_1 , ремонтних витратах α_2 і т. д.;

- показники економічної ефективності: зростання продуктивності праці λ , коефіцієнт ефективності капітальних вкладень E , наведені витрати C_n та ін.

Найважливіша перевага такої математичної моделі – її «реверсивність», тобто можливість вирішувати пряме й зворотне завдання. Пряме завдання: знаючи фіксовані числові значення визначальних параметрів (v, s, t_x, q), можна знайти відповідні значення економічних показників і тим самим вибрати найкращі варіанти структури обладнання з числа технічно можливих. Зворотне завдання: задаючись необхідними або мінімальними термінами окупності, можна вирішувати завдання в зворотному напрямку, отримуючи необхідні значення технічних або економічних параметрів, аж до первинних, орієнтуючись на необхідну конструкцію обладнання.

3.2 Фактори, що визначають продуктивність праці

Найважливішим фактором, від якого залежить продуктивність праці, є витрати праці на створення, обслуговування і експлуатацію робочої машини

(автомата). Ці витрати можна представити такими, що складаються з трьох компонентів:

- одноразові витрати минулої праці T_p , необхідні для створення машин, обладнання, будівель, де вони працюють, споруд і т. д.;

- поточні витрати минулої праці T_v , які включають у себе частину уречевленої праці, що витрачається на основні і допоміжні матеріали, запчастини, електроенергію, інструменти, паливо, мастило, необхідні для виробництва виробів;

- поточні витрати живої праці T_h обслуговуючих робітників, які, використовуючи кошти, створюють нові продукти.

У той час, як поточні витрати минулої праці безперервно зростають пропорційно часу (рокам) експлуатації обладнання, тобто кількості випущеної продукції, одноразові витрати минулої праці є разовими, розрахованими на весь термін служби машини (N років), тобто носять постійний характер.

Сумарні витрати T за весь термін дії засобів праці становлять

$$T = T_p + N(T_v + T_h). \quad (3.1)$$

Продуктивність праці A_T оцінюється шляхом зіставлення результатів трудового процесу – кількості випущеної продукції W з сумарними трудовими витратами T , необхідними для її випуску за певний інтервал часу N – термін служби машини в роках

$$A_T = \frac{W}{T}, \quad (3.2)$$

де W – вироблена придатна продукція, яка вимірюється або у фізичних величинах (штуки, одиниці довжини, мас тощо), або у вартісному вираженні (грошові одиниці).

Розмірність продуктивності праці в узагальненому вигляді визначається як $A_T = [\text{продукція} / \text{праця}]$. Кількість випущеної продукції залежить від того, скільки років працює обладнання.

При постійній продуктивності обладнання

$$W = Q_p N, \quad (3.3)$$

де Q_p - річний фактичний випуск продукції.

Підставляючи значення W і T у формулу (3.2), отримуємо

$$A_T = \frac{Q_p N}{T_p + N(T_v + T_h)}. \quad (3.4)$$

Проаналізуємо отриману залежність графічно, висловивши W , T і A_T у функції термінів служби N (рис. 3.2). Тут N – можливі строки служби обладнання як змінна величина, невідома в процесі проектування.

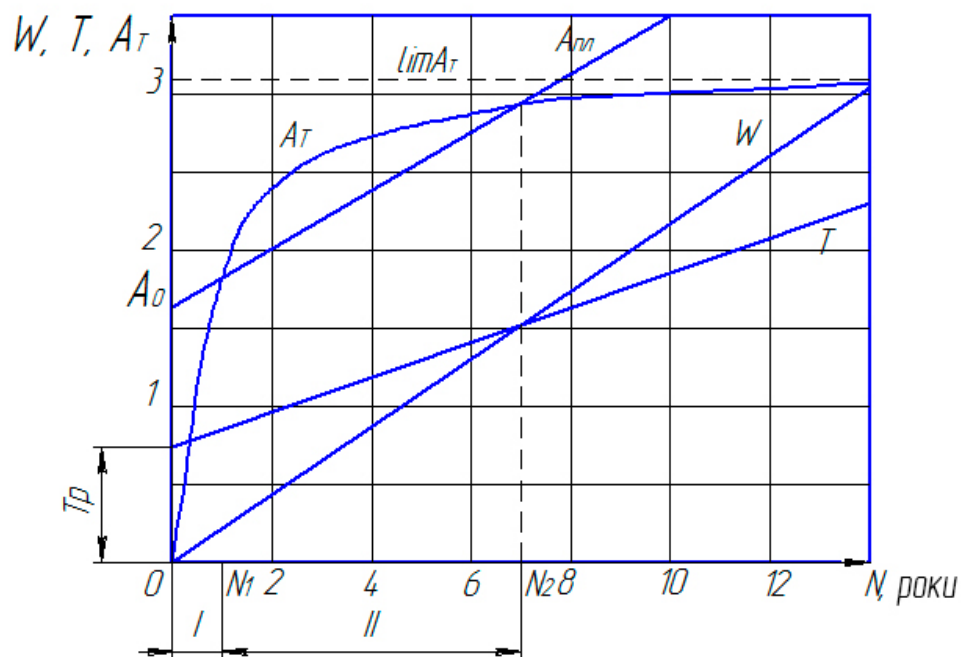


Рисунок 3.2 – Залежність W , T і A_T від термінів служби обладнання N , де I – період його впровадження; II - період ефективної експлуатації

Аналіз продуктивності праці показує її змінний характер. При малих термінах служби рівень продуктивності праці відносно невисокий (може бути нижче A_0), оскільки на порівняно малий обсяг випущеної за цей час продукції потрібні значні витрати на засоби виробництва. Із зростанням строків служби продуктивність праці збільшується, оскільки одноразові витрати уречевленої праці T_p розкладаються в цьому випадку на більший обсяг випущеної продукції.

Представлений на рис. 3.2 характер зміни A_T в залежності від строків служби показує, що при малих термінах служби зростання A_T досить інтенсивне, потім сповільнюється і при великих термінах практично припиняється, наближаючись по асимптоті до своєї межі

$$A_T = \lim \frac{Q_p N}{T_p + N(T_v + T_h)} = \frac{Q_p}{T_v + T_h}. \quad (3.5)$$

Якщо терміни служби машин знаходяться за межами N_2 (точка морального зносу обладнання), то зростання продуктивності праці практично припиняється, що може увійти в суперечність із запланованим зростанням суспільної праці ($A_{пл}$). Звідси випливає висновок: продуктивність праці при даному рівні техніки має свої межі. Щоб вийти за ці межі, необхідно безперервно удосконалювати технологію і автоматизовану техніку.

Крім того, строки служби машин визначаються не тільки їх фізичним зносом, але і характером залежності продуктивності праці від строків служби і запланованим темпом росту A_T , тобто строками морального зносу обладнання. Так, якщо при термінах служби від 0 до N_2 , збільшення строків служби на рік дозволяє значно підвищити продуктивність праці, то подальше збільшення їх (більше N_2) не дає помітного зростання A_T . Таким чином, виникає питання про доцільність строків служби машин, що лежать за межами N_2 .

3.3 Порівняння варіантів техніки. Коефіцієнт зростання продуктивності праці

Прогресивність і ефективність нової техніки визначаються порівнянням рівня продуктивності суспільної праці при різних взаємозамінних варіантах виробництва, в тому числі різних варіантах конструкцій машин. При порівнянні варіантів необхідно враховувати принципову відмінність між базовим варіантом і порівнюваним з ним.

Згідно аналізу розширеного відтворення нові витрати на засоби праці T_{p_2} хоча і можуть бути більшими порівняно з базовими T_{p_1} , але повинні забезпечити чисту економію в сфері виробництва, що дорівнює різниці сумарних витрат ΔT за термін служби N : $\Delta T = T_1 - T_2$. Перевагу слід віддати варіанту, який забезпечує найбільше зростання продуктивності праці і гарантує виконання запланованих темпів зростання на весь термін служби машини, що визначається рівнем коефіцієнта зростання продуктивності праці λ при порівнянні двох варіантів

$$\lambda = \frac{A_{T_2}}{A_{T_1}}, \quad (3.6)$$

де A_{T_1} і A_{T_2} – відповідно продуктивності праці вихідного та порівнюваного з вихідним варіантів.

Якщо використати безрозмірні коефіцієнти (див. рис. 3.1), які характеризують порівняльні техніко-економічні показники обох варіантів виробництва, а саме: $\varphi = \frac{Q_2}{Q_1}$ – коефіцієнт зростання продуктивності засобів виробництва; $\varepsilon = \frac{T_{h_1}}{T_{h_2}}$ – коефіцієнт скорочення витрат живої праці, що показує, у скільки разів скорочується жива праця при другому варіанті порівняно з

вихідним; $\sigma = \frac{T_{p2}}{T_{p1}}$ – коефіцієнт зміни вартості засобів виробництва (зміни одноразових витрат); $\Delta\phi = \delta \frac{T_{v2}}{T_{v1}}$, де δ – коефіцієнт зміни поточних експлуатаційних витрат на одиницю продукції, то можна визначити наступні шляхи підвищення продуктивності праці при використанні автоматизованого обладнання (у порівнянні з базовим варіантом).

Перший шлях – зменшення витрат живої праці T_h за рахунок скорочення кількості робітників, безпосередньо зайнятих у процесі виробництва ($\varepsilon = \frac{T_{h1}}{T_{h2}} > 1$). Досягається за рахунок застосування удосконалених засобів виробництва і управління, зміни організації праці і т.д., коли один робітник отримує можливість обслуговувати одночасно кілька машин або завдяки впровадженню обчислювальної техніки та інших сучасних засобів, що дозволяє суттєво зменшити кількість верстатників.

Однак цей шлях забезпечує обмежені можливості підвищення A_T , тобто при збереженні даного рівня продуктивності обладнання економія живої праці має тенденцію до спадання. Для того, щоб уникнути великих витрат при створенні автоматичних систем машин, вигідно застосовувати уніфіковані засоби автоматизації. При цьому автоматичні лінії, які створюються, повинні спиратися на прогресивні ТП.

Другий шлях підвищення продуктивності праці пов'язаний зі скороченням витрат минулої праці за рахунок зниження вартості засобів виробництва (тобто, якщо $\sigma = \frac{T_{p2}}{T_{p1}} < 1$). Цей шлях пов'язаний з вдосконаленням технології виробництва самих засобів виробництва, стандартизацією та уніфікацією механізмів, вузлів і деталей машин, що забезпечує зниження їх собівартості. Для цього шляху характерно розвиток агрегатного верстатобудування, потокових методів виробництва нових машин, а також уніфікованих засобів автоматизації. Якщо на перших етапах автоматизації уніфікованими елементами були вузли і механізми, з яких komponуються верстати різного технологічного призначення,

то тепер елементами компоновок служать вже вбудовані верстати та уніфіковані транспортні засоби, що дозволяє створювати автоматичні лінії з меншими затратами в найкоротші терміни, значно скоротити терміни їх проектування й освоєння і тим самим підвищити A_T .

Третій шлях пов'язаний зі скороченням витрат живої і минулої праці за рахунок підвищення продуктивності засобів виробництва (автоматизованого обладнання), а, отже, скорочення трудових витрат на одиницю виробу (шлях $\varphi = \frac{Q_2}{Q_1} > 1$). Це досягається за рахунок розробки нових прогресивних ТП і створення високопродуктивних засобів виробництва і цей шлях є основним напрямом автоматизації.

3.4 Економічна ефективність автоматизованого обладнання

Економічну ефективність впровадження нового автоматизованого обладнання в загальному виді можна оцінити за формулою

$$E = Z_{\text{обс}_1} - Z_{\text{обс}_2} = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2), \quad (3.7)$$

де $Z_{\text{обс}_1}, Z_{\text{обс}_2}$ – витрати на обслуговування діючої техніки і техніки запропонованого варіанту;

C_1, C_2 – собівартість одиниці продукції, що виробляється відповідно на старому і новому варіантах техніки;

K_1, K_2 – капіталовкладення у виробничі фонди відповідно для обох варіантів техніки;

E_n – нормативний коефіцієнт капіталовкладень.

Після перетворень формула (3.7) прийме наступний вигляд

$$E = 0,35 K_1 (\varphi - \sigma) + T_p \left(\varphi - \frac{1}{\varepsilon} \right) + m_1 \varphi (1 - \delta) + (\gamma_2 - \gamma_1) M_1 Q_r \varphi, \quad (3.8)$$

де m_1 – витрати на інструмент і допоміжні матеріали;

$(\gamma_2 - \gamma_1)$ – різниця по браку виробів між новим і діючим обладнанням;

M_1 – кількість матеріалу, витраченого на брак виробів.

3.5 Питання для самоконтролю за третьою темою

1. Теорія продуктивності праці як наукова основа вирішення проблемних та прикладних питань автоматизації.
2. В чому суть структурної схеми математичної моделі взаємозв'язку показників продуктивності та ефективності автоматів і АЛ?
3. Які чинники визначають продуктивність праці?
4. Порівняння варіантів техніки. Поясніть суть коефіцієнту зростання продуктивності праці.
5. Назвіть шляхи підвищення продуктивності праці. Охарактеризуйте перший шлях, що здійснюється за рахунок зменшення витрат живої праці T_h ($\varepsilon = \frac{T_{h1}}{T_{h2}} > 1$).
6. Охарактеризуйте другий шлях підвищення продуктивності праці, пов'язаний зі скороченням затрат минулої праці за рахунок зниження вартості засобів виробництва (тобто, $\sigma = \frac{T_{p2}}{T_{p1}} < 1$).
7. Охарактеризуйте третій шлях підвищення продуктивності праці, пов'язаний зі скороченням трудових витрат на одиницю виробу (шлях $\varphi = \frac{Q_2}{Q_1} > 1$).
8. Обґрунтуйте переваги третього шляху підвищення продуктивності праці при рішенні завдань автоматизації.
9. Від яких факторів залежить економічна ефективність автоматизованого обладнання?

РОЗДІЛ 4

ТЕОРІЯ АГРЕГАТУВАННЯ РОБОЧИХ МАШИН ЯК ОСНОВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ВПЛИВУ НА РІВЕНЬ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

4.1 Технологічні методи підвищення продуктивності машин

Найважливішою характеристикою прогресивності будь-якого технологічного процесу обробки, складання і контролю виробу, як було сказано вище, є технологічна продуктивність K_o , яка залежить від тривалості протікання ТП – тривалості машинної обробки t_p . Враховуючи, що технологічна продуктивність дорівнює $K_o = \frac{1}{\sum t_{p_i}}$, підвищення продуктивності буде пов'язаним зі скороченням часу обробки кожної складової операції або переходу. Одним із способів досягнення цього є інтенсифікація режиму обробки.

4.1.1 Шлях інтенсифікації режиму обробки

Відомо, що

$$t_{p_i} = \frac{L_i \pi D_i h_i}{1000 s_{об} v t_i}. \quad (4.1)$$

Скорочення часу обробки конкретної операції можливе за рахунок інтенсифікації параметрів режиму обробки, а саме за рахунок підвищення подачі ($s_{об}$ або S), швидкості різання (v), глибини різання (t).

З теорії різання відомо, що подача і глибина різання зумовлюють сили різання, а, отже, і вимоги до жорсткості і міцності основних ланок верстата. Швидкість різання при заданих глибині різання і подачі визначає необхідну потужність верстата та істотно впливає на стійкість інструменту. Глибину

різання можна вважати заданою величиною, так як вона визначається припуском на обробку, тобто співвідношенням розмірів заготовки і деталі.

З'ясуємо, за рахунок інтенсифікації якого з перерахованих параметрів режиму (v , s або t) доцільніше збільшити технологічну продуктивність процесу обробки.

Технічні обмеження принципу інтенсифікації режимів різання.

Аналіз формул (див. 2.6, 2.7), які визначають рівень технологічної продуктивності через параметри режиму, свідчить про те, що K_o збільшується пропорційно параметрам режиму різання. Однак існує ряд технічних обмежень на зростання v , s , t . Основними з них є наступні обмеження:

- стійкість інструмента;
- якість обробленої поверхні (її шорсткість);
- міцність інструмента;
- точність обробки, яка залежить від жорсткості системи верстат – пристосування – інструмент – деталь (системи ВПД);
- вібростійкість системи ВПД;
- потужність верстата.

Розглянемо залежність кожного з обмежень від параметрів режиму обробки.

Стійкість інструмента. Відомо, що стійкість інструмента T значною мірою визначається швидкістю різання. Залежність стійкості різального інструмента від швидкості різання для найбільш широко використовуваного діапазону швидкостей визначиться формулою

$$T = \frac{C_t}{v^m}, \quad (4.2)$$

де m – безрозмірний показник ступеня, величина якого залежить від фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу ($m=5\dots 8$ – для

швидкорізальних сталей, $m=3..5$ – для твердих сплавів, $m=2...3$ – для мінералокераміки);

C_t – постійний коефіцієнт різання, який залежить від характеру обробки і геометрії інструменту, стану поверхні заготовки, наявності охолодження і т. д.

Залежність $T = f(v)$ можна представити графічно (рис. 4.1).

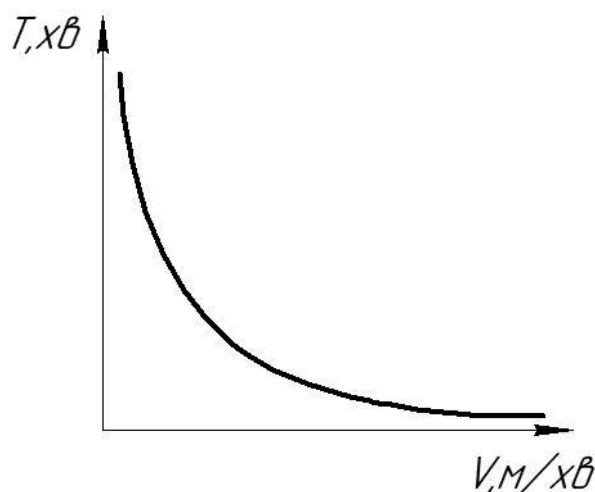


Рисунок 4.1 – Залежність стійкості інструменту від швидкості різання

На стійкості інструмента більшою мірою негативно позначається підвищення швидкості різання, ніж збільшення подачі або глибини різання. Тому з точки зору стабілізації стійкості інструмента вигідніше підвищувати подачу, ніж швидкість різання. Хоча при інтенсифікації швидкості різання і скорочується час робочих ходів, однак, втрата інструментом стійкості призводить до зростання витрат часу на заміну і переточку інструментів. При роботі на автоматичному обладнанні, зокрема, на автоматичних лініях, передчасний вихід з ладу одного з інструментів призводить до зупинки всієї лінії.

Проте, робота з великими подачами пов'язана з необхідністю дотримання обмежень за іншими технологічними параметрами процесу обробки, такими як якість оброблюваної поверхні, міцність інструменту, жорсткість системи ВПД і т. д.

Якість (шорсткість) оброблюваної поверхні. При обробці матеріалів (металів) різанням шорсткість поверхні утворюється як геометричний слід робочого руху ріжучого клину інструмента щодо заготовки. При виконанні чорнових операцій величина шорсткості визначається в першу чергу величиною подачі на оберт і радіусом заокруглення ріжучої кромки різця. Між висотою мікровиступів сформованої поверхні R_z і радіусом заокруглення r ріжучої кромки різця встановлена залежність

$$R_z = \frac{s_0^2}{8r}. \quad (4.3)$$

На рис. 4.2 наведені графічні залежності шорсткості обробленої поверхні від параметрів режиму різання.

З формули (4.3) та рис. 4.2, а випливає, що висота мікровиступів обробленої поверхні і подача пов'язані квадратичною залежністю.

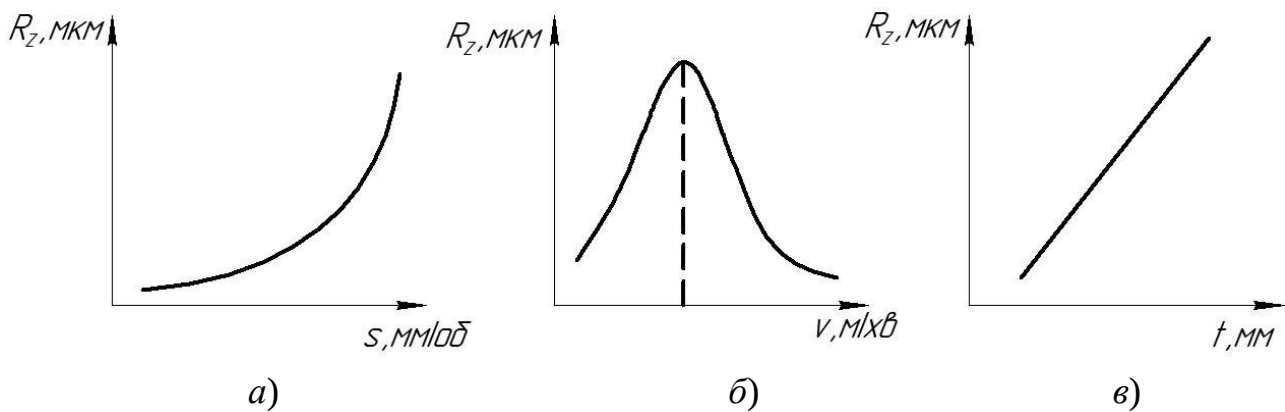


Рисунок 4.2 – Вплив параметрів режиму обробки на шорсткість обробленої поверхні

Вплив швидкості різання на шорсткість поверхні пов'язаний з процесом утворення наросту та його величиною. У зоні максимального створення наросту виходить найгірша шорсткість поверхні, що викликано зривом наросту. Зі збільшенням швидкості різання і виходом із цієї зони подальше підвищення

швидкості різання із-за зростання температури в зоні різання веде до зникнення наросту i , як наслідок, зменшення шорсткості обробленої поверхні (див. рис. 4.2, б).

Збільшення глибини різання змінює умови пластичного відриву металу в зоні формування гребінця мікронерівності. При цьому з підвищенням глибини різання відбувається пропорційне зростання висоти нерівностей (див. рис. 4.2, в), особливо це явно простежується для високо пластичних металів.

Інтенсифікація режиму різання супроводжується зростанням сили різання та її складових. Відома залежність сили різання від параметрів режиму обробки

$$P = C_p t^{x_p} s^{y_p} v^{-n_p}, \quad (4.4)$$

де x_p, y_p, n_p – показники ступеня при параметрах режиму обробки;

C_p – коефіцієнт, який враховує умови обробки.

При цьому ступінь впливу параметрів режиму обробки на складові сили різання різна. Нижче наведені технологічні обмеження на інтенсифікацію параметрів режиму різання, що призводять до їх виходу за межі допустимих.

Міцність інструменту. Міцність інструменту (його державки) залежить від величини тангенціальної складової сили різання P_z , яка в процесі обробки може зігнути різець (рис. 4.3).

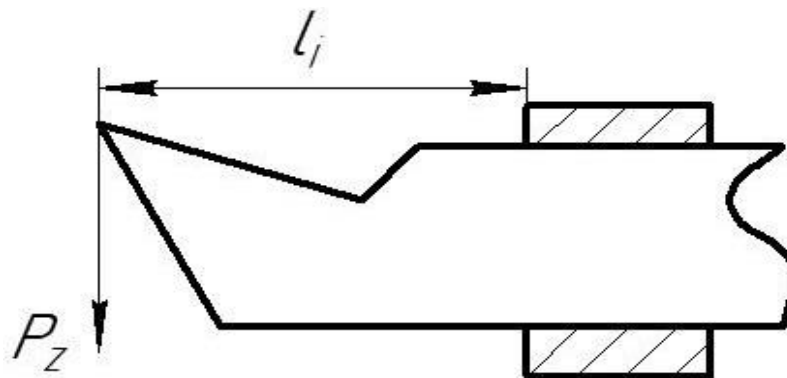


Рисунок 4.3 – Схема впливу сили P_z на державку різця

Перевищення значення сили P_z , зумовленого допустимим рівнем міцності матеріалу державки при вигині, супроводжується поломкою різця. Так як на збільшення P_z в значній мірі впливають зростання глибини різання і подачі ($P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} s^{y_{pz}} v^{-n_z}$), то ступінь інтенсифікації цих параметрів обмежується граничним, допустимим по міцності державки інструменту значенням тангенціальної складової сили різання.

Збільшення подачі при різанні також обмежується міцністю ріжучої кромки різця. Особливо це важливо при використанні інструменту, оснащеного пластинками з твердого сплаву і мінералокераміки. У відповідних довідниках наводяться нормативні дані щодо рівня подач, виходячи із забезпечення міцності різальних пластин з твердого сплаву.

Точність обробки з урахуванням жорсткості системи ВПД. Пружні відтискання в технологічній системі призводять до зміни фактичного розміру оброблюваної деталі $\Delta_{\text{обр.дет.}}$. Загальне збільшення діаметру оброблюваного виробу ΔD порівняно з його теоретичним значенням, встановленим при настроюванні верстата, дорівнює подвоєному приросту фактичного радіуса деталі або подвоєному віджиманню технологічної системи (y), тобто

$$\Delta_{\text{обр.дет.}} = \Delta D = 2y. \quad (4.5)$$

Так як $y = \frac{P_y}{j}$, де P_y – нормальна складова сили різання ($P_y = C_{py} t^{x_{py}} s^{y_{py}} v^{-n_y}$), j – жорсткість верстата, то за умови, що робота ведеться на налагодженому верстаті з жорсткістю j , при стабільному значенні величини глибини різання t отримуємо

$$\Delta_{\text{обр.дет.}} = \Delta D = 2y = 2 \frac{P_y}{j} = \text{const.} \quad (4.6)$$

Коливання припуску на обробку заготовок, пов'язані з похибкою розмірів вихідної заготовки, що при роботі на налагоджених верстатах змінює глибину різання t і заплановане значення ΔD . Це призводить до додаткового розсіювання розмірів деталі ($\Delta'_{обр.дет.}$) і зміни заданого уточнення ε .

Як відомо, уточнення – це відношення однойменних похибок вихідної заготовки $\Delta_{вих.заг.}$ і обробленої заготовки, тобто деталі – $\Delta'_{обр.дет.}$. Таким чином

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{вих.заг.}}{\Delta'_{обр.дет.}} > 1. \quad (4.7)$$

В свою чергу

$$\Delta_{вих.заг.} = 2(t_{max} - t_{min}) \quad (4.8)$$

Використаємо формули (4.6) і (4.8) і, визнавши P_y через параметри режиму різання, отримаємо наступний вираз $\Delta'_{обр.дет.}$.

$$\Delta'_{обр.дет.} = 2\Delta y = \frac{2\Delta P_y}{j} = \frac{2C_{py} [t_{max}^{x_{py}} - t_{min}^{x_{py}}] s^{y_{py}} v^{-n_y}}{j}. \quad (4.9)$$

В загальному випадку на підставі формули (4.7) і співвідношення (4.9) можна написати, що

$$\varepsilon = \frac{2(t_{max} - t_{min})j}{2C_{py} [t_{max}^{x_{py}} - t_{min}^{x_{py}}] s^{y_{py}} v^{-n_y}}. \quad (4.10)$$

Прийнявши в окремому випадку значення показника $x_{py} = 1$, отримаємо наступне наближене вираження уточнення

$$\varepsilon = \frac{j}{C_{py} s^{y_{py}} v^{-n_y}}. \quad (4.11)$$

З формули (4.11) виходить, що уточнення прямо пропорційне жорсткості технологічної системи і зменшується із зростанням значення подачі.

Надмірне збільшення подачі, яке викликає зростання сили P_y , може привести при постійних параметрах жорсткості технологічної системи до втрати точності обробленої заготовки, зменшення значення уточнення.

Вібростійкість системи ВПД. Зміни величини сили різання, які мають місце в процесі обробки, зовнішні поштовхи і струси, дисбаланс обертових частин верстата, пристосування, заготовки, інструменту і т. п. викликають появу коливань елементів динамічної технологічної системи різання. Наявність коливань супроводжується виникненням відносних переміщень різальних інструментів по нормалі до оброблюваної поверхні, які призводять до появи похибок геометричної форми і хвилястості оброблюваних поверхонь, зниження стійкості інструменту і його поломок.

Однією з основних характеристик коливального процесу, що оцінює його інтенсивність, є амплітуда коливань (A , мкм). Зміна параметрів режиму різання супроводжується зміною інтенсивності вібрацій. При цьому в зоні порівняно низьких швидкостей різання зі збільшенням швидкості до деякого значення, яке залежить від характеристики системи і від ширини зрізу, амплітуда коливань швидко зростає (рис. 4.4, *а*), а при подальшому підвищенні швидкості – знижується.

Збільшення глибини різання t супроводжується зростанням амплітуди коливань (див. рис. 4.4, *б*), у той час як збільшення подачі призводить до зменшення амплітуди, що представлено на рис. 4.4, *в*.

Потужність верстата. Потужність верстата N_e повинна забезпечити можливість протікання процесу різання. Звідси випливає, що потужність N_e , яка витрачається на різання і визначається за формулою $N_e = P_z v$, повинна бути менше потужності самого верстата $N_{\text{вер}}$.

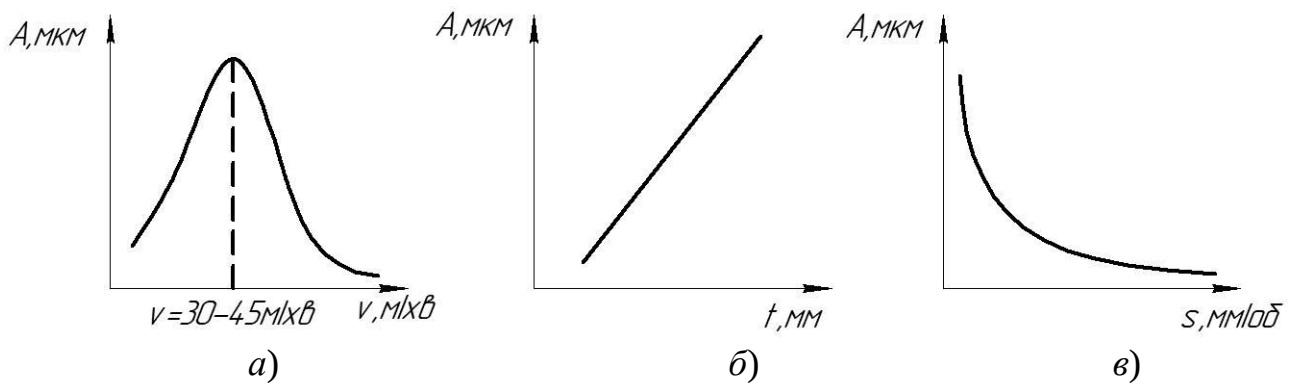


Рисунок 4.4 – Вплив параметрів режиму обробки на амплітуду коливань елементів системи ВПД

Враховуючи, що $P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} v^{-n_z}$, то

$$N_e = C_{pz} t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} v^{1-n_z} < N_{\text{вер}}. \quad (4.12)$$

Параметри режиму різання повинні бути підібрані таким чином, щоб нерівність (4.12) задовольнялась.

Враховуючи дії всіх обмежень, можна графічно визначити область допустимих змін параметрів режиму обробки: значень подачі S і швидкості різання (частоти обертання шпинделя верстату n), що представлено на рис. 4.5.

Кожна лінія, проведена на представленому графіку, характеризує сталість того або іншого фактору, який виступає в якості технічного обмеження при інтенсифікації параметрів режиму різання.

Розглянемо кожне з цих обмежень, дослідивши залежності, що зв'язують їх з параметрами режиму.

1. Визначальне обмеження – *стійкість інструмента*: $T = \frac{C_t}{v^m} = \text{const}$.

Із збільшенням швидкості різання стійкість інструменту зменшується. При необхідності забезпечення стійкості на заданому рівні за рахунок зниження швидкості різання для підтримки продуктивності обробки на належному рівні можна дещо збільшити подачу без шкоди стійкості інструменту (див. рис. 4.5).

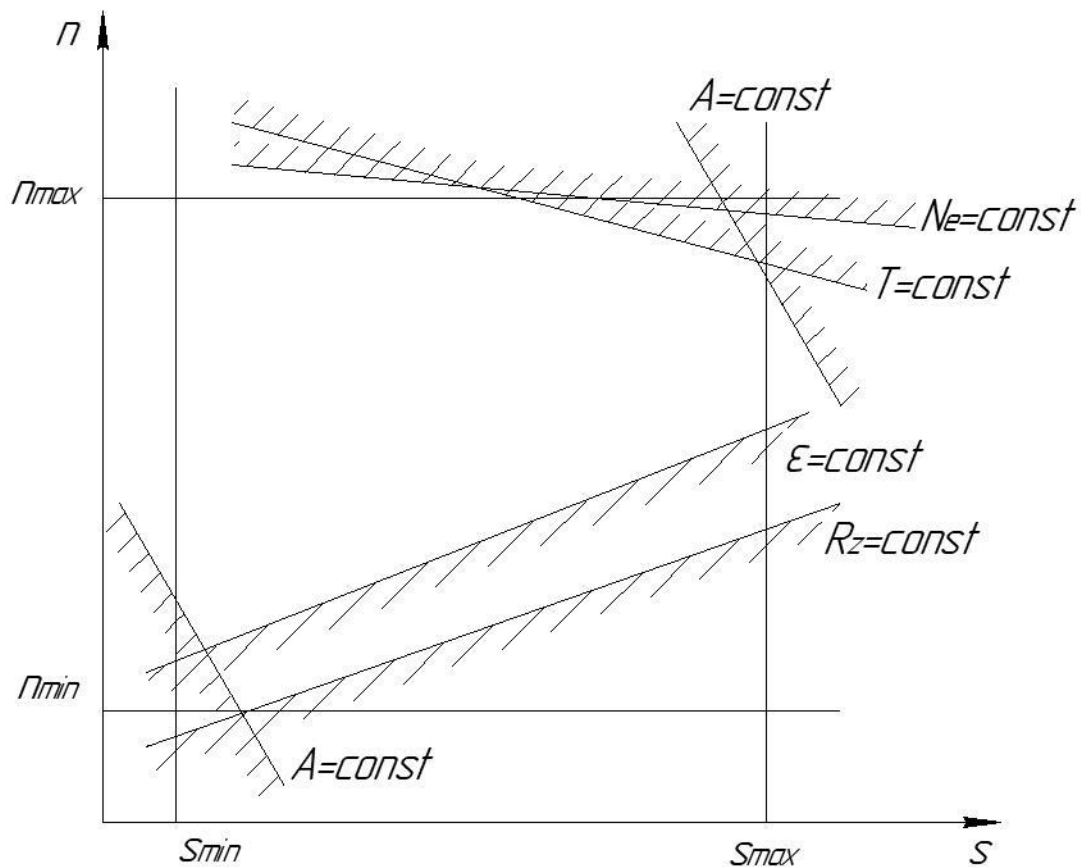


Рисунок 4.5 – Область припустимих змін параметрів режиму різання, виходячи з дотримання технічних обмежень

2. Визначальне обмеження – шорсткість обробленої поверхні:

$$R_z = \frac{s_0^2}{8r} = \text{const.}$$

Збільшення подачі супроводжується різким зростанням шорсткості сформованої поверхні. Збільшення v стабілізує зростання мікронерівностей. Тому для утримання R_z на заданому рівні при збільшенні подачі необхідно збільшувати і швидкість різання (див. рис. 4.5).

3. Визначальне обмеження – точність обробки: $\epsilon = \frac{j}{C_{py} s^{y_{py}} v^{-n_y}} = \text{const.}$

Із зростанням подачі зменшується точність обробки, це негативне явище можна компенсувати збільшенням швидкості різання v (див. рис. 4.5).

4. Визначальне обмеження – вібростійкість системи ВПД: $A = \text{const.}$

Аналізуючи особливості процесу різання, можна відмітити, що в зоні найбільш уживаних швидкостей різання ($v > 60$ м/хв) зростання v супроводжується зменшенням вібрацій системи ВПД. Аналогічним чином на величину амплітуди коливань системи впливає і зростання подачі. Графічно це представлено на рис. 4.5, де дві лінії (для деталей малої і великої жорсткості) характеризують зв'язок між v і S за умови сталості вібростійкості системи.

5. Визначальне обмеження – *неперевищення потужності різання над потужністю верстата*: $N_e = C_{pz} t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} v^{1-n_z} = \text{const.}$

З ростом швидкості різання і подачі збільшується потужність різання, але v більш суттєво впливає на цей показник, ніж S . Зв'язок між v і S при забезпеченні сталості потужності різання також представлений на рис. 4.5.

В залежності від того, які обмеження є лімітуючими в тому чи іншому конкретному випадку, область допустимих обмежень може стискатися або розширюватися. Наприклад, при чорновій обробці немає фактичних обмежень по вібростійкості, шорсткості, точності обробки. Визначальними є обмеження по стійкості інструмента і потужності обладнання. Як наслідок – рівень v і S може бути досить високим. І навпаки – при чистовому точінні при великій жорсткості деталі параметром, що обмежує рівень режиму різання, є задана шорсткість обробленої поверхні, яка в першу чергу залежить від подачі S .

Враховуючи розглянуті обмеження, можна зробити висновок, що основним параметром режиму різання, який можна змінювати в досить широких межах з метою підвищити продуктивність обробки, є швидкість різання.

4.1.2 Технологічна продуктивність машин при інтенсифікації режимів обробки

Якщо змінювати тільки швидкість різання, а всі інші параметри режиму обробки залишати без зміни, то можна нову швидкість різання V виразити через базову швидкість різання v_0 і коефіцієнт χ , який оцінює зміну швидкості

(безрозмірний коефіцієнт інтенсифікації). Тоді $v = v_0 x$, і, відповідно, формулу технологічної продуктивності можна представити у вигляді

$$K = K_0 x, \quad (4.13)$$

де K_0 – технологічна продуктивність при інтенсифікації швидкості різання, тобто при v_0 ($v_0 < v$).

4.2 Принцип поєднання операцій. Способи реалізації принципу

Найважливішими особливостями і перевагами технології автоматизованого виробництва є диференціація технологічного процесу і концентрація операцій – одночасне виконання багатьма інструментами в одній або декількох робочих позиціях багатьох операцій. Концентрація операцій визначається кількістю одночасно виконуваних операцій у даній машині або автоматичній лінії, тобто їх поєднанням у часі.

Способи реалізації принципу суміщення операцій, що дозволяють підвищити продуктивність машин, наступні:

- перша ступінь концентрації обробки це багато інструментальна обробка в одній позиції при $U > 1$, де U – кількість інструментів, які працюють в одній позиції одночасно (коефіцієнт багато інструментальності);

- друга ступінь концентрації обробки включає:

- а) виконання одночасно q числа послідовних (різнойменних) операцій;

- б) виконання одночасно або паралельно p кількості однойменних операцій.

4.2.1 Багато інструментальна обробка

Багато інструментальна обробка характеризується коефіцієнтом багато інструментальності U . Розглянемо природу цього коефіцієнта на прикладі обробки валу (рис. 4.6).

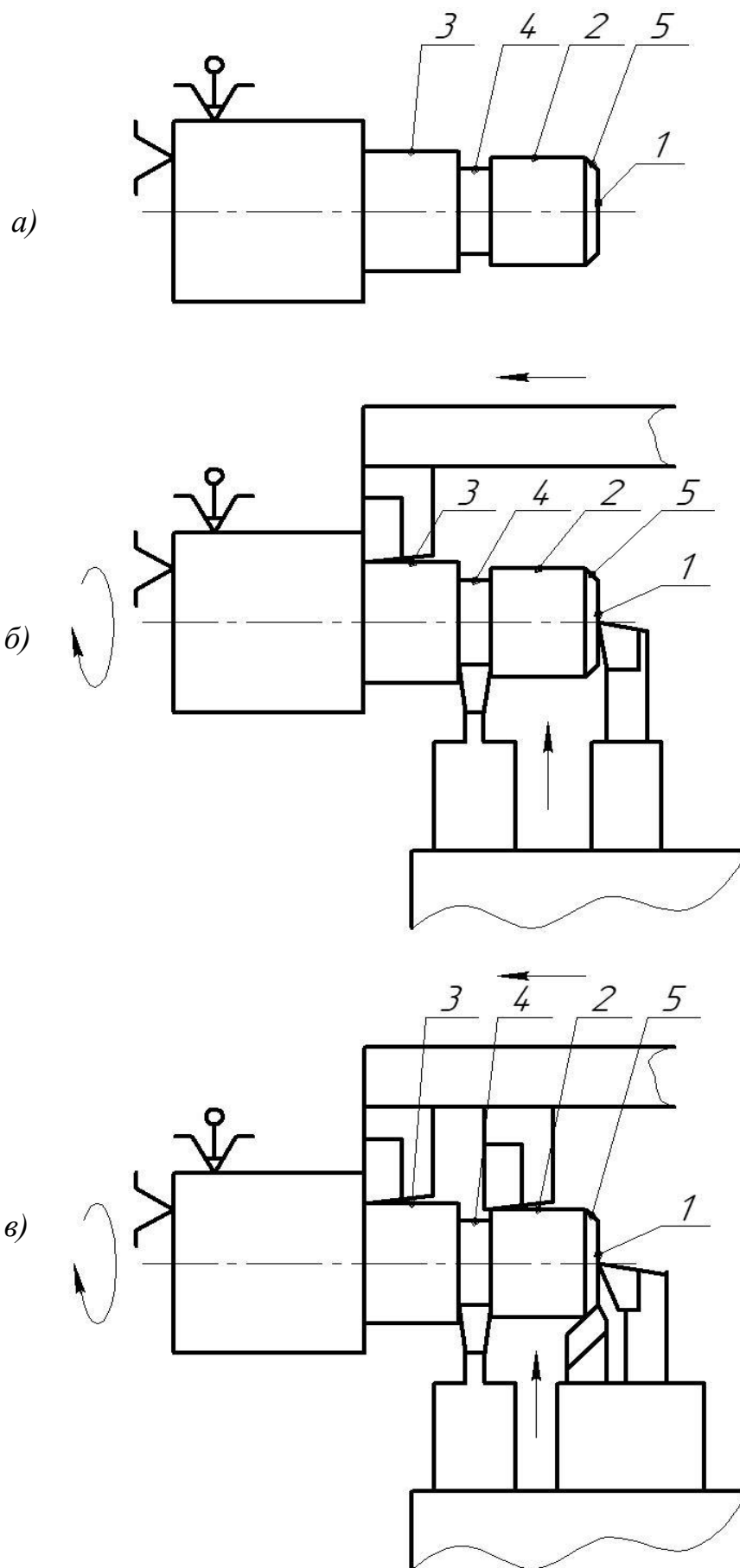


Рисунок 4.6 – Варіанти багатоінструментальної обробки валу

Можливі наступні варіанти обробки.

1-й варіант – послідовна одноінструментальна обробка всіх поверхонь (див. рис. 4.6, *а*). При цьому час обробки $\sum t_{Pi(I)}$ буде дорівнювати

$$\sum t_{Pi(I)} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} + t_{P4} + t_{P5}, \quad (4.14)$$

де t_{P1} , t_{P2} , t_{P3} , t_{P4} , t_{P5} – відповідно час обробки від 1-ї до 5-ї поверхонь деталі.

Технологічна продуктивність процесу обробки при цьому дорівнює

$$K_0 = K_{0(I)} = \frac{1}{\sum t_{Pi(I)}}. \quad (4.15)$$

2-й варіант – застосування багатоінструментальної обробки для одночасної обробки поверхонь 1; 3; 4 (див. рис. 4.6, *б*), при чому $t_{P3} > t_{P1} > t_{P4}$.

Тоді загальний час обробки валу $\sum t_{Pi(II)}$ як і час першого варіанту багатоінструментальної обробки t_{Pu1} буде дорівнювати

$$\sum t_{Pi(II)} = t_{P2} + t_{P3} + t_{P5} = t_{Pu1}. \quad (4.16)$$

Відповідно, технологічна продуктивність цього варіанту обробки $K_{0(II)}$ визначиться з рівняння

$$K_{0(II)} = \frac{1}{\sum t_{Pi(II)}} = \frac{1}{t_{Pu1}}. \quad (4.17)$$

3-й варіант – застосування багатоінструментальної обробки для одночасної обробки поверхонь 1; 2; 3; 4; 5 (див. рис. 4.6, *в*), причому $t_{P2} > t_{P3} > t_{P1} > t_{P4} > t_{P5}$.

В цьому разі загальний час обробки валу $\sum t_{Pi(III)}$ буде дорівнювати

$$\sum t_{Pi(III)} = t_{P2} = t_{Pu2}, \quad (4.18)$$

а технологічна продуктивність цього варіанту обробки $K_{0(III)}$ визначиться із співвідношення

$$K_{0(III)} = \frac{1}{\sum t_{Pi(III)}} = \frac{1}{t_{P2}} = \frac{1}{t_{Pu2}}. \quad (4.19)$$

Порівнюючи величини технологічної продуктивності кожного варіанту, можна зробити висновок, що $K_{0(III)} > K_{0(II)} > K_{0(I)}$.

У загальному випадку можна сказати, що при багатоінструментальній обробці її технологічна продуктивність дорівнює

$$K_u = \frac{1}{t_{Pu}} = K_{0(I)} U, \quad (4.20)$$

де $K_{0(I)}$ – технологічна продуктивність процесу при послідовній одноінструментальній обробці всіх поверхонь деталі; U – коефіцієнт багатоінструментальності; t_{Pu} – не повний сумарний час виконання всіх операцій, а сумарна тривалість ланцюжка несуміщених операцій.

$$\text{Якщо} \quad K_{0(I)} = \frac{1}{t_{P1}+t_{P2}+t_{P3}+t_{P4}+t_{P5}}, \text{ а } K_u = \frac{1}{t_{Pu}},$$

$$\text{то тоді } U = \frac{K_u}{K_{0(I)}} = \frac{t_{P1}+t_{P2}+t_{P3}+t_{P4}+t_{P5}}{t_{Pu}} > 1. \quad (4.21)$$

Коефіцієнт багатоінструментальності залежить від кількості одночасно працюючих інструментів на одній позиції і визначається як відношення суми часу робочих ходів при одноінструментальній обробці до суми часу робочих ходів при використанні декількох одночасно працюючих інструментів.

4.2.2 Варіанти реалізації та обмеження методу багатоінструментальної обробки

Метод багатоінструментальної обробки реалізується за рахунок:

- використання декількох різців для обробки однієї поверхні, що веде до зменшення робочого ходу кожного інструмента;
- суміщення роботи різних інструментів при обробці різних поверхонь деталі;
- застосування комбінованого і фасонного інструменту – фасонних різців, комбінованих зенкерів, розгорток і т. д.

Однак існує ряд обмежень на багатоінструментальну обробку. Основні з них такі:

- конструктивні – пов'язані з обмеженим простором зони обробки і неможливістю розміщення в ньому групи інструментів;
- обмеження по міцності оброблюваної деталі, які викликаються підвищенням сил різання при багатоінструментальній обробці; вихід з цього положення – таке розташування інструментів, що забезпечує зустрічний напрямок зусиль різання;
- по точності обробки, це пов'язано з можливістю появи температурних деформацій деталей, викликаних підвищенням температури в зоні різання із-за великої кількості інструментів, які працюють одночасно в обмеженому просторі;
- по потужності обладнання (верстата), що викликано істотним збільшенням сил різання при одночасній обробці кількома інструментами, при цьому потужність різання може перевищити потужність обладнання;
- обмеження по вібраціям, що виникають в процесі обробки.

При використанні інструментів зі збільшеною довжиною ріжучої кромки l_p збільшується амплітуда вібрацій у процесі обробки. Це призводить до погіршення точності і якісних характеристик обробки. Відомо, що залежність величини амплітуди вібрацій зростає із зростанням довжини ріжучої кромки інструментів (рис. 4.7).

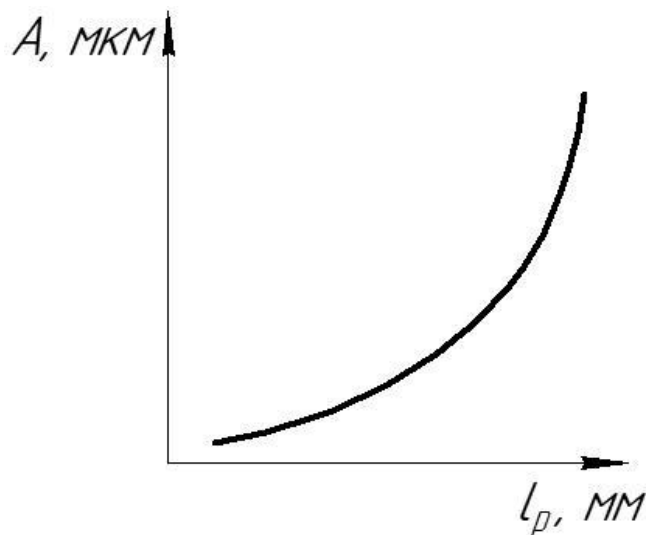


Рисунок 4.7 – Залежність амплітуди коливань елементів системи ВПД від довжини ріжучої кромки інструментів

Таким чином, перший етап концентрації операцій – багато інструментальна обробка, у багатьох випадках має обмежені можливості підвищення продуктивності. Подальше підвищення продуктивності робочих машин може бути забезпечено багатопозиційною обробкою та інтенсифікацією режимів обробки.

4.3 Способи диференціації технологічних процесів і концентрації операцій

4.3.1 Диференціація технологічних процесів

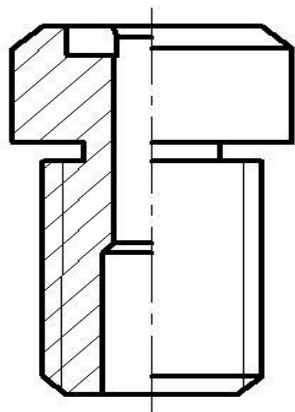
Як було сказано раніше, технологічний процес складається з окремих елементів – операцій, виконуваних цільовими механізмами робочих і холостих ходів. Диференціація холостих ходів полягає саме в тому, що процес розчленовується на операції, виконувані на різних робочих позиціях машини або

лінії, через які послідовно проходить оброблювана заготовка, поки повністю не буде обробленою.

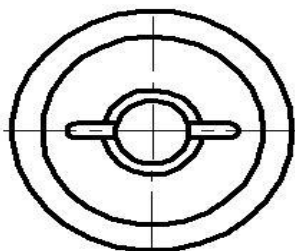
При диференціації ТП розчленовується, насамперед, на складові операції, тому обсяг обробки, що виконується кожним конкретним механізмом, може бути різним. Складова робоча операція – це частина ТП, яка може бути виконана одним цільовим механізмом і одним інструментом у відповідності з вимогами якості.

Наприклад, для деталі, показаної на рис. 4.8, складовими операціями будуть: обточування, прорізання канавки, зняття фасок, свердління, нарізування різьби, накатка та прорізання шліца.

Кількість складових операцій і визначає технологічний комплект інструментів, а також кількість робочих механізмів, які повинні бути в наявності для здійснення процесу обробки.



Теоретично весь обсяг роботи можна ділити на будь-яку кількість частин, кожна з яких буде виконуватися на окремих робочих позиціях, наприклад, на однопозиційних операційних машинах. Для конкретних деталей не завжди є можливість диференціювати ТП на будь-яке число рівновеликих операцій, однак до цього слід прагнути.



Якщо процес диференціації обмежити поділом на складові операції, то для здійснення всього процесу будуть необхідні технологічно мінімальний комплект інструменту і система послідовно розташованих однопозиційних машин. При чому їх число повинно дорівнювати числу складових операцій.

Рисунок 4.8 – Оброблювана деталь

Якщо процес диференціації процесу обробки продовжити далі, розділяючи його на більш елементарні частини, то процес обробки навіть у межах однієї операції стає дискретним, вимагаючи одночасно додаткової кількості

однойменних інструментів, які виконують вже не складну операцію, а тільки її частину – з неминучими перервами в обробці однієї деталі.

Так, якщо виконується операція свердління отвору на всю глибину, то це означає виконання складової операції одним інструментом. Якщо дробити шлях інструменту на більш елементарні частини (кілька елементарних однопрохідних операцій), то буде потрібно не один інструмент, а кілька однотипних. При цьому комплект інструментів зростає порівняно з технологічно необхідним. До такого дроблення вдаються, щоб зробити всі операції в часі рівновеликими і сумірними.

Аналізуючи, згідно з кресленням, заданий обсяг роботи у відповідності з вибраними методами обробки, можна визначити послідовність і кількість складових операцій. Знаючи необхідний комплект інструментів і цільові механізми, які повинні нести ці інструменти, можна встановити тривалість виконання кожної складової операції і технологічну продуктивність K_0 .

Можливі наступні варіанти реалізації ТП.

Перший варіант – якщо обсяг обробки не диференціювати, а всі складові операції зосередити в однопозиційній багатоінструментальній машині (рис. 4.9, а), то така машина повинна мати один мінімальний технологічний комплект інструментів і робочих органів, які несуть ці інструменти. Якщо це машина-автомат, то вона, крім того, повинна мати всі механізми для виконання холостих операцій. У цьому випадку час отримання готової деталі (t_{po}) складається приблизно з суми часів виконання кожної складової операції з урахуванням часу холостих операцій.

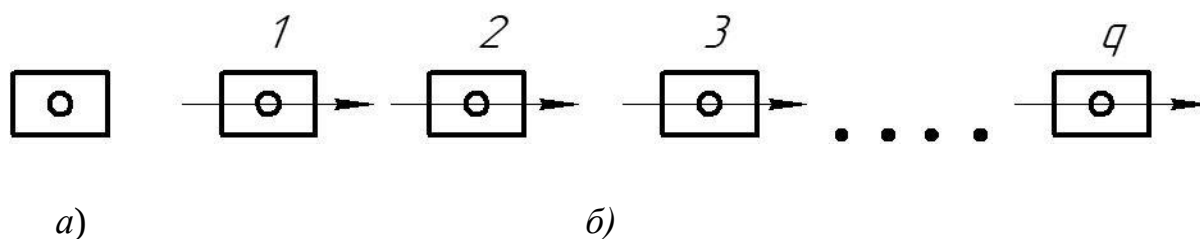


Рисунок 4.9 – Варіанти структури робочих машин

Можливе також часткове або повне суміщення окремих операцій у часі (перша ступінь концентрації). Однак ступінь такого суміщення зазвичай невелика і обмежується як технологічними (не можна одночасно свердлити отвір і нарізати в ньому різьбу), так і конструктивними факторами (міцність і жорсткість заготовки, зайнятість робочої зони і т. д.).

Другий варіант – послідовне виконання диференційованого ТП – складових або роздроблених операцій на групі одноопераційних верстатів (див. рис. 4.9, б) – забезпечує повний обсяг обробки за час, рівний часу однієї найдовшої операції, що виконується конкретним верстатом. При цьому в обробці одночасно знаходиться число заготовок, рівне числу операцій, тобто числу операційних верстатів, і готові вироби видаються через проміжок часу, рівний робочому циклу одно позиційної машини. Диференціюючи загальний обсяг обробки в різній мірі, тобто варіюючи кількість послідовних позицій обробки q , отримаємо різну тривалість обробки на одній позиції t_p , а отже, різну технологічну продуктивність K . Якщо можливо диференціювати весь обсяг обробки на рівні частини, то

$$t_p = \frac{t_{p0}}{q} = \frac{\sum t_{pi}}{q}; \quad K = K_0 q. \quad (4.22)$$

Реальні ТП механічної обробки, як правило, важко рівномірно диференціювати на складові або більш дрібні операції. Крім того, технологічно не завжди можливо розчленувати ТП на будь-яке число частин q , зазвичай існує мінімальне і максимальне число q . Тим не менш, диференціація дозволяє мати безліч варіантів побудови ТП при тих же самих способах і маршрутах обробки.

4.3.2 Концентрація операцій

Наступним важливим етапом розвитку технології і техніки є застосування другого ступеня концентрації операцій, яка полягає в тому, що окремі операції,

що виконуються так само одночасно, як і в групі однопозиційних машин, концентруються в одній машині.

При цьому в одній машині можуть концентруватися однойменні операції на p числі позицій багатопозиційної машини, які будуть виконуватися одночасно. Прикладом може бути обробка отворів деталі (рис. 4.10, а) на багатопозиційній машині (рис. 4.10, б).

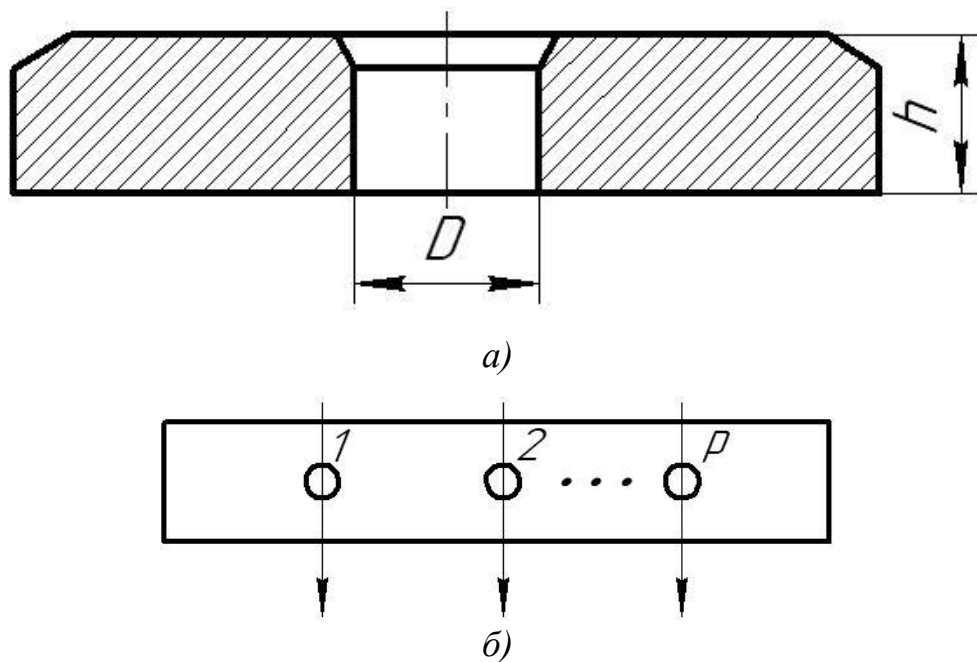


Рисунок 4.10 – Приклад концентрації однойменної операції (свердління отвору) на p числі позицій багатопозиційної машини

Продуктивність обробки в порівнянні з одноінструментальною обробкою однієї поверхні (K_0) зростає у p разів

$$K_p = K_0 p, \quad (4.23)$$

де K_p – технологічна продуктивність концентрованої операції.

Найбільш характерними для машинної технології є складні технологічні процеси, в структуру яких входять різні види обробки. Для таких процесів

концентрація операцій виражається в зосередженні в одній машині послідовно виконуваних різнорідних операцій диференційованого ТП. При цьому один технологічний комплект інструментів, який необхідний в машині, розосереджений по позиціях як у групі однопозиційних машин, що працюють послідовно. У цьому випадку тривалість робочого циклу машини визначається тривалістю самої тривалої операції, а також холостими ходами циклу – орієнтацією, подачею, затиском, транспортуванням заготовок з позиції на позицію.

Концентруючи в машині різнорідні операції при рівномірній диференціації ТП, можна домогтися збільшення технологічної продуктивності в q разів.

$$K_q = K_0 q. \quad (4.24)$$

Концентруючи в одній машині різнорідні і однорідні операції, які виконуються послідовно та паралельно, можна різко скоротити тривалість протікання робочих ходів, при цьому буде виконуватися одночасно pq однакових операцій. Якщо ТП можливо диференціювати рівномірно, як у межах однієї робочої позиції, так і у паралельних позиціях, з урахуванням багато інструментальної обробки, можна одержати наступний рівень технологічної продуктивності

$$K_{p,q,u} = K_0 U p q. \quad (4.25)$$

З урахуванням всіх шляхів інтенсифікації технологічної продуктивності отримаємо наступне її значення

$$K_{x,u,p,q} = K_0 x U p q, \quad (4.26)$$

де x – коефіцієнт інтенсифікації.

Таким чином, диференціація ТП і концентрація операцій є одним з основних принципів побудови ТП автоматизованого виробництва.

4.4 Агрегатування робочих машин. Методи і види агрегатування

4.4.1 Вихідні положення теорії агрегатування

Існують наступні структурні варіанти реалізації ТП в залежності від забезпечення необхідного рівня продуктивності обробки.

а) Однопозиційна робоча машина (найпростіший варіант реалізації ТП), на якій частково або повністю здійснюється ТП обробки, складання чи контролю (див. рис. 4.9, *a*).

Для виконання заданого технологічного впливу однопозиційна машина повинна мати мінімально необхідний комплект механізмів робочих і холостих ходів, комплект інструментів і т. д. І хоча в однопозиційних машинах можливе суміщення деяких операцій (наприклад, одночасна обробка з різних поперечних супортів у револьверних автоматах), їх відмінна риса – послідовне використання всіх інструментів технологічного комплекту. В результаті – загальний час робочого ходу визначається сумарною тривалістю всіх несумісних операцій. На таких машинах ведеться обробка деталей при невисоких вимогах до продуктивності.

б) Підвищення вимог до продуктивності призводить до диференціації ТП на окремі операції, які виконуються на одно позиційних машинах, кожна з яких реалізує, як правило, одну складову і поєднані з нею операції, допустимі конструкцією деталі.

Тим самим формується технологічний ланцюжок, що складається з q однопозиційних машин (див. рис. 4.9, *б*). На всіх верстатах обробка відбувається одночасно або зі зсувом по фазі: заготовка послідовно переходить від верстата до верстата, отримуючи поступово весь обсяг технологічного впливу. Тим самим досягається істотне підвищення продуктивності, так як інтервал випуску

дорівнює тривалості однієї, найтривалішої, складової операції обробки плюс час холостих ходів на завантаження заготовок, затискання, підведення інструментів.

в) Подальше зростання вимог до продуктивності призводить до того, що один технологічний ланцюжок машин з диференційованим ТП вже не в змозі забезпечити виробничу програму, звідси поява машин-дублерів, які представляють p технологічних потоків з q машин (рис. 4.11).

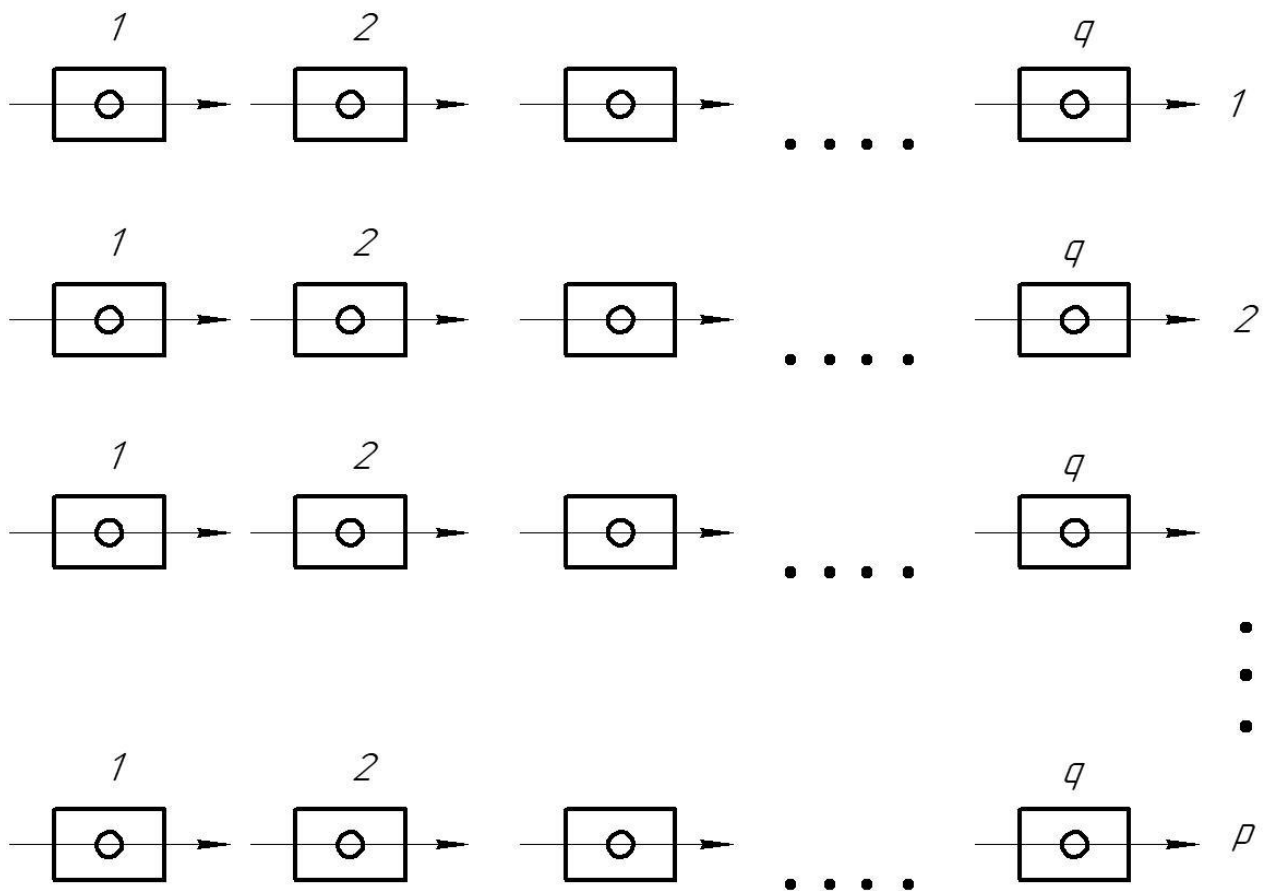


Рисунок 4.11 – Схема реалізації диференційованого на q позиціях ТП обробки p потоками

Продуктивність обробки може бути збільшена за рахунок реалізації ТП на багатопозиційних машинах, що виконують весь диференційований ТП, концентрований на цих машинах. При цьому кількість механізмів у машинах неминуче збільшується порівняно з однопозиційною машиною. Якщо при

диференціації ТП дробляться і складові операції (наприклад, довжина обробки однієї поверхні розподіляється між двома інструментами), то збільшується і число інструментів. Такі машини називаються агрегатованими.

Таким чином, агрегатованими машинами називаються будь-які багатопозиційні машини з концентрацією операцій і кількістю механізмів та інструментів більшим, ніж технологічно необхідний комплект. Створення багатопозиційних агрегатованих машин може виконуватися шляхом компонування їх з нормалізованих механізмів і вузлів.

Металорізальні верстати, скомпоновані з нормалізованих вузлів, у першу чергу з агрегатних силових головок, отримали назву агрегатних верстатів. Агрегатні верстати бувають одно- і багатопозиційними.

Вищою формою агрегатованих машин є автоматичні лінії.

Закони агрегатування робочих машин – це закони їх побудови, вибору основних параметрів, у першу чергу – виду агрегатування (послідовного, паралельного або змішаного) і кількості робочих позицій в машині. Основна мета створення агрегатованих машин – підвищення продуктивності в порівнянні з одно позиційними, що здійснюють аналогічні ТП обробки, контролю, складання. Тому закони агрегатування робочих машин – це, в першу чергу, закономірності зміни продуктивності машин у залежності від характеру ТП та його надійності, виду агрегатування і кількості робочих позицій. Розуміння цих взаємозв'язків дозволяє проводити аналіз і синтез багатопозиційних машин на науковій основі, розкривати закономірності їх розвитку і вдосконалення, вибирати оптимальні параметри при проектуванні.

4.4.2 Види агрегатування робочих машин

Розрізняють машини послідовного, паралельного та послідовно-паралельного (або змішаного) агрегатування.

Машини послідовної дії (послідовного агрегатування) концентрують різноманітні операції обробки, контролю, складання, які послідовно виконуються на одному виробі (рис. 4.12).

Якщо складові операції не диференційовані, то машина послідовного агрегатування має технологічно необхідний комплект інструментів, розосереджений по робочих позиціях у порядку, заданому технологічним маршрутом обробки виробу. Обробка на всіх позиціях відбувається одночасно, після чого слідує холості ходи (переміщення заготовок у наступну позицію, подача нової заготовки на першу позицію, розтиск оброблених заготовок і затиск наступних, підведення і відведення супортів з інструментами або силових головок і т. д.).

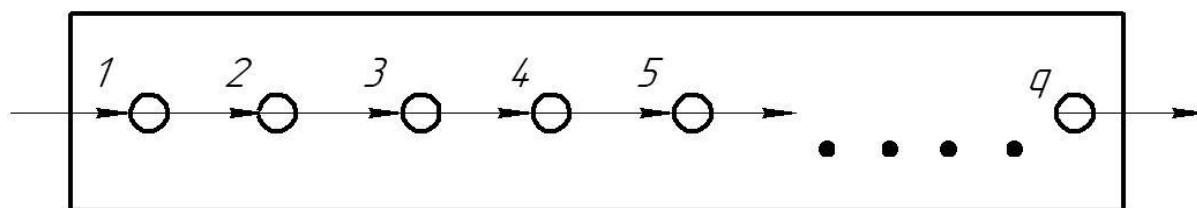


Рисунок 4.12 – Схема машини послідовної дії

У машині послідовного агрегатування заготовка проходить послідовно через усі робочі позиції, які є стаціонарними. Обробка забезпечується відносним рухом інструментів. Тривалість робочого циклу $T_{\text{ц}}$ визначається інтервалом спрацювання основних механізмів (супортів, механізмів повороту і фіксації столів і т. д.).

$$T_{\text{ц}} = t_{p_{\text{imax}}} + t_x,$$

де t_x – час холостих операцій, що не перекривається машинним.

Час циклу дорівнює інтервалу випуску однієї деталі, тобто

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{вип.}}$$

Машини паралельної дії (паралельного агрегування) концентрують однойменні операції обробки, контролю, складання, як правило, одну складну операцію і поєднані з нею (рис. 4.13, а).

У машинах є p комплектів механізмів та інструментів, кожний з яких обслуговує одну робочу позицію і конструктивно з нею пов'язаний. Так як у кожній позиції зазвичай виконується одна операція диференційованого ТП, то вона має один механізм робочого ходу (супорт, інструментальний блок тощо).

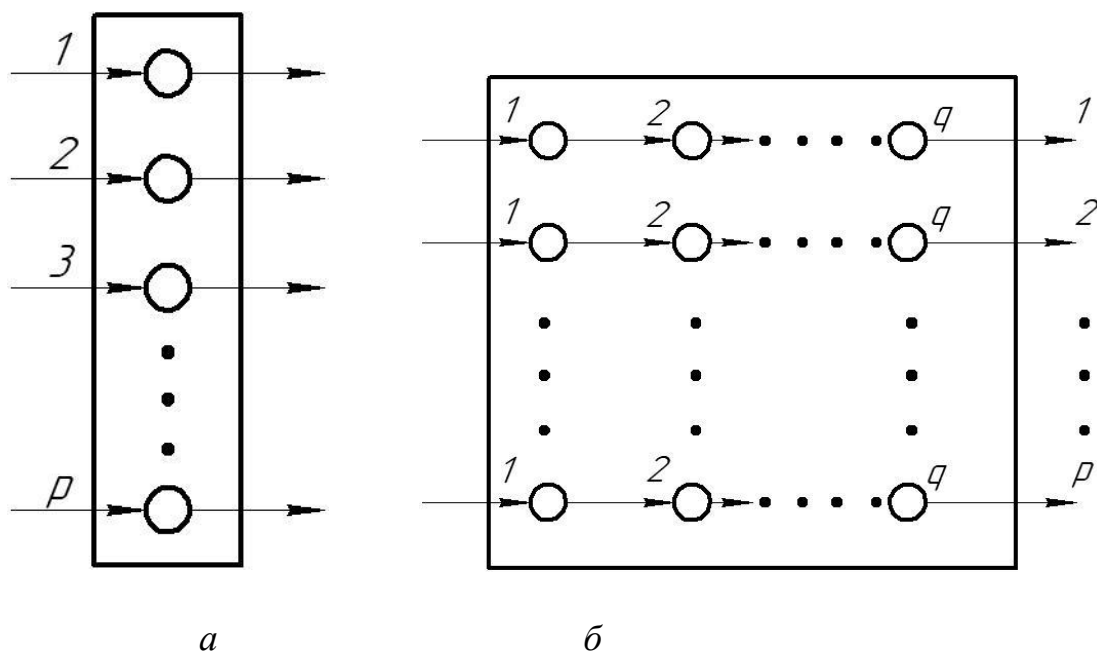


Рисунок 4.13 - Схеми машин паралельного (а) і змішаного (б) агрегування

У найпростішому варіанті обробка на всіх позиціях машини паралельної дії відбувається одночасно. Спочатку йдуть загальні холості ходи робочого циклу, а потім одночасно обробка на всіх позиціях з часом t_p . Разом за час, який дорівнює тривалості робочого циклу, випускається p штук готової продукції, тобто $T_{\text{ц}} = t_p + t_x$; $T_{\text{вип}} = \frac{T_{\text{ц}}}{p}$.

У найпростішому випадку на всіх p робочих позиціях машини паралельної дії концентруються однакові операції обробки однакових об'єктів. Ці машини

використовуються зазвичай для реалізації простих ТП, які немає сенсу диференціювати, але необхідно різко інтенсифікувати.

Машини змішаного агрегатування. Характерна ознака – концентрація різнойменних і однойменних операцій. У кожному з p потоків деталей проходить обробку на послідовних позиціях (див. рис. 4.13, б).

Машини змішаного агрегатування застосовуються при складних ТП обробки і великій виробничій програмі.

4.5 Види продуктивності робочих машин

4.5.1 Циклова і технологічна продуктивності

Продуктивністю робочої машини називається кількість обробленого продукту в одиницю часу. Для того, щоб оцінити продуктивність будь-якої робочої машини, необхідно кількість випущеної продукції віднести до відрізка часу, за який ця продукція вироблена.

Час циклу обробки $T_{\text{ц}}$, тобто час, протягом якого виготовляється одна деталь або певна порція продукції, визначається за формулою

$$T_{\text{ц}} = t_p + t_x, \quad (4.27)$$

де t_p – час, що витрачається на робочі ходи, тобто безпосередньо на обробку даної деталі; t_x – час, що витрачається на холості ходи при виконанні всього циклу обробки деталі, тобто циклові втрати часу (підвід і відвід інструмента, подача заготовок, включення окремих механізмів і т. д.).

Періодом робочого циклу називається проміжок часу, протягом якого здійснюються всі робочі і холості рухи робочого циклу машини. Знаючи період

робочого циклу, легко визначити частоту його повторення, тобто циклову продуктивність робочої машини.

Так, якщо за період робочого циклу машина виробила одиницю продукції, то циклова продуктивність машини дорівнює

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{1}{t_p + t_x}. \quad (4.28)$$

Якщо в машині відсутні холості ходи ($t_x=0$), то $T_{\text{ц}} = t_p$ і технологічний процес здійснюється безперервно, то тоді циклова продуктивність дорівнює

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p} = K, \text{ шт./хв.} \quad (4.29)$$

Тут K – технологічна продуктивність робочої машини, тобто кількість деталей, оброблюваних в одиницю часу за умови безперебійної роботи машини, тобто при повному використанні можливостей реалізації ТП (наприклад, використання безцентрово-шліфувального верстату, автоматів безперервного протягування тощо). Однак у більшості випадків при проектуванні машин, автоматичних ліній конструктивно не вдається повністю поєднати холості ходи з обробкою.

Підставляючи з формули (4.29) значення $t_p = \frac{1}{K}$ у формулу (4.28), отримаємо

$$Q_{\text{ц}} = \frac{K}{K t_x + 1} = K\eta, \text{ шт./хв.} \quad (4.30)$$

Тобто, продуктивність робочої машини являє собою множення технологічної продуктивності на коефіцієнт продуктивності η . В свою чергу

$$\eta = \frac{Q_{ц}}{K} = \frac{1}{K t_x + 1}. \quad (4.31)$$

Коефіцієнт продуктивності характеризує ступінь безперервності процесу і використання машини у часі. Нехай теоретично на цьому верстаті можна випустити 10 дет./хв, тобто $K=10$ шт./хв, насправді – тільки 4 ($Q_{ц}=4$ шт./хв). Тоді

$$\eta = \frac{Q_{ц}}{K} = \frac{4}{10}=0,4, \text{ тобто на даному верстаті лише 40\% часу витрачається на}$$

власне обробку деталі, а 60% часу займають різні холості (допоміжні) ходи.

4.5.2 Фактична продуктивність

Якщо визначити продуктивність робочої машини за тривалий проміжок часу шляхом ділення кількості випущеної продукції за будь-який календарний відрізок часу на його тривалість, то ця фактична продуктивність ($Q_{ф}$) виявиться нижче циклової. Причина – крім циклових втрат часу t_x при роботі машини мають місце і позациклові втрати часу t_n , які також призводять до зниження продуктивності машини.

З урахуванням цього фактична продуктивність машини може бути знайденою за формулою

$$Q_{ф} = \frac{1}{t_p + t_x + t_n}. \quad (4.32)$$

4.5.3 Структура втрат

З точки зору забезпечення продуктивності будь-який час, протягом якого не відбувається обробка, вважається втраченим, оскільки призводить до зменшення фактичної продуктивності. Тому час холостих ходів і позациклові втрати в рівній мірі вважаються витратами часу.

Втрати можуть бути наступних видів.

Циклові втрати – втрати I виду: це час на подачу матеріалу (заготовок), транспортування об'єкта виробництва з позиції в позицію; фіксація, затиск і розтиск заготовки; підведення і відведення робочих органів верстата; переключення окремих механізмів і т. д., тобто час на всі несумісні холості ходи робочого циклу.

Позациклові втрати:

- втрати II виду (втрати по інструменту) – час на зміну, установку і регулювання інструментів; очікування наладчиків; ходіння за інструментом; час на часткову заточку, правку інструменту і т. д.;

- втрати III виду (втрати по обладнанню) – час на регулювання і ремонт механізмів машини; очікування ремонтного майстра; отримання запасних частин; очікування виготовлення деталей, необхідних для ремонту, і т. д.;

- втрати IV виду (втрати з організаційно-технічних причин) – час на періодичну заправку матеріалу; прибирання відходів; здачу готових деталей і отримання заготовок; переговори по роботі; здачу зміни; відсутність заготовок; відсутність робочих і т. д.;

- втрати V виду (втрати по браку) – час, пов'язаний з браком виробів при налагодженні машини; браком внаслідок порушення налаштування верстату; браком матеріалу, виявленим після перших операцій і т. д.;

- втрати VI виду (втрати, пов'язані з переходом на випуск іншої продукції) – час на переналагодження верстату; заміну пристосувань та інструментів; кінематичне налаштування; час на зміну програмоносія і т. д.

Всі позациклові втрати можна розділити на дві категорії:

- втрати, викликані технічними причинами, які прямо або побічно пов'язані з конструкцією і режимом роботи верстату, тобто власні позациклові втрати. До них відносяться наперед за все втрати по інструменту і регулюванню механізмів і пристроїв верстату при виході їх з ладу при виконанні операції і т. д.;

- втрати, викликані зовнішніми організаційними чи технічними причинами – організаційно-технічні втрати. До них відносяться: відсутність заготовок,

несвоєчасний прихід і відхід робочого; брак попередніх операцій, виявлений при обробці і т. д.

4.5.4 Технічна продуктивність робочої машини

Якщо фактична продуктивність робочої машини – це продуктивність реальної машини в реальних умовах експлуатації з урахуванням всіх втрат, то технічна продуктивність $Q_T = Q$ – це продуктивність реальної машини за умови забезпечення її всім необхідним з урахуванням лише власних втрат.

$$Q_T = Q = \frac{1}{t_p + t_x + t_{n.вл.}} = \frac{1}{t_p + t_x + t_e + \sum C_i}, \quad (4.33)$$

де t_e – власні позациклові втрати по обладнанню, можна вважати, що $t_e \approx (0,1 \dots 0,3) t_p$;

$\sum C_i$ – власні позациклові втрати по інструменту.

$$\sum C_i = \sum \frac{t_{pi} (t_{змі} + t_{зі})}{T_{ui}}, \quad (4.34)$$

де t_{pi} – машинний час виконання i -ої операції конкретним інструментом, хв; T_{ui} – стійкість i -го інструменту, хв; $t_{змі}$ – середня тривалість простоїв із-за випадкових поломок i -го інструменту, яка припадає на період його стійкості; $t_{зі}$ – час, необхідний на заміну i -го інструменту при його зносі.

Продуктивність машини з урахуванням власних втрат (технічна продуктивність) визначиться наступним чином

$$Q_T = Q = Q_{ц} \eta_{тех} = K \eta \eta_{тех}, \quad (4.35)$$

де $\eta_{\text{тех}}$ – коефіцієнт технічного використання, який визначається з урахуванням тільки власних втрат.

$$\eta_{\text{тех}} = \frac{Q_T}{Q_{\text{ц}}} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{\text{вл}}}, \quad (4.36)$$

де θ_p – сумарний час безперервної роботи машини; $\sum \theta_{\text{вл}}$ – власні простой машини за час роботи.

Значення $\eta_{\text{тех}}$ показує, яку частку часу буде працювати машина за умови забезпечення її всім необхідним. Так, наприклад, $\eta_{\text{тех}} = 0,85$ означає, що якщо машина буде повністю забезпечена заготовками, інструментом, електроенергією, персоналом і т.д., то в середньому вона буде 85% часу працювати, а 15% часу піде на усунення технічних неполадок, що виникають при її роботі і пов'язані з інструментами і механізмами. Таким чином, коефіцієнт технічного використання характеризує, перш за все, довговічність і надійність механізмів та інструментів, стабільність ТП і т. д.

Диференціація ТП дозволяє скоротити тривалість робочого циклу і інтервал випуску деталей. Однак при концентрації операцій диференційованого ТП в машині або системі машин зростають позациклові втрати з обладнання та інструменту (втрати II і III видів). Тому визначення оптимального ступеня диференціації і концентрації операцій ТП по критерію максимуму продуктивності є найважливішим завданням при створенні агрегатованих машин.

4.6 Визначення оптимального ступеня диференціації і концентрації операцій, виходячи із забезпечення максимуму продуктивності обладнання

4.6.1 Вихідні положення рішення задачі оптимізації

Задача оптимізації зводиться до визначення оптимальних значень параметрів $q_{\text{опт}}$, $p_{\text{опт}}$, що забезпечують максимальну продуктивність робочої машини або автоматичної лінії

$$\max Q = f(q, p) \quad (4.37)$$

при наявності обмежень:

$$q_{min} \leq q_{opt} \leq q_{max}; \quad p_{min} \leq p_{opt} \leq p_{max}.$$

Тут q_{min} – мінімально можливе з точки зору реалізації ТП число робочих позицій машини або лінії, на яких, в основному, виконується тільки одна операція з числа не суміщених;

q_{max} – максимальне можливе число робочих позицій в машині або лінії, отримане за рахунок диференціації лімітуючих у часі операцій, обмежене вимогами за критерієм якості обробки (точності та якості оброблюваних поверхонь).

У якості прикладу. Якщо ТП реалізується в потокових лініях з однопозиційних верстатів (потокова лінія – верстати, розставлені згідно з маршрутом обробки, але не об'єднані єдиною транспортною системою і системою керування, тобто працюють незалежно один від одного), така система з диференційованим ТП повинна складатися, принаймні, з S верстатів (рис. 4.14, а).

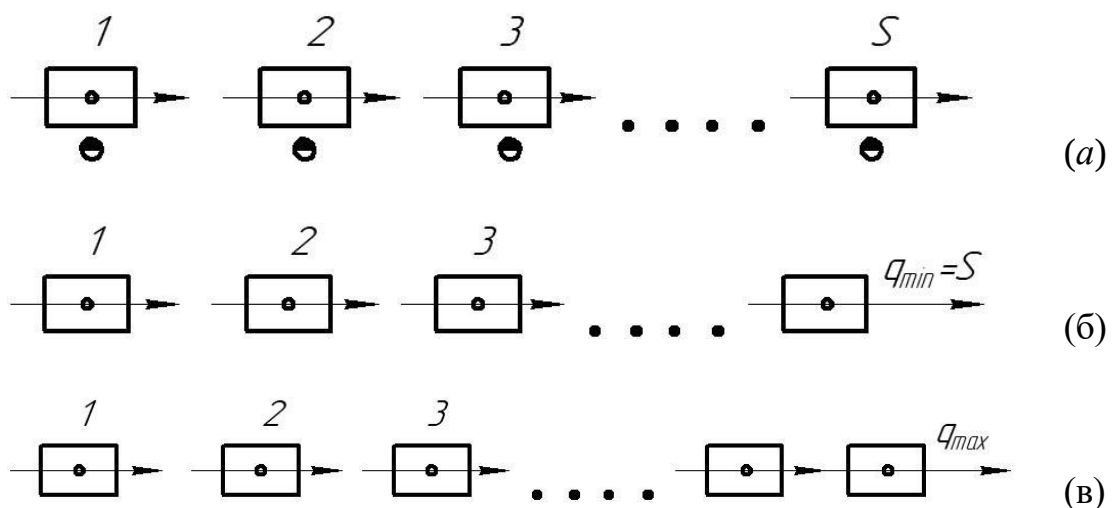


Рисунок 4.14 – Системи машин для виконання диференційованих ТП обробки

В автоматичних лініях або багатопозиційних машинах, завдяки єдиним транспортній системі і системі керування відбуваються не тільки диференціація загального обсягу обробки по робочих позиціях, але й їх об'єднання – концентрація операцій. Найпростіший варіант побудови автоматизованого варіанту виробництва – автоматична лінія з жорстким між агрегатним зв'язком і числом позицій q_{min} , відповідним числу послідовних не суміщених операцій обробки S (див. рис. 4.14, б).

При необхідності збільшення числа робочих позицій понад технологічно необхідного мінімуму досягається диференціацією лімітуючих у часі операцій, наприклад, дробленням довжини обробки при точінні, свердлінні, фрезеруванні тощо.

Однак можливості такої диференціації не безмежні із-за технологічних обмежень дроблення операцій, головним чином, за критерієм якості і точності обробки. Так, не підлягають дробленню за довжиною операції чистового розточування та фрезерування, шліфування, нарізування різі і т. д. Тому завжди існує максимально можлива кількість частин, на яку можна розбити ТП з метою підвищення продуктивності, а, отже, і максимальна кількість робочих позицій q_{max} (див. рис. 4.14, в).

Тому математична залежність продуктивності від числа позицій $Q = f(q)$ має фізичний сенс в межах $q_{min} \leq q \leq q_{max}$.

Розглянемо залежність продуктивності багатопозиційних машин і автоматичних ліній від ступеня диференціації і концентрації ТП. При цьому будемо виходити з порівняння їх з групою з q самостійно працюючих однопозиційних машин, що виконують диференційований на q частин процес.

Вихідні умови порівняння

1. При однаковому ступені диференціації кількість позицій у автоматичній лінії або багатопозиційній (агрегатованій) машині дорівнює кількості верстатів потокової лінії.

2. Всі верстати потокової лінії (групи верстатів) мають між операційні заділи і в результаті чого можуть працювати незалежно один від одного; зупинка будь-якого верстата не викликає зупинення інших верстатів. Усі верстати автоматичної лінії зблоковані, і тому вихід з ладу однієї позиції викликає зупинку всієї лінії.

3. Диференціація ТП здійснюється рівномірною за часом розбивкою по операціях, хоча на практиці неминучі відхилення від зазначеного «ідеального» розбиття.

Продуктивність групи незалежно працюючих машин одного технологічного потоку становить

$$Q_{\text{гр}} = \frac{1}{t_p + t_x + t_{n.\text{вл.}i}}, \quad (4.38)$$

де t_p – час робочого ходу; t_x – час холостого ходу; $t_{n.\text{вл.}i} = C_i + t_{e_i}$ – власні поза циклові втрати однієї машини.

Час робочого ходу машини

$$t_p = \frac{1}{K} = \frac{1}{q K_0}, \quad (4.39)$$

де K – технологічна продуктивність однієї машини; K_0 – технологічна продуктивність всього процесу до його дроблення; q – кількість послідовно розташованих машин (позицій), на які диференційований ТП.

4.6.2 Оптимізація для умов послідовного агрегування

Для верстатів, пов'язаних в автоматичну лінію, в силу впливу позациклових втрат одного агрегату на всі інші, технічна продуктивність виразиться формулою

$$Q_q = \frac{1}{t_p + t_x + q \cdot t_{n.cp_i}}, \quad (4.40)$$

де $t_{n.cp_i}$ – усереднені власні поза циклові втрати позиції автоматизованих машини або лінії (втрати по інструменту і обладнанню).

Розглянемо, як залежать всі елементи витрат часу від числа позицій.

Час робочих ходів циклу t_p тим менший, чим на більшу кількість частин диференційований ТП. Якщо загальна тривалість послідовно виконуваних основних (несуміщених) операцій обробки виробів становить t_{p_0} , то при рівномірній диференціації час обробки на кожній позиції дорівнює $t_p = \frac{t_{p_0}}{q}$.

При нерівномірній диференціації час робочого ходу на лінії або у багатопозиційній машині дорівнює часу самої тривалої операції обробки $t_p = t_{p_{imax}}$.

Час холостих ходів циклу t_x , як правило, від кількості робочих позицій не залежить. Так, наприклад, холості ходи циклу включають до себе час між верстатного або між позиційного транспортування виробів, їх встановлення на робочих позиціях, швидкого відведення і підведення супортів з інструментом і силових головок. Увесь цей час залежить від величини холостих переміщень і їх швидкості, а не від тривалості обробки. Тому при розрахунках можна приймати, що $t_x = const$.

Власні усереднені позациклові втрати $t_{n.c_i}$. Вони складаються з суми усереднених втрат по інструменту і обладнанню відносно кожної i -ої позиції машини або лінії

$$t_{n.cp_i} = C_{cp_i} + t_{еср_i}.$$

Зміна ступеня диференціації і концентрації операцій впливає на величину цих втрат. Для повного виконання всіх складових операцій технологічна система, що виконує цей ТП, повинна мати повний комплект інструментів для всіх основних і поєднаних операцій. Диференціація ТП на частини з урахуванням прагнення зрівняти в часі обробку на складових операціях часто призводить до збільшення комплекту інструментів проти мінімально необхідного (особливо, якщо ТП реалізується на автоматичній лінії). Втрати по одному інструменту визначаються як

$$C_j = \frac{t_{pj} \cdot (t_{3mj} + t_{3j})}{T_{uj}}, \quad (4.41)$$

де t_{pj} – машинний час участі j -го інструмента в обробці одного виробу; T_{uj} – період стійкості j -го інструмента; t_{3mj} – середня тривалість простоїв із-за випадкових поломок j -го інструмента, яка припадає на період стійкості; t_{3j} – час, необхідний на заміну j -го інструмента при його зносі.

Значення t_{3mj} і t_{3j} для різних інструментів різні і вибираються з відповідних довідкових таблиць, які сформовані на підставі результатів досліджень за станом аналогічних інструментів в експлуатаційних умовах.

Так як в автоматичній лінії з жорстким міжагрегатним зв'язком будь-яка відмова інструменту викликає простій всіх агрегатів лінії незалежно від розташування інструментів, сумарні втрати по інструменту $\sum C_j$, що припадають на один виріб, становлять

$$\sum C_j = C_1 + C_1 + \dots + C_n = \sum_{j=1}^n \frac{t_{pj} \cdot (t_{3mj} + t_{3j})}{T_{uj}}.$$

Номер формули не потрібен?

Можна умовно прийняти, що сумарні втрати по інструменту рівні

$$\sum C_j = C_{cp_i} \cdot q, \quad (4.42)$$

де C_{cp_i} – усереднені втрати по інструменту, що припадають на одну умовну i -ту складову операцію.

C_{cp_i} можна визначити так. Для всіх складових операцій розраховуються втрати по інструменту, потім отримані дані підсумовуються і діляться на кількість складових операцій, на яких був реалізований диференційований ТП.

Позациклові втрати по обладнанню t_e функціонально залежать від числа позицій q , так як з ростом кількості позицій загальна кількість однойменних механізмів і пристроїв у лінії або багатопозиційній машині збільшується і вірогідно збільшуються втрати часу, пов'язані з виходом їх з ладу. Кожна робоча позиція зазвичай має повний необхідний комплект механізмів і пристроїв, що забезпечують виконання робочої операції. Такими пристроями є: вузол подачі та затиску заготовки; шпиндельний блок із механізмом фіксації і приводом обертання; вузол поперечного і поздовжнього супортів; гідро- та електрообладнання; силові головки; системи охолодження, транспортування стружки і т. д. Якщо позначити позациклові втрати одногопозиційного комплексу механізмів t_{e_i} , то втрати по обладнанню всієї лінії або багатопозиційної машини t_e будуть дорівнювати

$$t_e = t_{e_1} + t_{e_2} + t_{e_3} + \dots + t_{e_q} = \sum_{i=1}^q t_{e_i}. \quad (4.43)$$

Така залежність справедлива для будь-якої системи (лінії або багатопозиційної машини) з жорстким міжагрегатним зв'язком, так як відмова будь-якого механізму або пристрою призводить до простою всієї системи. У найпростішому випадку, коли втрати всіх позицій рівновеликі, сумарні втрати по обладнанню становлять

$$t_e = t_{ecp_i} \cdot q. \quad (4.44)$$

Підставляючи всі функціональні параметри в загальну формулу продуктивності (4.40), отримуємо функціональну залежність технічної продуктивності для верстатів, пов'язаних у лінію з жорстким зв'язком, від числа робочих позицій

$$Q_q = \frac{1}{t_p + t_x + q \cdot t_{n.cpi}} = \frac{1}{t_p + t_x + q \cdot (C_{cpi} + t_{ecp_i})}. \quad (4.45)$$

Розділивши чисельник і знаменник у формулах (4.45) і (4.38) на t_p і замінивши $\frac{1}{t_p} = qK_0$, отримаємо значення технічної продуктивності для групи однопозиційних машин

$$Q_{гр} = \frac{K_0 \cdot q}{1 + K_0 \cdot q \cdot (t_x + t_{n.cpi})}; \quad (4.46)$$

для машин або автоматичних ліній послідовного агрегування з жорстким міжагрегатним зв'язком

$$Q_q = \frac{K_0 \cdot q}{1 + K_0 \cdot q \cdot t_x + K_0 \cdot q^2 \cdot t_{n.cpi}} = \frac{K_0 \cdot q}{1 + K_0 \cdot q \cdot t_x + K_0 \cdot q^2 \cdot (C_{cpi} + t_{ecp_i})}. \quad (4.47)$$

Кількість позицій q_{onm} , яка забезпечує максимальну продуктивність у разі послідовного агрегування, можна визначити аналітично, взявши часткову похідну у виразі (4.47) і прирівнявши її до нуля: $\frac{\partial Q_q}{\partial q} = 0$. Тоді

$$q_{onm} = \frac{1}{\sqrt[2]{K_0 \cdot t_{n.cpi}}} = \frac{1}{\sqrt[2]{K_0 (C_{cpi} + t_{ecp_i})}}. \quad (4.48)$$

Формула (4.48) показує, що оптимальна кількість позицій при послідовному агрегуванні визначається тривалістю часу обробки t_{p_0} (до агрегування) і часом позациклових втрат $\cdot t_{n.cp_i}$, який безпосередньо залежить від надійності роботи системи агрегування в цілому.

Розглянемо залежність $Q = f(q)$ для потокової і автоматичної ліній.

Для потокової лінії залежність $Q_{гр} = f(q)$ лінійна, тому

$$Q_{гр} = \frac{K_0 \cdot q}{1 + K_0 \cdot q(t_x + t_{n.cp_i})}, \text{ при } q \rightarrow \infty \quad \lim Q_{гр} = \frac{1}{t_x + t_{n.cp_i}}. \quad (4.49)$$

Графічно наведена залежність представлена на рис. 4.15.

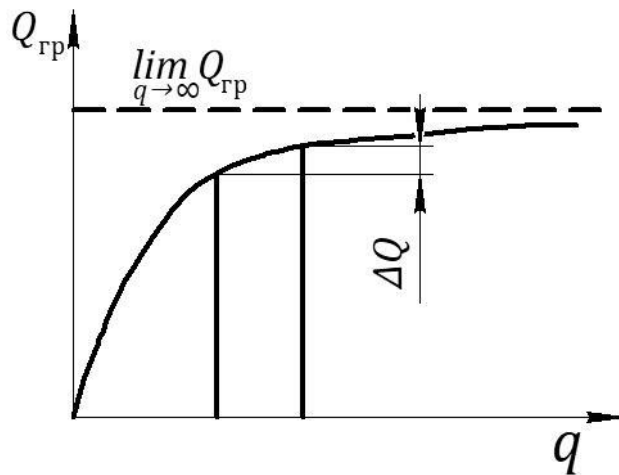


Рисунок 4.15 – Залежність технічної продуктивності від кількості позицій для групи незалежно працюючих машин (потокова лінія)

Для автоматичної лінії послідовної дії залежність $Q_q = f(q)$ нелінійна і має яскраво виражений екстремальний характер (рис. 4.16). Це пов'язано з тим, що збільшення числа позицій, з одного боку, приводить до зростання добутку qK_0 , тобто до зростання технологічної продуктивності системи $K = qK_0$, однак, з іншого боку, супроводжується зростанням поза циклових втрат.

Якщо зіставити ці два чинники, то можна прийти до висновку, що Q_q буде рости зі збільшенням q до тих пір, поки зростання технологічної продуктивності буде випереджати зростання позациклових втрат. Потім при подальшому збільшенні q ($q > q_{ont}$) спостерігається зниження Q_q із-за надмірно збільшеної величини позациклових втрат, пов'язаних зі зростанням кількості позицій лінії або багатопозиційної машини. При чому зменшення позациклових втрат дає можливість збільшення кількості позицій в робочій машині або лінії з одночасним підвищенням її продуктивності.

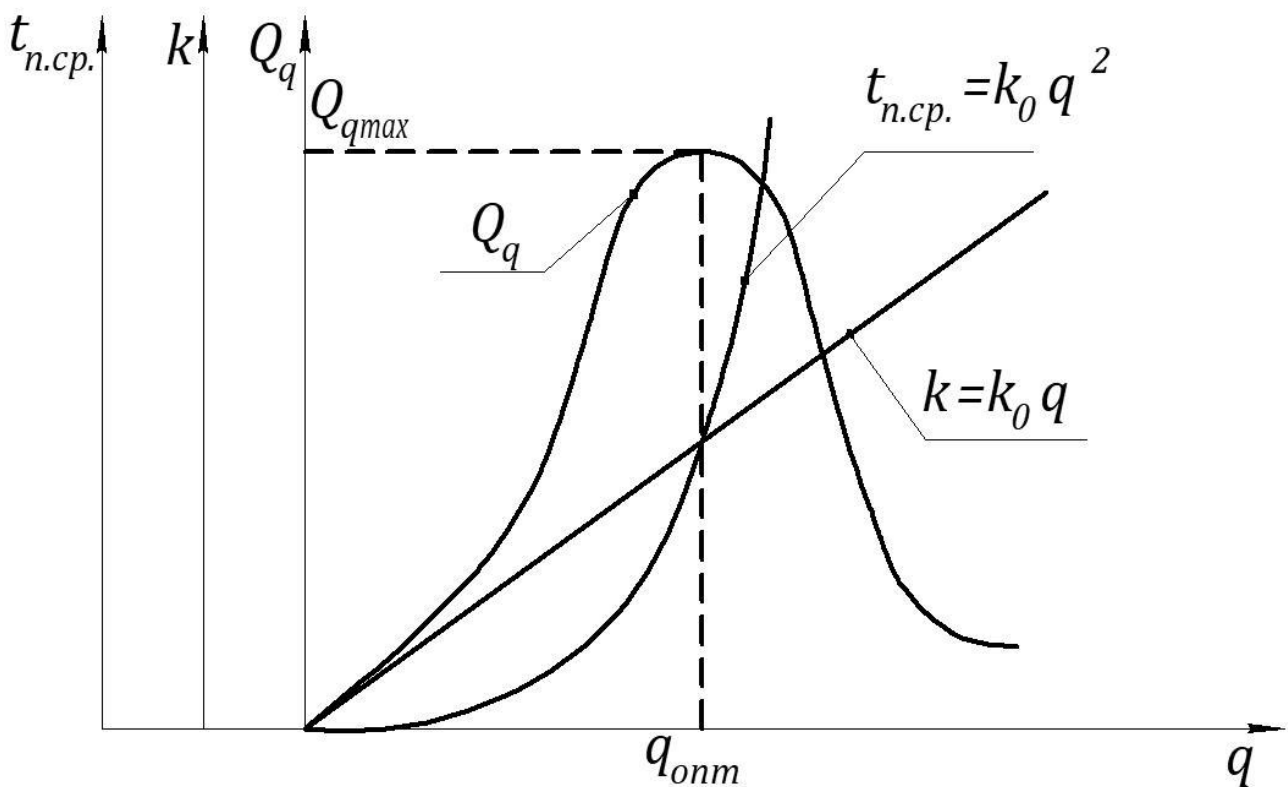


Рисунок 4.16 – Залежність технічної продуктивності від кількості позицій для автоматичної лінії послідовної дії

Математична залежність $Q_q = f(q)$ має екстремум у діапазоні від мінімального q_{min} до максимального q_{max} числа позицій. У більшості випадків продуктивність реально можливих варіантів машин послідовного агрегування знаходиться на висхідній гілці кривої технічної продуктивності (рис. 4.17).

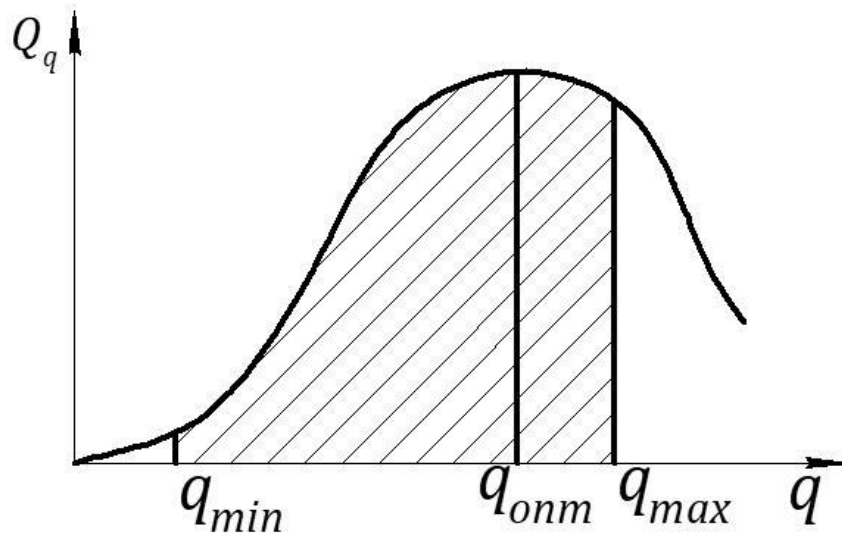


Рисунок 4.17 – Знаходження реального числа позицій машини (лінії) послідовного агрегування в залежності від рівня технічної продуктивності

4.6.3 Оптимізація для умов паралельного агрегування

Якщо є p паралельно працюючих потоків, то для незалежно працюючих верстатів продуктивність збільшиться в p разів, а на верстатах, пов'язаних у лінію, будемо мати збільшення позациклових втрат також в p разів.

$$Q_{\text{гр}} = \frac{p}{t_p + t_x + t_{n_i}} = \frac{K_0 p}{1 + K_0 \cdot (t_x + t_{n_i})} = \frac{K_0 p}{1 + K_0 \cdot (t_x + t_{e_i} + \sum C_j)}. \quad (4.50)$$

$$Q_p = \frac{p}{t_p + t_x + p \cdot t_{n_i}} = \frac{K_0 p}{1 + K_0 \cdot (t_x + p \cdot t_{n_i})} = \frac{K_0 p}{1 + K_0 \cdot t_x + K_0 \cdot p(t_{e_i} + \sum C_j)}. \quad (4.51)$$

Залежність $Q_p = f(p)$ для машин паралельного агрегування представлена графіком (рис. 4.18). З нього випливає, що з ростом числа позицій (потоків) продуктивність зростає, але зростає й значення позациклових втрат. Тому з ростом числа позицій не спостерігається пропорційного зростання Q .

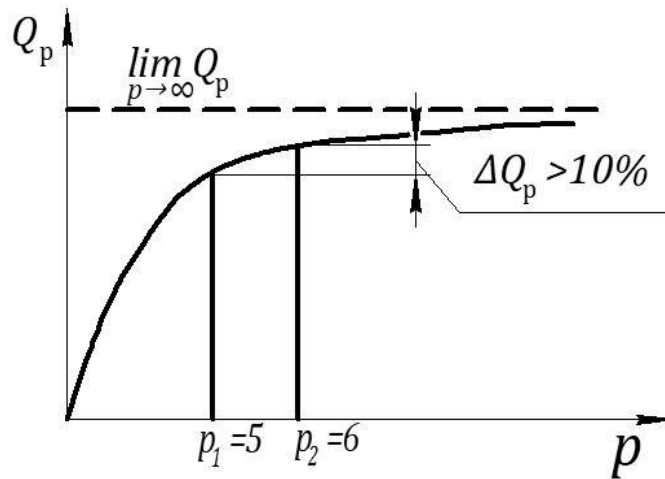


Рисунок 4.18 – Залежність технічної продуктивності машин (ліній) паралельного агрегування від числа потоків

Межа функції $Q_p = f(p)$ при $p \rightarrow \infty$ $\lim Q_p = \frac{1}{t_e + \sum C_j}$.

Результати аналізу графіка (див. рис. 4.18) свідчать про те, що раціонально збільшувати число потоків за умови, що кожне подальше збільшення кількості позицій забезпечує приріст продуктивності більше, ніж на 10%.

4.6.4 Змішане агрегування

Для незалежно працюючих верстатів, враховуючи, що $t_p = \frac{1}{q K_0}$,

$$Q_{гр} = \frac{p}{t_p + t_x + t_{n_i}} = \frac{K_0 \cdot q \cdot p}{1 + K_0 \cdot (t_x + t_{n_i})}. \quad (4.52)$$

Для багатопозиційних машин або автоматичних ліній при змішаному агрегуванні

$$Q_{qp} = \frac{p}{t_p + t_x + q \cdot p \cdot t_{n_i}} = \frac{K_0 \cdot q \cdot p}{1 + K_0 \cdot q \cdot t_x + K_0 \cdot q^2 p \cdot t_{n_i}} = \frac{K_0 \cdot q \cdot p}{1 + K_0 \cdot q \cdot t_x + K_0 \cdot q^2 p (t_{e_i} + \sum C_j)}. \quad (4.53)$$

Для визначення оптимального числа позицій q_{opt} , відповідних максимуму продуктивності, дослідимо залежність (4.52) на екстремум, взявши часткову похідну по параметру q і прирівнявши її до нуля $\frac{\partial Q_{qp}}{\partial q} = 0$. Тоді

$$q_{opt} = \frac{1}{2\sqrt{K_0 \cdot p t_{n.cp_i}}}. \quad (4.54)$$

При цьому, чим більше число паралельних потоків p ($p_1 > p_2$), тим вище продуктивність і нижче значення q_{opt} (рис. 4.19).

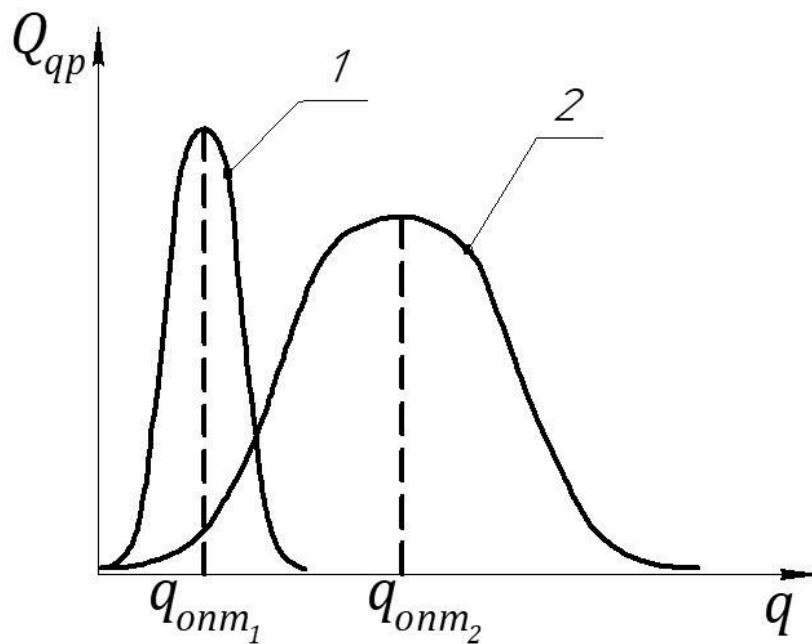


Рисунок 4.19 – Залежність технічної продуктивності машин змішаного агрегування від числа позицій при різному значенні числа паралельних потоків

І якщо для машин послідовного агрегування неправильне призначення числа послідовних позицій у деяких межах майже не робить впливу на продуктивність, то в багатопозиційних (багатопотокових) машинах або АЛ змішаного агрегування найменша помилка (відхилення реального числа

позицій від оптимального) може призвести до значного зниження продуктивності порівняно з можливим рівнем.

4.7 Питання для самоконтролю за четвертою темою

1. Назвіть технологічні методи підвищення продуктивності машин.
2. В чому суть принципу інтенсифікації?
3. Які відомі основні технічні обмеження на інтенсифікацію? Наведіть приклади усунення технічних обмежень.
4. Що таке принцип суміщення операцій, які способи реалізації принципу?
5. Багато інструментальна обробка, приклади реалізації. Технічні обмеження, приклади їх усунення.
6. Принцип диференціації ТП. Приклад реалізації принципу диференціації.
7. Назвіть обмеження на диференціацію. В чому суть принципу концентрації операцій?
8. Агрегатування робочих машин. Види агрегування. Види продуктивності робочих машин.
9. Охарактеризуйте структуру втрат. З чого складаються позациклові втрати?
10. Технічна продуктивність робочої машини, коефіцієнт технічного використання.
11. Оптимізація ступеня диференціації ТП. Визначення оптимального числа позицій для машин і автоматичних ліній (АЛ) послідовного агрегування. Продуктивність машин і АЛ послідовного агрегування.
12. Паралельне агрегування. Визначення раціонального ступеня концентрації операцій. Приклад реалізації. Продуктивність машини або лінії паралельного агрегування.
13. Змішане агрегування. Визначення раціонального ступеня диференціації. Продуктивність машин.

РОЗДІЛ 5

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МАШИН-АВТОМАТІВ І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

5.1 Обґрунтування можливості підвищення продуктивності систем технологічного обладнання за рахунок зміни принципів їх побудови

Мета автоматизації систем технологічного обладнання – підвищення продуктивності процесів, що на них реалізуються. Досягається за рахунок диференціації ТП і концентрації операцій.

Здебільшого загальний технологічний вплив, необхідний для отримання будь-якого виробу, неминуче розділяється – диференціюється на складові частини, виконувані у різних робочих позиціях, на різному устаткуванні.

Саму диференціацію умовно можна розділити на первинну і вторинну.

Первинна диференціація ТП – це поділ його на q різноманітних операцій, що неможливо чи нерозумно виконати в одній позиції. При чому загальна кількість цих позицій q , не може бути меншою за деяке мінімальне значення q_{min} .

Вторинна диференціація ТП означає, що конкретні операції, які технічно можна виконати в одній позиції, з метою підвищення продуктивності обробки розчленовуються на частини, що виконуються на кількох позиціях.

Розглянемо підхід до реалізації принципу диференціації на прикладі обробки валу (рис. 5.1).

Для обробки цієї деталі необхідно виконати наступні операції:

- 1) заготівельну (наприклад, гаряче штампування);
- 2) підрізування торців та їх зацентрування;
- 3) обточування шийок;
- 4) термообробка;
- 5) шліфування шийок чорнове;
- 6) шліфування шийок чистове.

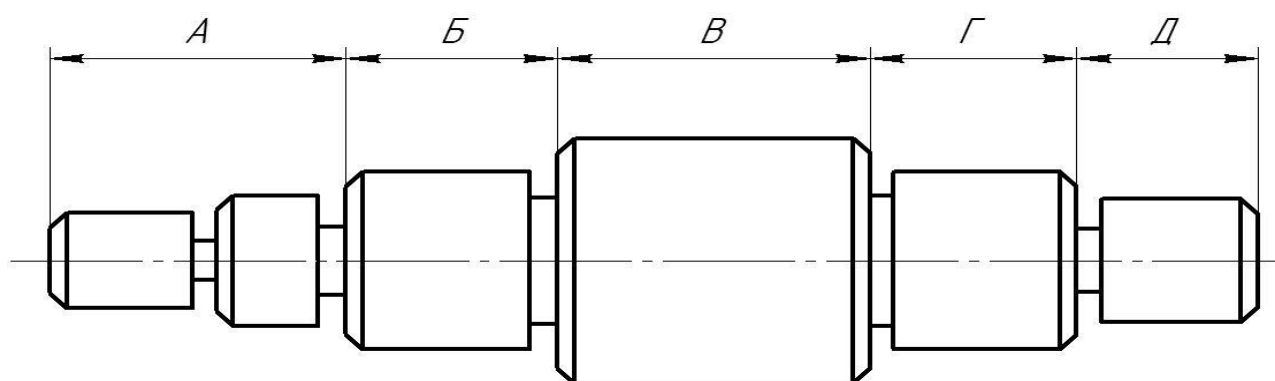


Рисунок 5.1 – Вал: А, Б, ... Д – шийки валу

Обробку торців та обточування шийок можна виконати в одній позиції (токарна), інші операції вимагають специфічного обладнання.

Первинна диференціація вимагає наявності для обробки валу щонайменше п'яти робочих позицій і п'яти однопозиційних машин (при реалізації операції точіння на одному верстаті).

Розглянемо більш докладно операцію токарної обробки деталі. В табл. 5.1 наведені дані щодо витрат складових машинного часу t_{pi} при токарній обробці валу незалежно від того, на якому обладнанні це буде виконано, а також сумарний час обробки деталі на цих складових операціях.

Таблиця 5.1 – Тривалість технологічних переходів при токарній обробці валу

Найменування переходу	Позначення оброблюваних поверхонь	t_{pi} , хвил
1	2	3
Підрізка торців		0,35
Центрування торців		0,15
Чорнове точіння шийок	А	0,35
	Б	0,25
	В	0,35
	Г	0,30
	Д	0,25
Чистове точіння шийок	А	0,65
	Б	0,25
	В	0,60
	Г	0,40
	Д	0,30

1	2	3
Точіння канавок		0,35
Точіння фасок		0,10
		$t_{p_0} = \sum t_{p_i} \approx 4,6 \text{ хв}$

Всю обробку валу в найпростішому варіанті можна виконати в одній позиції на токарному універсальному верстаті з ручним управлінням. Тоді робочий цикл $T_{\text{ц}}$ крім часу робочого ходу $t_{p_0} = 4,6 \text{ хв}$ буде включати безліч холостих ходів t_x , несумісних з робочими: установка і затискання заготовки валу в патроні з наступним розтисканням і перевертанням (для обробки з іншого боку); вторинні її затискання і зняття; підведення та відведення супортів; неодноразові заміни інструментів тощо. Багато часу займає налаштування різців на глибину різання, що практично реалізується перед кожним проходом.

За досвідом експлуатації подібних верстатів допоміжний час на здійснення всіх холостих ходів перевищує технологічний (робочий) у 4...5 разів. Виходячи з цього, можна прийняти, що в конкретному випадку $t_x = 18 \text{ хв}$. Тоді змінна циклова продуктивність однопозиційного токарного верстата $Q_{\text{ц.зм}}$ при коефіцієнті використання $\eta_{\text{вик}} = 0,9$ і тривалості зміни $\Theta_{\text{зм}} = 480 \text{ хв}$. становить:

$$Q_{\text{ц.зм}} = \frac{480}{t_{p_0} + t_x} \eta_{\text{вик.}} \quad (5.1)$$

$$Q_{\text{ц.зм}} = \frac{480}{4,6 + 18} \cdot 0,9 = 20 \frac{\text{шт}}{\text{зм}}$$

Вторинна диференціація цієї частини ТП, коли число позицій $q > 1$ (див. рис. 4.9, б, в), полягає в тому, що той же обсяг обробки розподіляється на ряд однопозиційних верстатів таким чином, що кожний виріб відповідно до технологічного маршруту отримує в результаті повний технологічний вплив при проходженні через усі позиції. Повністю оброблені вали виходять лише з останнього верстата.

Переваги цього підходу. Найпростіше вирішуються питання автоматизації верстатів. Можливе використання більш ефективних видів обладнання. Так, замість підрізування і свердління торців на токарному верстаті можна для цього застосувати більш продуктивний фрезерно-центрувальний верстат (при фрезеруванні торців час обробки становить 0,25хв замість 0,35хв); виконувати обробку торців, фасок та прорізання канавок одночасно, використовуючи токарні верстати з декількома супортами, багаторізцеві верстати тощо; необхідний комплект інструментів розподіляється по кількох верстатах, вони стають спеціалізованими, відпадає необхідність заміни інструменту, пробних проходів і т. п.

У результаті потокова лінія (див. рис. 4.14, б) буде складатися з фрезерно-центрувального, декількох гідрокопіювальних та одного багаторізцевого верстата.

Ступінь вторинної диференціації ТП і число послідовно діючих верстатів q може змінюватись у широких межах.

Розглянемо чотирьохпозиційний варіант реалізації ТП ($q=4$):

перший верстат – фрезерування торців та їх зацентрування:

$$t_{pI} = 0,25 + 0,15 = 0,40 \text{ хв (див. табл. 5.1);}$$

другий верстат – чорнове та чистове обточування шийок А, Б, В:

$$t_{pII} = 0,35 + 0,25 + 0,35 + 0,65 + 0,25 + 0,60 = 1,91 \text{ хв;}$$

третій верстат – чорнове та чистове обточування шийок Г, Д:

$$t_{pIII} = 0,30 + 0,25 + 0,40 + 0,30 = 1,25 \text{ хв;}$$

четвертий верстат – одночасна прорізка всіх канавок і зняття фасок, де час на позиції дорівнює часу обробки однієї канавки:

$$t_{pIV} = 0,35 \text{ хв.}$$

Разом при чотирьохпозиційному варіанті, коли $q=4$, лімітуючим за продуктивністю в однопотоковому технологічному ланцюжку буде другий верстат з $t_{pII} = 1,91$ хв. Його продуктивність при часу холостих ходів $t_x = 0,3$ хв,

який включає в основному час встановлення та знімання валу і при $\eta_{вик} = 0,80$ (коефіцієнт використання нижчий, ніж для універсального верстата) становить

$$Q_{ц.зм} = \frac{480}{1,91+0,3} \cdot 0,8 = 166 \frac{\text{шт.}}{\text{зм.}}$$

Підвищення продуктивності у порівнянні з однопозиційним варіантом досягається скороченням тривалості обробки майже в 2,5 разів (завдяки диференціації ТП) та холостих ходів майже в 50 разів (завдяки спрощенню робочого циклу та його автоматизації).

При збільшенні ступеня диференціації $q > q_{min}$ продуктивність зростатиме. Так, при використанні шести верстатів поділяються за позиціями чорнова та чистова обробки, що сприятливо позначається на точності виробів.

Розглянемо цей варіант ($q=6$):

перший верстат – фрезерування торців та їх зацентрування: $t_{p_I} = 0,40$ хв;

другий верстат – чорнове обточування шийок А, Б, В: $t_{p_{II}} = 0,95$ хв;

третій верстат – чорнове обточування шийок Г, Д: $t_{p_{III}} = 0,55$ хв;

четвертий верстат – чистове обточування шийок А, Б, В: $t_{p_{IV}} = 1,50$ хв;

п'ятий верстат – чистове обточування шийок Г, Д: $t_{p_V} = 0,70$ хв;

шостий верстат – прорізка канавок та зняття фасок: $t_{p_{VI}} = 0,35$ хв.

Лімітуючим за продуктивністю буде четвертий верстат із тривалістю циклу $T_{ц} = t_{p_{IV}} + t_x = 1,50 + 0,3 = 1,80$ хв та продуктивністю $Q_{ц.зм} = 213$ шт./зміну, що в 1,3 рази більше, ніж при чотирьохверстатній диференціації.

При $q = 14$ на одному гідрокопіювальному верстаті буде оброблятися чистовим проходом тільки одна з шийок (шийка В), яка і є лімітуючою $t_p = 0,60$ хв, з робочим циклом $T_{ц} = 0,90$ хв і продуктивністю майже 425 шт./зміну,

тобто ефективність вторинної диференціації з погляду зростання продуктивності при підвищенні числа позицій поступово знижується. Про це свідчить збільшення циклової продуктивності вдвічі відносно попереднього варіанту при збільшенні числа позицій в лінії в 2,3 рази (з $q=6$ до $q=14$).

Ступінь вторинної диференціації суттєво впливає на вартість обладнання. На рис. 5.2 показано залежність (за формулою 5.1) продуктивності обладнання $Q_{ц.зм}$ від ступеня вторинної диференціації ТП, тобто від числа позицій або однопозиційних машин q . Вона має асимптотичний характер, у той час як сумарна вартість обладнання $C_{обл}$ пропорційна зростанню числу машин: $C_{обл} = C_{обл_1} \cdot q$, де $C_{обл_1}$ – усереднена вартість одного верстата.

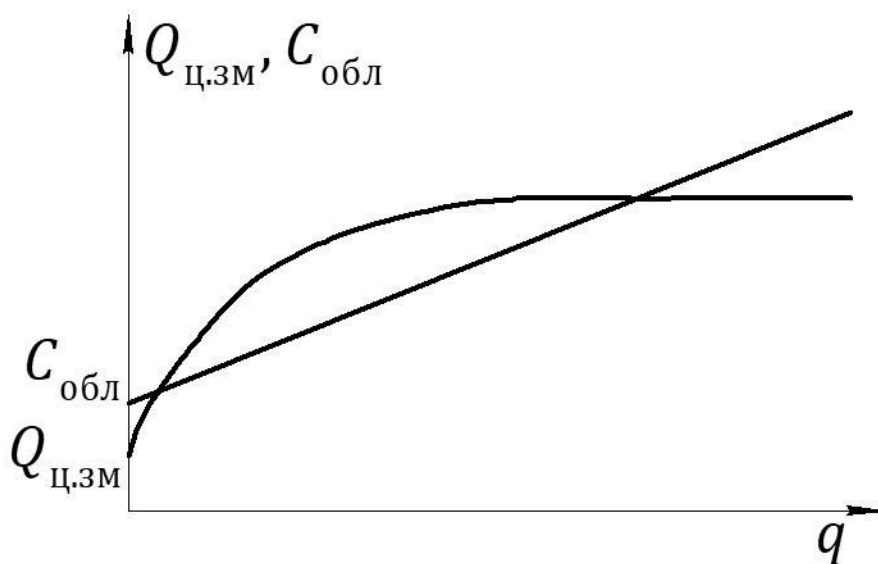


Рисунок 5.2 – Залежність продуктивності $Q_{ц.зм}$ та вартості обладнання $C_{обл}$ від ступеня вторинної диференціації технологічного процесу

З графіка видно, що з точки зору економічних втрат підвищення числа позицій є доцільним до конкретного рівня, а саме, доки відбувається суттєве приростання продуктивності, яке випереджує зростання втрат.

Тому вторинна диференціація технологічного процесу доповнюється **концентрацією операцій** – поєднанням операцій диференційованого технологічного процесу в одній багатопозиційній машині або автоматичній лінії.

Технологічний процес тривалістю t_{po} можна виконати в однопозиційній машині (рис. 5.3, а) або диференціювати на q частин. Однак замість q однопозиційних машин можна застосувати одну багатопозиційну машину з q робочими позиціями, розташованими лінійно (рис. 5.3, б) або по колу (рис. 5.3, в).

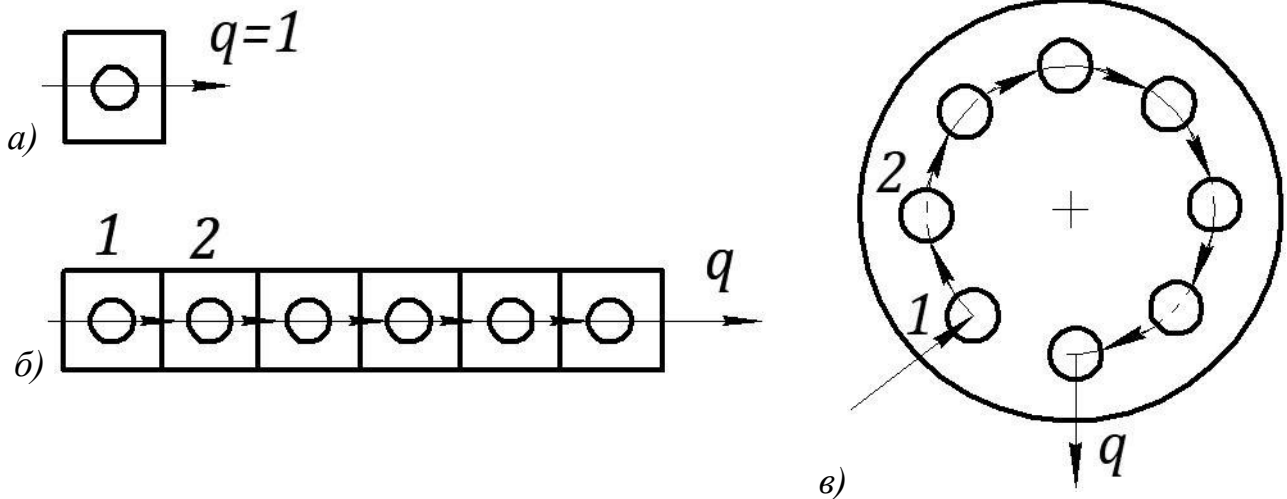


Рисунок 5.3 – Схеми одно позиційної (а) та багатопозиційних (б, в) машин

Принципова відмінність багатопозиційної машини від групи однопозиційних машин для того ж ТП полягає в конструктивному об'єднанні та регламентованих інтервалах часу між обробкою на сусідніх позиціях, що дозволяє звести паузи між ними до мінімуму і тим самим наблизити процес до безперервного впливу на оброблювану заготовку. Зникає необхідність у багаторазових завантаженнях та зніманні виробів при переході від позиції до позиції, скорочується кількість робочих-операторів або механізмів автоматичного завантаження.

Важливо й те, що більшість холостих ходів, характерних для однопозиційних машин, стають поєднаними і виконуються на спеціальних холостих позиціях (завантаження, знімання тощо). Єдиним несумісним робочим ходом у багатопозиційних машинах дискретної дії залишається передача виробів з однієї позиції на іншу – або лінійно (див. рис. 5.3, б) за допомогою штангових

або ланцюгових транспортерів, або по колу (див. рис. 5.3, в) поворотом столу верстата.

Таким чином, лише первинна диференціація технологічного процесу є необхідністю; вторинна диференціація і концентрація породжені прагненням до вищої продуктивності, що може бути реалізовано тільки на базі автоматично діючого обладнання: машин-напівавтоматів та автоматів або системи таких машин – автоматичних ліній.

Структури одно- і багатопозиційних машин залежать від рівня продуктивності, який вони можуть забезпечити.

При невисоких вимогах до продуктивності обробку виробів здійснюють на однопозиційних машинах (див. рис. 4.9, а або рис. 5.3, а), які мають технологічно необхідний комплект механізмів робочих і холостих ходів та інструментів.

Підвищення вимог до продуктивності призводить до диференціації ТП на окремі операції, що послідовно виконуються системою однопозиційних машин, кожна з яких виробляє, як правило, одну складову та поєднані з нею операції, допустимі конструкцією деталі та прийнятим технологічним процесом (наприклад, багатоінструментальна обробка). Тим самим формується технологічний ланцюжок (потокова лінія), що складається з однопозиційних q машин (див. рис. 4.9, б).

Вироби послідовно передаються від позиції до позиції, отримуючи поступово весь обсяг технологічного впливу. При цьому досягається істотне підвищення продуктивності, так як інтервал випуску дорівнює тривалості однієї складової найбільш протяжної (лімітуючої) операції обробки плюс час холостих ходів на завантаження виробів: затискання і розтискання, підведення інструментів і т. д.

Подальше зростання вимог до продуктивності призводить до того, що один технологічний ланцюжок машин з диференційованим технологічним процесом вже не в змозі забезпечити виробничу програму, тому з'являються верстати дублери – p технологічних ланцюжків з q машин (див. рис. 4.13, б). Така система

машини є конструктивним втіленням диференційованого технологічного процесу.

Нарощуючи число паралельно працюючих технологічних ланцюжків p , можна довести продуктивність системи машин до будь-якого високого рівня. Однак таке структурно-компонувальне рішення нерозумне з кількох міркувань: велика загальна конструктивна складність – адже в кожній машині з числа $p \cdot q$ позицій необхідно мати свій привід, свою систему керування, механізми завантаження та знімання виробів; велика загальна зайнята площа та чисельність обслуговуючого персоналу. Звідси неминучий перехід до багатопозиційних автоматів.

Принцип побудови багатопозиційних автоматів у тому, що в них концентруються або однойменні, або різнойменні, або водночас і ті й інші операції технологічного процесу. Як було показано раніше (див. Розділ 4), залежно від типу концентрованих операцій розрізняють автомати і АЛ **послідовної, паралельної і послідовно-паралельної (змішаної) дії**.

В автоматах або лініях послідовної дії концентрують різнойменні операції обробки, контролю, складання, що послідовно виконуються на одному виробі. Якщо складові операції технологічного процесу не диференційовані, то машина послідовної дії має один комплект інструменту, розподілений по робочим позиціям у порядку, заданому технологічним маршрутом обробки даного виробу.

В автоматах (лініях) паралельної дії концентрують однойменні операції диференційованого технологічного процесу.

В автоматах послідовно-паралельної (змішаної) дії концентрують як різнойменні, так і однойменні операції.

Як показує досвід, багатопозиційну машину з фіксованою загальною кількістю позицій можна, як правило, побудувати по всіх трьох структурних варіантах.

Застосування методу концентрації операцій дозволяє широко використовувати принципи стандартизації при проектуванні автоматів та

автоматичних ліній різної дії, оскільки більшість позиційних механізмів ідентична і їх можна уніфікувати.

5.2 Структурні схеми машин і ліній різних видів агрегування

5.2.1 Машини послідовного агрегування

Послідовне агрегування застосовується для складних і трудомістких робіт, що потребують послідовної обробки заготовки різними інструментами. Всю обробку диференціюють, розбиваючи на групи операцій, прагнучі до однакової їх тривалості і розташовуючи в різних позиціях відповідно до прийнятої технологічної послідовності. Обробка ведеться на усіх q позиціях одночасно. Виріб послідовно проходить через усі позиції і обробляється в них різними групами інструментів згідно ТП так, що в обробці одночасно знаходиться число виробів, рівне числу позицій.

Машини послідовного агрегування будуються як з круговим, так і з лінійним розташуванням робочих позицій (рис. 5.4).

При круговому розташуванні робочих позицій переміщення виробів з позиції до позиції відбувається шляхом повороту столу (шпиндельного блоку) на $1/q$ частину кола, після чого слідує пауза, протягом якої на всіх позиціях відбувається обробка (див. рис. 5.4, а, б).

Найважливішим рушійним чинником розвитку машин і автоматичних ліній послідовного агрегування є постійне зростання вимог до їх продуктивності, яку можна визначити за формулою

$$Q_q = \frac{K_0 \cdot q}{1 + K_0 \cdot q \cdot t_x + K_0 \cdot q^2 \cdot t_{n.cp_i}}$$

і яка зростає зі збільшенням числа позицій q до певної межі. Ця формула характеризує продуктивність робочих машин з будь-яким q , починаючи з однопозиційних ($q=1$).

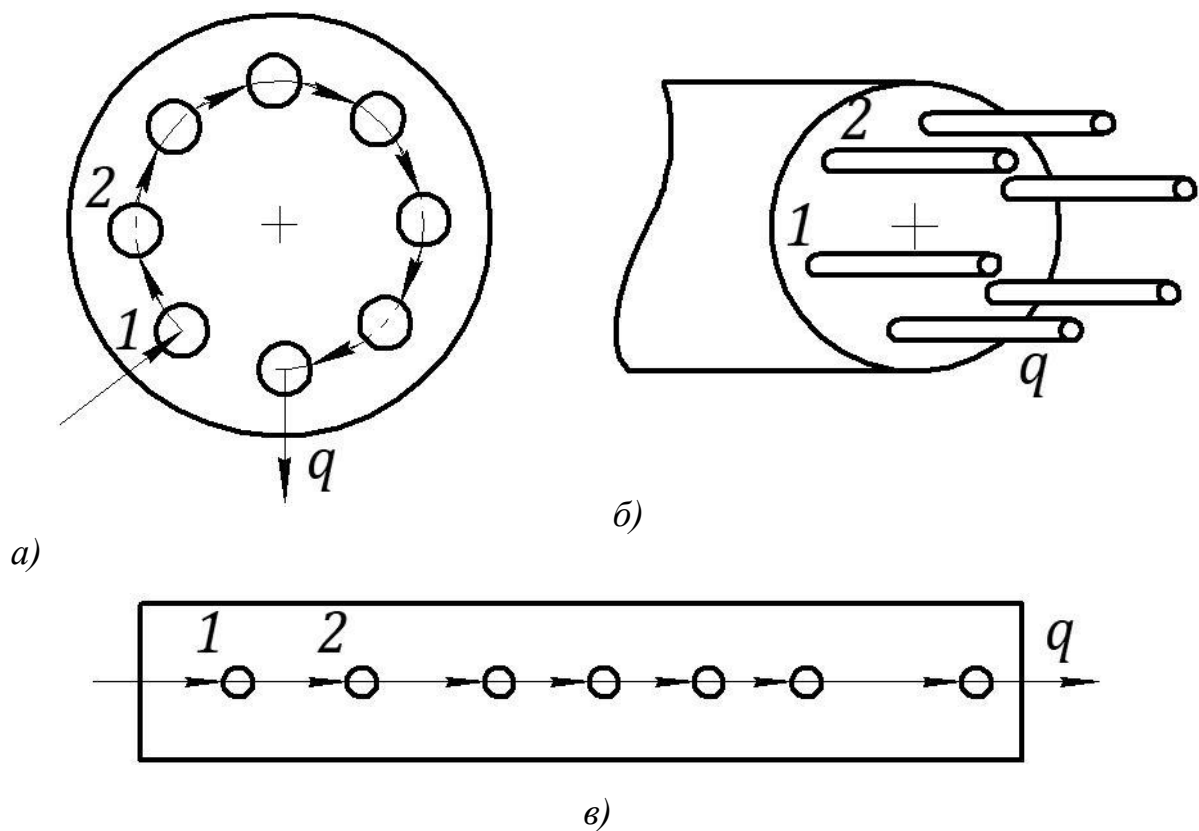


Рисунок 5.4 – Варіанти компоновок машин послідовного агрегування з розташуванням позицій: а, б – по колу; в – лінійно

Ускладнення умов обробки і прагнення до виконання всіх операцій на одній машині призвело до створення багатопозиційних робочих машин з розміщенням шпинделів по колу. Але надмірне збільшення кількості позицій q у машині супроводжується тим, що розташування позицій по колу стає нерациональним із-за великого холостого простору всередині стола-каруселі. У цих випадках більш раціональним виявляється розташування робочих позицій в одну лінію (див. рис. 5.4, в). Така компоновка може називатися вже не багатопозиційною машиною, а автоматичною лінією. Таким чином, чіткої межі між багатопозиційними машинами і автоматичними лініями не існує. В дійсності, якщо в машині агрегатні головки розташувати в одну лінію, а вироби переміщати не на поворотному столі, а за допомогою крокового транспортера, то таку компоновку можна називати автоматичною лінією з агрегатних

верстатів. Отже, всі викладені вище закономірності продуктивності робочих машин є справедливими і для автоматичних ліній.

5.2.2 Шляхи підвищення продуктивності автоматичних ліній послідовного агрегування

Поступове зростання кількості послідовних позицій q в автоматичній лінії призводить до зниження їх надійності в роботі, оскільки будь-яка відмова інструменту або механізму викликає зупинку всієї лінії через наявність жорсткого зв'язку між позиціями.

Тому для зменшення загальних втрат автоматичні лінії поділяють на окремі ділянки, між якими розташовуються магазини-накопичувачі (рис. 5.5), що при необхідності компенсують простой сусідніх ділянок.

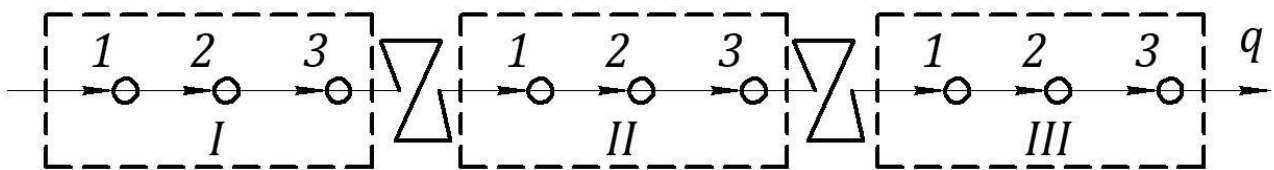


Рисунок 5.5 – Схема автоматичної лінії послідовного агрегування, розділеної на ділянки магазинами-накопичувачами

Так, у разі відмови першої ділянки друга ділянка отримує заготовку з накопичувача на кордоні між першою і другою ділянками. Якщо перша ділянка працює, а друга простоює, то заготовки поступають у той же накопичувач.

Якщо ємність магазинів-накопичувачів достатня для того, щоб повністю компенсувати простой сусідніх ділянок, то продуктивність такої лінії $Q_{q.зв.}$ може бути виражена залежністю

$$Q_{q.зв.} = \frac{K}{1 + K \cdot t_x + K \left(\frac{q \cdot t_{n.спi}}{n_{дiл}} + t_{мн} \right)} = \frac{K}{1 + K \cdot t_x + K \cdot t_{дiл}}, \quad (5.2)$$

де $K = K_0 \cdot q$ – технологічна продуктивність автоматичної лінії послідовного агрегування; $t_{\text{діл}}$ – загальні втрати ділянки; $n_{\text{діл}}$ – кількість ділянок; $t_{\text{мн}}$ – втрати магазину-накопичувача на межі ділянок.

$$\text{Загальні втрати ділянки рівні } t_{\text{діл}} = \frac{q \cdot t_{n.cp_i}}{n_{\text{діл}}} + t_{\text{мн}}.$$

Розділення ліній на ділянки здійснюється, виходячи з принципу приблизної рівності власних позациклових втрат всередині кожної з ділянок.

Формула (5.2) є узагальненою і справедливою для всіх можливих структурних варіантів лінії – від потокової лінії до автоматичної лінії з жорстким міжагрегатним зв'язком. Ці варіанти при однаковому числі верстатів q і величині поза циклових втрат $t_{n.cp_i}$ відрізняються числом ділянок $n_{\text{діл}}$, величиною втрат магазину-накопичувача на межі ділянок $t_{\text{мн}}$, а, отже, і величиною продуктивності.

У потоковій лінії, де кожен верстат працює незалежно і міждіагнотичні заділи при дрібних деталях досить великі, тоді $n_{\text{діл}} = q$, $t_{\text{мн}} \approx 0$. Підставивши ці значення у формулу (5.2), отримаємо продуктивність такої лінії

$$Q_{\text{п.л}} = \frac{K}{1 + K \cdot t_x + K \cdot t_{n.cp_i}}. \quad (5.3)$$

В автоматичній лінії з гнучким міжагрегатним зв'язком, де число ділянок дорівнює кількості верстатів (між сусідніми верстатами скрізь є накопичувачі кінцевої ємності), тобто $n_{\text{діл}} = q$; $t_{\text{мн}} > 1$. Звідси продуктивність лінії з гнучким зв'язком

$$Q_{\text{г.л}} = \frac{K}{1 + K \cdot t_x + K(t_{n.cp_i} + t_{\text{мн}})}. \quad (5.4)$$

Для лінії з жорстким міжагрегатним зв'язком число ділянок $n_{\text{діл}} = 1$, тоді її продуктивність $Q_{\text{ж.л}}$ дорівнює

$$Q_{\text{ж.л}} = \frac{K}{1 + K \cdot t_x + K \cdot q \cdot t_{n.\text{cp}_i}}. \quad (5.5)$$

Аналіз формул (5.3) – (5.5) показує, що мінімальну продуктивність має автоматична лінія з жорстким міжагрегатним зв'язком.

5.2.3 Машини і лінії паралельного агрегування

Для оброблення простих деталей метод диференціації ТП не є ефективним і часто недоцільним. Так, наприклад, при свердлінні бічного отвору малого діаметра у втулці час обробки незначний і становить частки секунди. Диференціювати і без того короткочасну операцію немає сенсу. Підвищення продуктивності в цьому випадку можна досягти, встановивши декілька паралельно працюючих однакових машин.

Більш ефективним є не повне дублювання однакових верстатів, а повторення лише окремих цільових механізмів та інструментів, які встановлюються на одній загальній станині, що мають єдиний механізм приводу, систему управління і т. п. Такий метод дозволяє скорочувати витрати на обладнання, економити виробничі площі, скорочувати кількість обслуговуючих робітників і т. д.

Принципові схеми паралельного агрегування представлені на рис. 5.6. Тут p – кількість робочих позицій, агрегованих в одній машині. У машині є p комплектів механізмів та інструментів, кожний з яких обслуговує одну робочу позицію. У найпростіших випадках на всіх p робочих позиціях машини паралельної дії концентруються однакові операції обробки однакових деталей (див. рис. 5.6, *а*). Зазвичай це одна проста або поєднана з нею операція. Однак є машини паралельної дії, де обробляються різні деталі з загальними властивостями за подібним технологічним процесам (наприклад, багатомономенклатурні роторні машини).

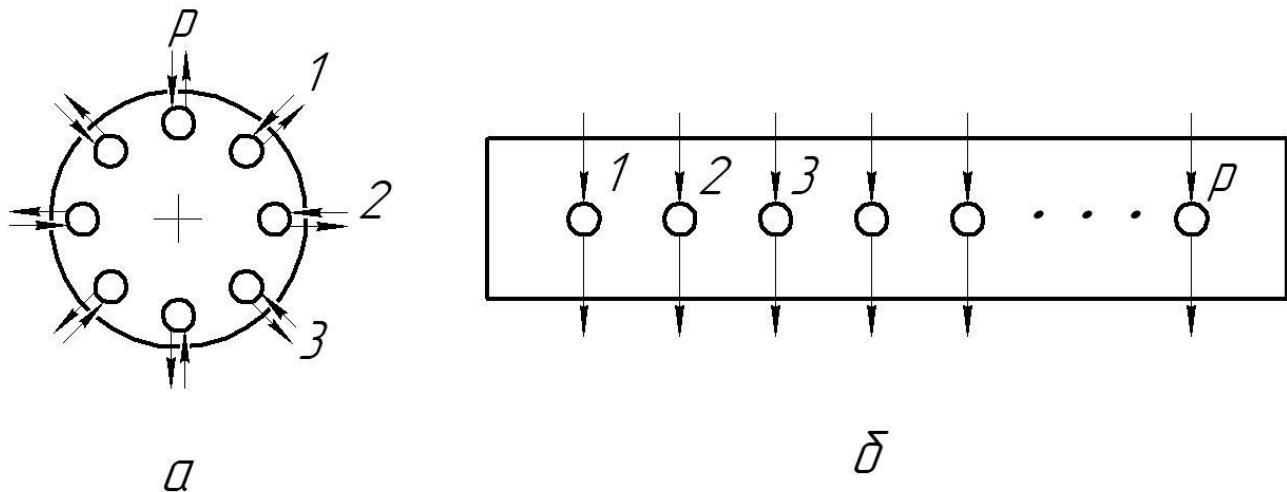


Рисунок 5.6 – Варіанти схем машин паралельного агрегування: *а* – з круговим компонованням; *б* – з лінійним компонованням

Цикли обробки в робочих позиціях можуть бути зміщені по фазі для рівномірного завантаження електродвигунів, скорочення часу завантаження і розвантаження і т. д.

Для машин паралельного агрегування за період робочого циклу випускається p деталей $T_{\text{ц}} = p T_{\text{в}}$. Продуктивність таких машин дорівнює

$$Q_p = \frac{K_0 \cdot p}{1 + K_0 (t_x + p \cdot t_{n.cp_i})}.$$

Машини паралельного агрегування мають велику різноманітність варіантів компоновок – від стаціонарних машин з лінійним розташуванням шпинделя (див. рис. 5.6, б) до роторних і конвеєрних машин, в яких обробка проводиться на ходу, при транспортуванні оброблюваних деталей з позиції на позицію.

Однак, незважаючи на зовнішні відмінності в конструкції компоновок, всі вони працюють за загальними законами агрегування робочих машин.

Варіанти реалізації принципу паралельного агрегування автоматизованого обладнання можуть бути наступними:

- найпростіша машина з лінійним розташуванням робочих позицій (див. рис. 5.6, б);
- машина з розташуванням робочих позицій по колу (див. рис. 5.6, а);
- роторні машини;
- автоматичні лінії паралельного агрегування.

Розглянемо кожний з варіантів компоновок машин паралельного агрегування.

Машини паралельного агрегування з лінійним розташуванням шпинделів (див. рис. 5.6, б). Це найпростіший варіант реалізації методу. Він являє собою по суті групу однопозиційних машин, скомпонованих на одній станині. Це дозволяє не тільки зменшити займану площу, але і спростити конструкцію порівняно з використанням окремих машин. Так, наприклад, привід машин буде загальний, а число електродвигунів та їхня сумарна потужність зменшиться. Однак продуктивність такої машини дещо знизиться, тому що проблеми на будь-якому зі шпинделів призведуть до простоїв усіх інших, чого немає в окремих однопозиційних машинах.

Машини паралельного агрегування з круговою компоновкою шпинделів. Більш зручною з точки зору обслуговування є машина з розташуванням робочих шпинделів по колу (див. рис. 5.6, а). Машина стає більш компактною, проте при ручному завантаженні та розвантаженні деталей час холостих ходів t_x великий, оскільки при заміні заготовок у кожній позиції решта в цей час простоюють, це показано на циклограмі роботи машини (рис. 5.7).

З цієї точки зору більш продуктивна схема машини з центральним розподільчим валом (рис. 5.8), який рівномірно обертається, а блок шпинделів залишається нерухомим.

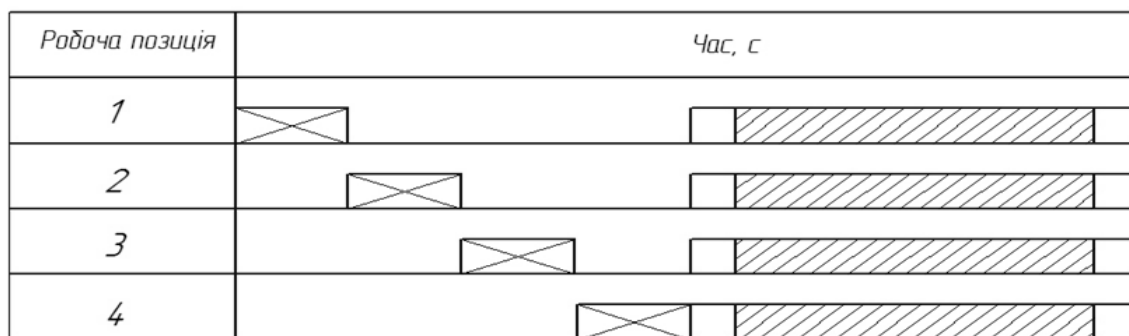


Рисунок 5.7 – Циклограма роботи машини паралельного агрегування з розташуванням робочих шпинделів по колу

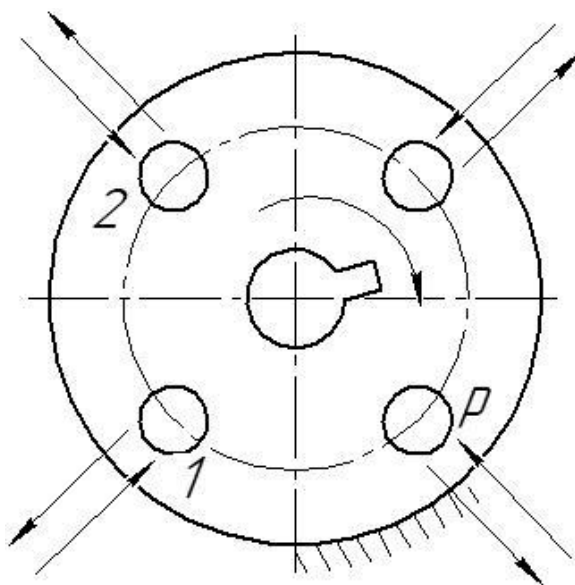


Рисунок 5.8 – Схема кругової компоновки машини паралельного агрегування з центральним розподільчим валом

При обертанні розподільчого валу, на якому закріплені кулачки всіх механізмів, цикли обробки на всіх шпинделях зміщуються по фазі. Тобто, якщо на одному шпинделі відбувається завантаження, то на другому в цей час – затиск заготовки, на третьому – обробка і т. д. В результаті час холостих ходів може бути дещо скороченим порівняно з однопозиційною машиною ($t_x < t_{x_0}$).

Незручність цієї схеми в тому, що при ручному завантаженні-розвантаженні робітник повинен ходити навколо верстата, слідуючи за

обертанням розподільчого валу, так як зона завантаження-розвантаження змінюється з обертанням кулачка. При автоматичному завантаженні з цієї ж причини необхідно дублювання механізмів живлення; верстати практично неможливо вбудовувати в автоматичну лінію.

Наступний варіант кругової компоновки передбачає роботу при зупиненому розподільчому валу і наявності столу автомата, який обертається (рис. 5.9).

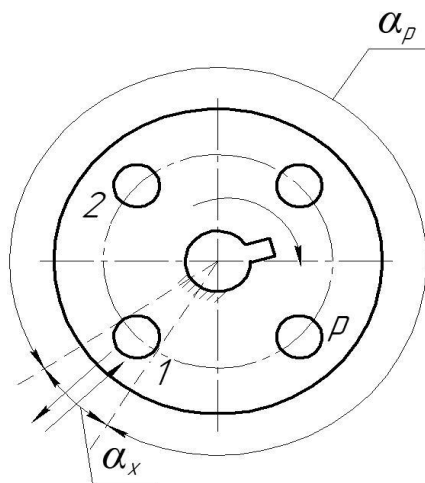


Рисунок 5.9 – Схема кругової компоновки машини паралельного агрегування із зупиненим центральним розподільчим валом (роторна машина): α_x – зона завантаження-розвантаження; α_p – робоча зона

Тоді обробка деталей буде проводитися при безперервному обертанні столу, на ходу. Це роторні машини. Вони широко застосовуються в різних галузях виробництва і найбільш поширені з усіх схем машин паралельного агрегування. У них завантаження-розвантаження і знімання оброблюваних деталей відбувається в одній зоні, що дозволяє легко вбудовувати автомати в лінію, а при ручному завантаженні забезпечує мінімальну простоту і зручність. Їх недолік – необхідно мати для кожної позиції повний комплект механізмів та інструментів, що призводить до перенасиченості робочих зон, обмеженості у розмірах робочих позицій і за рахунок цього робить практично неможливим

виконання на роторних машинах операцій, які вимагають великих сил і підвищеної точності обробки.

Структурна схема автоматичної лінії паралельної дії наведена на рис. 5.10.

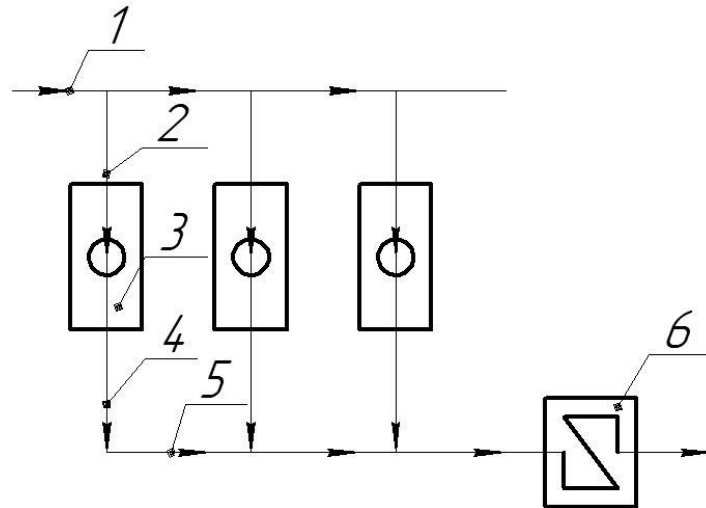


Рисунок 5.10 – Структурна схема автоматичної лінії паралельної дії

Тут: 1 – підвідний конвеєр-розподільник, забезпечує підведення заготовок до позицій лінії; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – робоча позиція; 4 – розвантажувальний пристрій для видалення з робочих позицій оброблених деталей; 5 – відвідний конвеєр; 6 – магазин-накопичувач готових деталей.

5.2.4 Машини змішаного агрегування і варіанти їх компоновок

Змішане агрегування є комбінацією послідовного і паралельного агрегування. Машина, що працює за цією схемою, складається з p паралельних потоків з q послідовними робочими позиціями для кожного потоку. Таке комбіноване поєднання робочих операцій призводить до ще більшого підвищення продуктивності машин.

Схема змішаного агрегування часто використовується при створенні автоматичних ліній при необхідності реалізації складних ТП і великій виробничій програмі.

Їх продуктивність

$$Q_{qp} = \frac{K_0 q \cdot p}{1 + K_0 q \cdot t_x + K_0 q^2 \cdot p \cdot t_{n.cpi}}.$$

Варіанти компоновки схем машин-автоматів змішаного агрегування.

На рис. 5.11, а представлена система з p потоків з q лінійно розташованими послідовними позиціями. За такою схемою будуються автоматичні лінії, коли після кожного кроку транспортера p деталей переміщуються послідовно на чергові позиції для обробки.

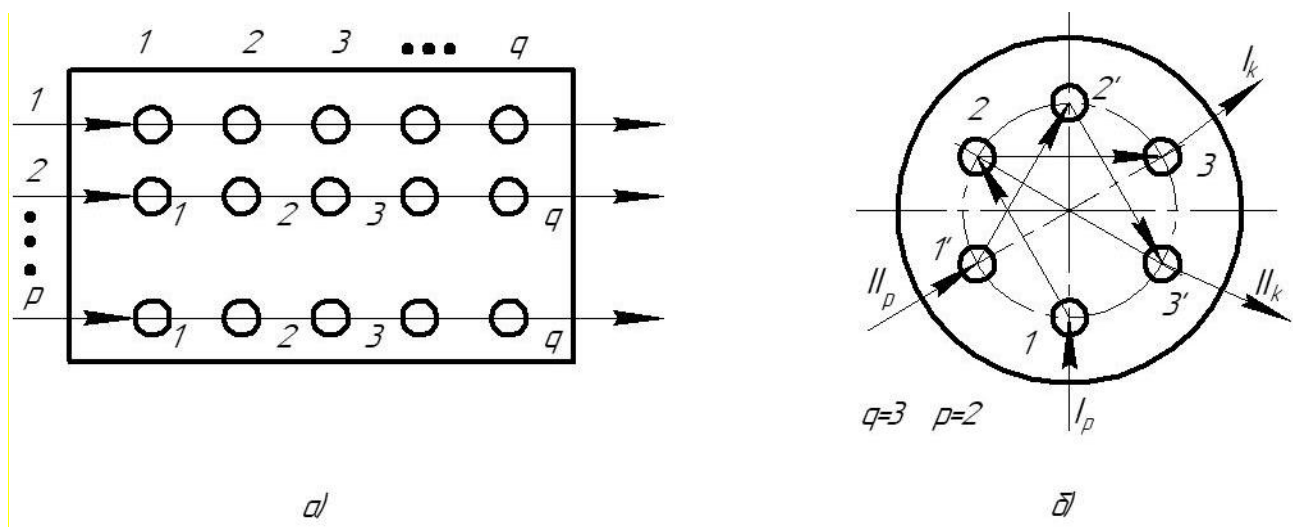


Рисунок 5.11 – Варіанти побудови схем машин-автоматів змішаного агрегування

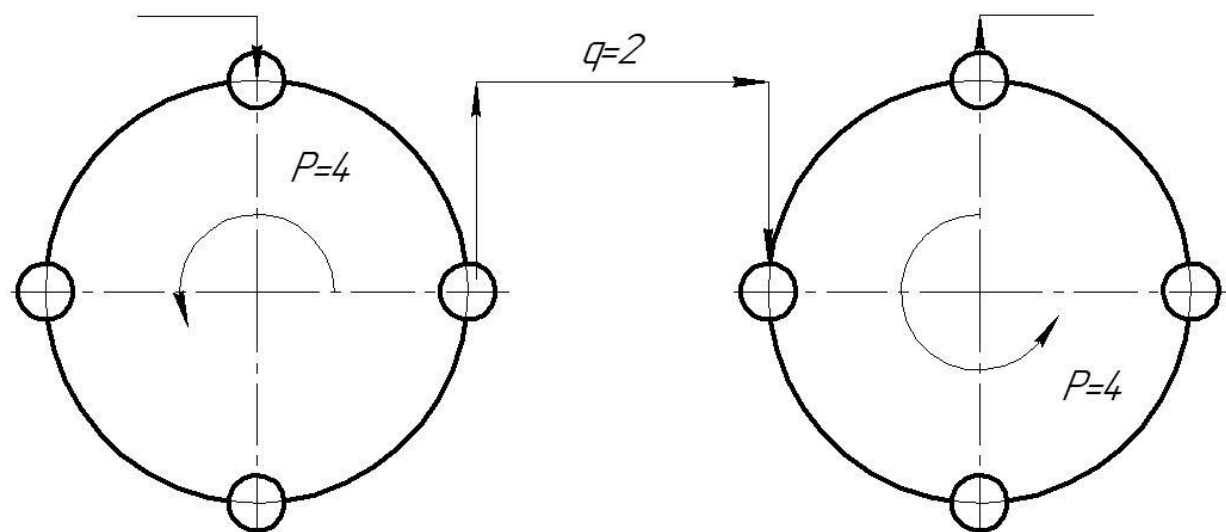
За схемами, поданими на рис. 5.11, б, працюють машини змішаного агрегування з розташуванням робочих позицій по колу. За цією схемою можлива реалізація досить великого числа різних конструктивних варіантів. Так шестипозиційний автомат може бути скомпонований у двох варіантах: $q = 3$ і $p = 2$ (кут повороту шпиндельного блоку при переході з позиції в позицію $\alpha = 120^\circ$); $q = 2$ і $p = 3$ ($\alpha = 180^\circ$). Зі збільшенням числа позицій в автоматі змішаної дії кількість можливих комбінацій зростає.

Схеми побудови АЛ змішаного агрегування наведені на рис. 5.12.

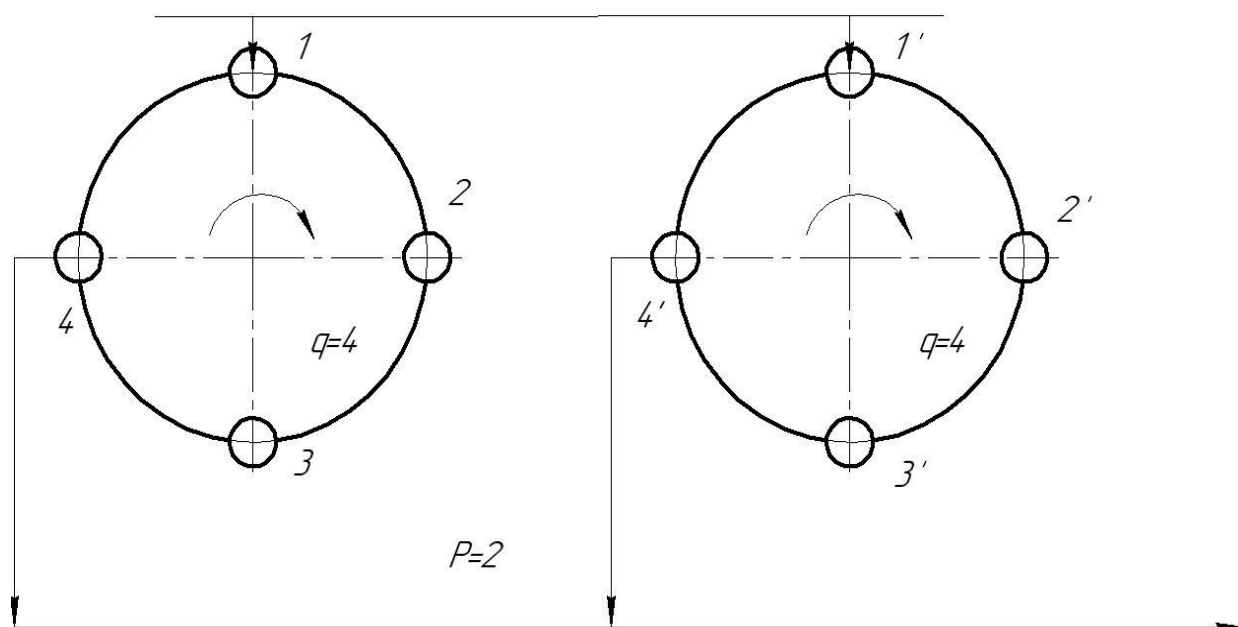
Існують два основні варіанти побудови таких АЛ:

1 – лінії з автоматів паралельної дії, з'єднаних послідовно (рис. 5.12, а), якщо ці автомати роторного типу, то автоматичні лінії теж називаються роторними;

2 – лінії з багатопиндельних автоматів послідовної дії, з'єднаних паралельно (рис. 5.12, б).



а/



б/

Рисунок 5.12 – Варіанти структурних схем АЛ змішаного агрегування

5.3 Питання для самоконтролю за п'ятою темою

1. Поясніть на прикладах вплив принципів побудови систем технологічного обладнання на рівень його продуктивності.
2. Поняття і суть рівня ступенів диференціації технологічних процесів у автоматизованому виробництві.
3. Поясніть вплив рівня ступеня вторинної диференціації ТП на сумарну вартість обладнання.
4. Концентрація операцій при проектуванні багатопозиційних машин і АЛ як фактор впливу на продуктивність системи машин.
5. Машини та АЛ послідовного агрегування. Структура машин і АЛ. Приклад реалізації ТП на цих системах машин.
6. Шляхи підвищення продуктивності АЛ послідовного агрегування. Продуктивність ліній з гнучким міжагрегатним зв'язком.
7. Машини та АЛ паралельного агрегування. Структура машин і АЛ. Приклад реалізації ТП.
8. Машини і лінії змішаного агрегування. Варіанти і структура їх компоновок. Наведіть конкретні приклади.

РОЗДІЛ 6

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ УМОВ МАСОВОГО ТА ВЕЛИКОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

6.1 Автоматичні лінії, їх призначення та класифікація

Автоматичні лінії – це система робочих машин-автоматів, розташованих у технологічній послідовності, об'єднаних автоматичними пристроями і механізмами для обробки, складання і контролю виробів, транспортування та зберігання їх у процесі виготовлення з метою виконання закінченої частини або всього ТП виготовлення одного або декількох виробів. Найважливішою складовою АЛ є система керування їх функціонуванням, яка використовує елементи електроавтоматики, мікропроцесорну техніку або безпосередньо ЕОМ і координує роботу технологічного та допоміжного обладнання, включаючи керування процесом обслуговування АЛ і якістю продукції, розв'язання оптимізаційних задач, пов'язаних з її виробництвом.

Внаслідок великої різноманітності виготовлених на АЛ об'єктів виробництва, а також їх різного технологічного призначення, заданих програм випуску та інших факторів АЛ розрізняються за структурними і конструкційно-компонувальними ознаками, основні з яких представлені в класифікаційній схемі (рис. 6.1).

6.1.1 Ознака класифікації АЛ за ступенем гнучкості

Серед ознак класифікації АЛ найбільш важливою є ступінь гнучкості АЛ. Гнучкість технологічного обладнання дозволяє швидко переналагоджувати виробництво на нові, більш досконалі види продукції, що є основною вимогою будь-якого типу виробництва – від дрібносерійного до масового. Але найбільшою мірою ця ознака характерна для дрібносерійного і серійного випуску продукції, де конструкції виробів змінюються найбільш часто.

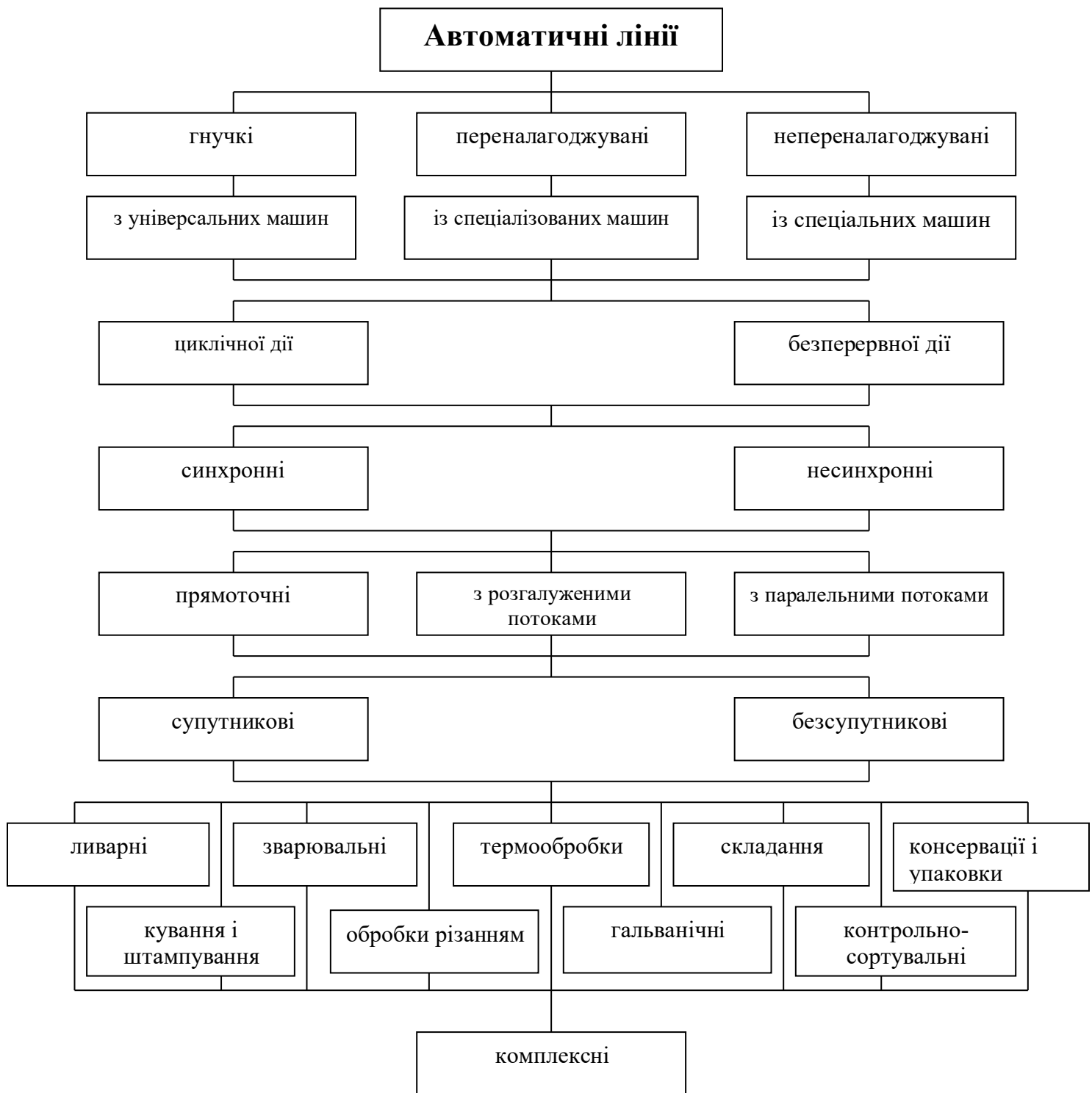


Рисунок 6.1 – Класифікація автоматичних ліній за основними ознаками

За цією ознакою АЛ можна розділити на три групи: гнучкі, переналагоджувані (з обмеженою гнучкістю); непереналагоджувані (жорсткі), які призначені для випуску одного виду виробів.

Гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ) – це сукупність устаткування з ЧПК, призначеного для обробки або складання виробів широкої номенклатури (в межах технологічних можливостей робочих машин) і яке має властивість автоматизованого (програмного) переналагодження. До складу ГАЛ крім технологічного устаткування входять наступні системи: транспортні автоматизовані системи (ТАС); автоматизовані системи інструментального забезпечення (АСІЗ); автоматизовані системи видалення відходів (АСВВ); автоматизовані системи забезпечення якості (АСЗЯ); автоматизовані системи забезпечення надійності (АСЗН); автоматизовані системи керування (АСК).

АЛ компонується з універсального обладнання з ЧПК, якому притаманні широкі технологічні можливості, область застосування таких ліній – дрібносерійне і серійне виробництво.

Переналагоджувані автоматичні лінії (ПАЛ) – призначені для виготовлення значно більш вузької номенклатури виробів, внаслідок чого вони мають обмежену гнучкість, і тому повністю автоматичне переналагодження устаткування при переході на випуск інших виробів економічно недоцільно (тому, що більша частина робіт з переналагодження виконується вручну). Заздалегідь відома номенклатура виробів дозволяє спроектувати ТП на основі більш високої концентрації елементарних операцій, ніж при використанні ГАЛ, і застосувати багатошпиндельне і навіть багатопозиційне спеціалізоване обладнання, що істотно підвищує економічну ефективність автоматизації. Область застосування ПАЛ – масове та великосерійне виробництво.

Непереналагоджувані автоматичні лінії (НАЛ) створюються для масового випуску виробів, конструкція яких протягом тривалого часу не змінюється (наприклад, ряди підшипників кочення, кріпильні деталі, зубчасті колеса тощо). Це дозволяє реалізувати на таких лініях найраціональніший для даного виробу ТП, заснований на дуже високій концентрації операцій, і застосувати багатопозиційне багатошпиндельне обладнання, спеціально спроектоване для обробки конкретного виробу.

Економічна ефективність автоматизації в таких умовах найвища, однак «жорстка» автоматизація не завжди дозволяє безперервно вдосконалювати морально старіючу продукцію, що за певних умов може негативно позначитися на ефективності виробництва. Очевидно, що на одному і тому ж підприємстві можуть використовуватися всі три типи АЛ.

6.1.2 Ознака класифікації АЛ за типом застосовуваного обладнання

За типом застосовуваного обладнання АЛ поділяються на лінії з універсальних, спеціалізованих і спеціальних верстатів.

Лінії з універсальних верстатів застосовують на підприємствах серійного і дрібносерійного типів виробництва. Для цих умов необхідно часте переналагодження обладнання на виготовлення ряду однотипних деталей. Можливе створення АЛ на базі поточкових ліній, що складаються з універсальних верстатів-автоматів і напівавтоматів шляхом оснащення їх механізмами автоматичного завантаження і вивантаження деталей – автооператорами, механізмами міжверстатного транспортування, наприклад, транспортерами, підйомниками, накопичувачами і т. д.

АЛ можуть створюватися верстатними заводами або заводами-споживачами. Найбільш просто вирішується завдання створення таких ліній, якщо конструкція застосовуваних верстатів дозволяє використовувати їх як індивідуально, так і для компоновок АЛ. У цих випадках АЛ можуть створюватися в короткі терміни і з мінімальними витратами, а висока працездатність лінії гарантується тим, що верстати вже перевірені в індивідуальній експлуатації. Якщо конструкція верстата не передбачає вбудовування його в АЛ, верстати доводиться модернізувати, що збільшує обсяг робіт, однак витрати при цьому набагато нижче, ніж при проектуванні всієї лінії заново.

Таким чином, в АЛ з універсальних автоматів і напівавтоматів технологічні процеси та основні механізми верстатів залишаються незмінними,

отже й їх продуктивність зберігається приблизно на тому ж рівні, що і на потокових лініях.

Як вже було сказано раніше, в ГАЛ застосовується універсальне обладнання з ЧПК.

У даний час успішно реалізуються варіанти компоновок багатошпиндельних токарних автоматів (БТА) з ЧПК, які, будучи вбудованими в структуру ГАЛ, істотно підвищують їх продуктивність. При обробці складних деталей з прутка або штучних заготовок, що потребують виконання свердлильно-фрезерних та інших операцій, має сенс створювати багатоцільові БТА з ЧПК. При цьому широко використовується модульний принцип компоновання верстатного обладнання. Застосування цього принципу в умовах ГАВ дозволяє шляхом підвищення надійності обладнання і швидкого його переналадження використовувати пристрої автоматичного маніпулювання блоками верстата при його виході з ладу і ремонті, а також при перекомпонуванні для переходу на іншу продукцію тощо.

Лінії зі спеціалізованих верстатів застосовують у серійному, великосерійному і масовому виробництвах (наприклад, багаторізцеві одношпиндельні та багатоінструментальні багатошпиндельні токарні напівавтомати і автомати, фрезерні, зубообробні, шліфувальні й інші верстати, які вбудовуються в АЛ).

Як правило, лінії з спеціалізованих верстатів токарно-шліфувальної групи застосовують при обробці деталей типу тіл обертання. Для обробки корпусних деталей і деталей типу важелів, дисків, циліндрів, які в більшості випадків нерухомі в процесі обробки, використовують агрегатні верстати. Відмітна особливість агрегатних верстатів полягає в тому, що їх компоновання здійснюється з уніфікованих вузлів і механізмів. Характерна ознака таких верстатів – застосування агрегатів і механізмів, які випускаються серійно. Це дозволяє значно скоротити час на проектування і монтаж лінії.

Переваги ліній з агрегатних верстатів: низькі капітальні вкладення, скорочені терміни проектування, висока надійність уніфікованих вузлів.

Подальший розвиток і вдосконалення АЛ з агрегатних верстатів йде по лінії створення так званих оборотних конструкцій. Якщо раніше обладнання АЛ з агрегатних верстатів після закінчення терміну випуску виробів йшло в металобрухт, то в лініях з оборотних конструкцій після демонтажу нормалізовані елементи придатні для компонування ліній іншого технологічного призначення, що дозволяє застосувати їх в умовах серійного виробництва.

АЛ на базі спеціального обладнання застосовуються для обробки деталей стабільної конструкції в умовах масового виробництва. Так як ТП обробки проектується спеціально для даної лінії, то вона може забезпечувати дуже високу продуктивність. Загальний недолік таких ліній – висока вартість і тривалі строки проектування та освоєння. Їх вигідно застосовувати при масовому випуску однотипної продукції, наприклад, підшипників.

Відмінна риса більшості таких АЛ – їх комплексність. Такі лінії охоплюють не тільки процеси механічної обробки, але і складання, контролю, змащення, упаковки, іноді й операції отримання заготовок.

6.1.3 Ознака класифікації АЛ за принципом переміщення виробів в процесі виготовлення

Інша важлива ознака класифікації АЛ – спосіб переміщення виробів у процесі виготовлення (циклічне або безперервне), що принципово впливає на конструкцію як робочих машин, так і транспортних та інших пристроїв лінії.

На лініях циклічної (дискретної) дії виріб у процесі виготовлення не змінює свого положення в просторі і лише після завершення технологічних переходів (операцій) на одній робочій машині переміщується до іншої для виконання наступних переходів, тобто процес має циклічний характер.

На лініях безперервної дії (роторних і роторно-конвеєрних) процес виготовлення виробу поєднаний з процесом його транспортування, тому при дискретному характері виконання кожного технологічного переходу або операції ступінь безперервності самого процесу підвищується.

6.1.4 Ознака класифікації АЛ за типом зв'язків між позиціями

За типом зв'язків між позиціями (або робочими машинами) лінії поділяються на синхронні (з жорстким зв'язком між позиціями) (рис. 6.2) і несинхронні (з гнучким зв'язком) (рис. 6.3).

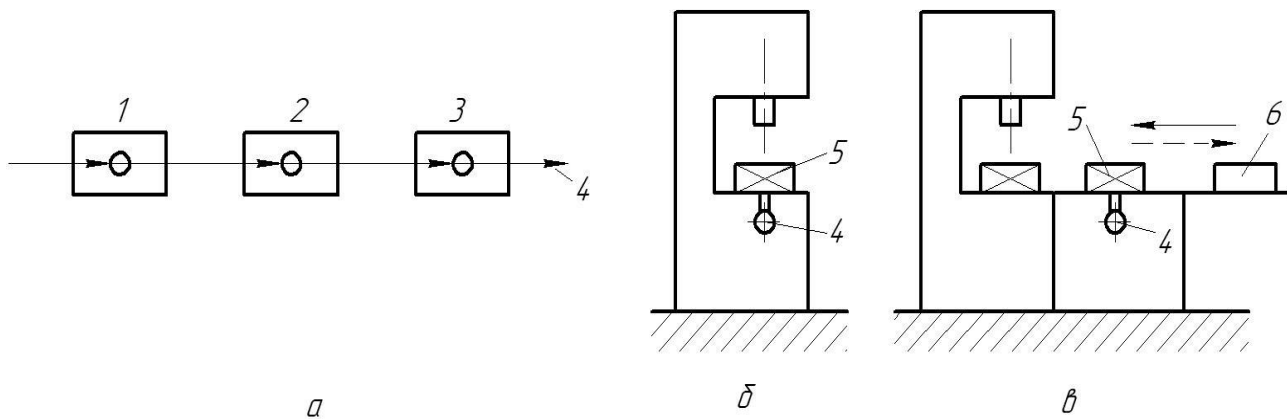


Рисунок 6.2 – Структурна схема синхронної АЛ (а); варіанти компоновки верстатів в лінії з наскрізним (б) і не наскрізним (в) транспортерами

У синхронних АЛ вироби передаються від позиції до позиції безпосередньо і зупинка однієї з них призводить до зупинки всієї лінії. На цьому рисунку 1, 2, 3 – верстати; 4 – транспортер; 5 – оброблювана деталь; 6 – живильник, що забезпечує переміщення заготовки з транспортера в зону обробки на верстаті.

У несинхронній лінії (див. рис. 6.3) між позиціями є невеликий запас заготовок або виробів, що дозволяє при зупинці однієї з позицій працювати іншим деякий час, визначений величиною цього запасу.

Несинхронні АЛ особливо ефективні на складальних операціях, де на окремих позиціях складальні переходи виконуються вручну і час їх виконання залежить від якості деталей, що сполучаються.

За цією ознакою складні АЛ можна віднести до комбінованих систем, так як вони складаються з декількох ділянок. На кожній з ділянок позиції пов'язані між собою жорстко, а ділянки – гнучко, через магазини-накопичувачі.

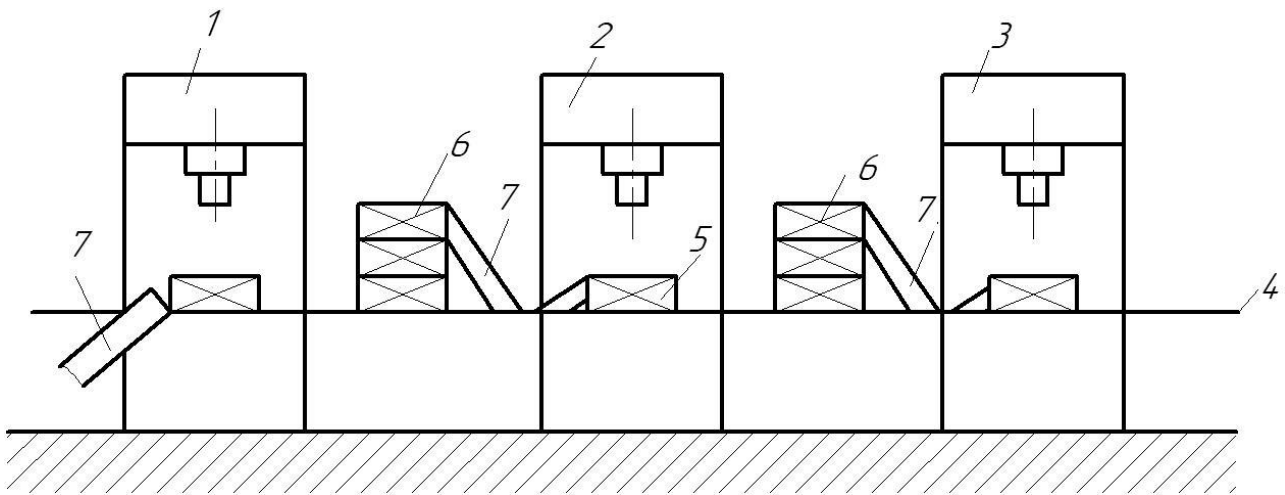


Рисунок 6.3 – Структурна схема несинхронної автоматичної лінії: 1, 2, 3 – верстати; 4 – транспортер; 5 – оброблювана заготовка; 6 – накопичувачі; 7 – автоматичні завантажувально-розвантажувальні пристрої

Лінії з ненаскрізним (верхнім або фронтальним) транспортером проектують у тому випадку, якщо конструкції верстатів не дозволяють здійснити наскрізне транспортування деталей. Недоліки таких ліній – їх складність і необхідність мати на кожній робочій позиції свій завантажувально-розвантажувальний пристрій.

6.1.5 Ознака класифікації АЛ за варіантністю потоків

За варіантністю потоків розрізняють наступні варіанти АЛ: однопотоківі; з розгалуженими і з паралельними потоками.

Спочатку АЛ створювалися як однопотоківі, що складаються з однієї або декількох послідовно працюючих ділянок. Надалі внаслідок необхідності підвищення продуктивності АЛ почали дублювати позиції, на яких тривалість технологічних операцій (переходів) була найбільшою.

Це призвело до поділу потоків виробів на окремих ділянках і підвищення продуктивності ліній завдяки дублюванню лімітуючих за часом обробки позицій (лінії з розгалуженими потоками виробів). У тих випадках, коли необхідно

дублювати більшість робочих позицій для отримання заданої продуктивності, проектують лінії з паралельними потоками.

На рис. 6.4 представлена схема АЛ з розгалуженими і паралельними потоками і двома типами накопичувачів.

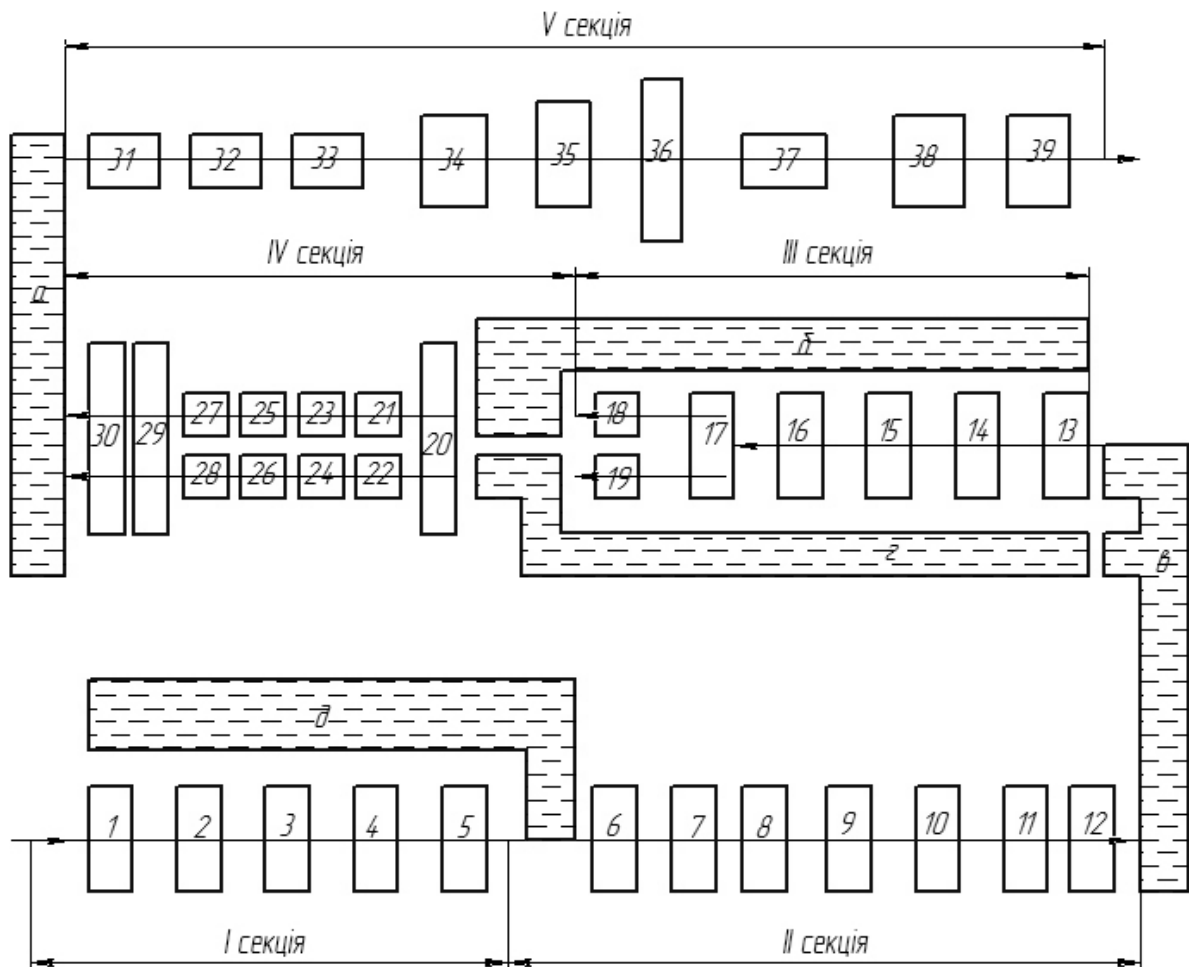


Рисунок 6.4 – Схема автоматичної лінії з розгалуженими потоками і двома типами накопичувачів

Лінія призначена для обробки блоку циліндрів двигунів. На рисунку введені наступні позначення: 1–39 – верстати, на яких одночасно працюють 708 інструментів; I–V – окремі секції-ділянки, що мають можливість автономної роботи, на які розбита лінія з метою забезпечення надійності її експлуатації; а–д – накопичувачі двох різних конструкцій. Запас заготовок, який вміщують накопичувачі, дозволяє продовжити роботу при виході з ладу будь-якої з секцій

лінії. Транзитні накопичувачі *a* і *в* спроектовані як накопичувачі-транспортери: заготовки на них можна розташувати в кілька рядів. Це збільшує обсяг накопичувача і дає можливість компенсувати великі по часу простой. Тупикові накопичувачі *б*, *г*, *д* включаються в роботу лише при зупинці відповідних ділянок. Під час нормальної роботи лінії ці накопичувачі стоять. Наприклад, якщо ділянка *I* (верстати 1–5) і ділянка *II* (верстати 6–12) працюють, в накопичувач *д* деталі не надходять, а ділянка *III* живиться деталями з накопичувача *б*. При зупинці ділянки *I* ділянка *II* живиться з накопичувача *д*. Включення і відключення накопичувачів, перемикання ділянок на живлення з накопичувачів, а також робота ділянок на накопичувачі при зупинці наступних ділянок відбувається автоматично.

Дана АЛ побудована за принципом розгалужених потоків. Прямоточна частина лінії (ділянки *I* і *II*) розгалужується, переходячи в *III* і *IV* ділянки. На *IV* ділянці малопродуктивні верстати (21–27 і 22–28) запуснені двома паралельними потоками.

У ряді випадків побудова АЛ за принципом розгалужених потоків натомість прямооточних дозволяє майже вдвічі збільшити їх продуктивність без істотного збільшення числа верстатів. Наприклад, при обробці головок блоків циліндрів автомобільних і тракторних двигунів фрезерні операції зазвичай займають більше часу, ніж обробка отворів. Тому ділянка фрезерних операцій на лінії складається з двох потоків, але число верстатів тут таке ж, яким би було в одному потоці. Цього досягають, застосовуючи двосторонні фрезерні агрегатні верстати. Силу головку з фрезами розміщують у середині верстата, деталі відносно неї проходять праворуч і ліворуч двома потоками. Після обробки головка повертається у вихідне положення, транспортер з деталями переміщується на один крок, потім цикл обробки повторюється.

Наявність у лінії розгалужених потоків дозволяє вдало поєднувати чорнові і чистові операції обробки деталей, тому що у ряді випадків чистові операції вимагають значно більшого часу, ніж чорнові.

Досить ефективним структурним рішенням, яке дозволяє істотно підвищити продуктивність і надійність ліній при масовому випуску продукції, є проектування ліній з паралельними потоками. Нерідко АЛ з декількох паралельних потоків будують лише для виконання чистових операцій. Об'єднання таких паралельних потоків єдиною транспортною системою дозволяє не тільки скоротити число операторів на лінії, але і найкращим чином використовувати обладнання.

Таким чином, рішення проблеми масового виготовлення деталей великих і середніх розмірів було знайдено за рахунок застосування АЛ з розгалуженими і паралельними потоками, які складаються з кількох самостійних незалежно працюючих ділянок. Однак для масової обробки дрібних деталей в більшості випадків АЛ такого типу нераціональні. Як відомо, такі деталі потребують порівняно невеликої кількості операцій, але оброблювані поверхні можуть перебувати в них у найрізноманітніших положеннях. Тому при виготовленні таких деталей на багатопозиційних агрегатних верстатах шляхом установки головок під різними кутами може бути забезпечена значно більша концентрація операцій ніж на АЛ, що складається з такої ж кількості однопозиційних верстатів.

Об'єднання таких багатопозиційних агрегатних верстатів транспортними і завантажувальними пристроями в єдину систему автоматичних машин – автоматичну лінію, дозволяє істотно підвищити продуктивність і скоротити витрати виробничих площ. Оскільки на таких лініях обробляють дрібні деталі, то з'єднуючі транспортери можуть одночасно служити і досить компактними накопичувачами.

6.1.6 Класифікації АЛ за ознакою «супутникові» і «безсупутникові»

Слід зазначити, що не всі заготовки пристосовані для переміщення по напрямних транспортера лінії. Для того, щоб вирішити цю проблему, синхронні і несинхронні лінії проектуються як з пристосуваннями-супутниками, так і без них.

Деякі заготовки мають дуже складну форму, що робить їх вкрай незручними в транспортуванні. Для обробки на АЛ такі заготовки встановлюють у спеціальні пристосування-супутники (палети), що переміщуються разом з заготовками з однієї позиції до іншої і за рахунок своєї конструкції забезпечують надійне базування заготовок.

Обробка деталей на супутниках розширила область застосування АЛ. Однак разом з цим з'явилися додаткові труднощі. По-перше, супутники відразу збільшують вартість АЛ, так як для кожної лінії їх повинно бути більше, ніж одночасно оброблюваних на лінії заготовок. По-друге, вони вимагають досить точного виготовлення, так як визначають положення заготовки на позиції обробки. По-третє, після обробки деталей супутники треба повертати в початкове положення, що вимагає для цього спеціальних транспортерів на лінії.

Існує кілька способів повернення супутників. Для цієї мети можна використовувати спеціальний транспортер над верстатами і два перевантажувача. Після обробки деталь разом із супутником піднімається і передається на транспортер, по якому подається на позицію завантаження. Тут готова деталь знімається, а в супутнику закріплюється наступна заготовка. Однак таку схему застосовують лише в тих випадках, коли на лінії немає вертикальних і похилих силових верстатних головок. Часто для повернення супутників використовують транспортер, розташований за лінією. У цьому випадку силові головки можуть встановлюватися під будь-якими кутами, але площа, займана лінією, значно збільшується.

Застосування супутників дозволяє здійснювати завантаження і розвантаження деталей в одному робочому місці. Як видно, способи транспортування деталей на АЛ значною мірою визначають її схему і конструктивну складність.

6.1.7 Ознака класифікації АЛ щодо їх комплексності

Сучасні АЛ, особливо для умов масового виробництва, характеризуються дуже складною структурою. Збільшуються число верстатів, що об'єднуються в

єдину автоматичну систему машин, і кількість виконуваних операцій. В лініях з'являються нові операції, які раніше виконувалися на окремих верстатах. Все більше число АЛ будують для комплексної, повної обробки деталей, причому обробку ведуть не тільки різанням, але і тиском, хімічними та термічними способами; вони можуть включати заготівельні, контрольні та пакувальні операції.

6.2 Питання для самоконтролю за шостою темою

1. Надайте поняття автоматичних ліній і принципів їх класифікації.
2. Наведіть і поясніть ознаку класифікації АЛ за ступенем гнучкості.
3. Наведіть ознаку класифікації АЛ за типом використаного обладнання і області їх використання.
4. Наведіть ознаку класифікації АЛ за принципом переміщення виробів в процесі виготовлення, поясніть особливості організації роботи таких ліній.
5. Наведіть ознаку класифікації АЛ за типом зв'язків між позиціями.
6. Ознака класифікації АЛ за варіантністю потоків. Для чого використовуються принципи розгалуженості потоків в АЛ?
7. Наведіть ознаку класифікації АЛ за ознакою «супутникові» і «безсупутникові». Яким чином організуються переміщення заготовок в АЛ з використанням пристосувань-супутників?
8. В чому принцип організації роботи АЛ за їх комплексністю, в яких умовах виробництва це доцільно?

РОЗДІЛ 7

ЦІЛЬОВІ МЕХАНІЗМИ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ, ЇХ ФУНКЦІЇ. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ

7.1 Класифікація цільових механізмів автоматичних ліній

Цільові механізми – це механізми, які служать для виконання окремих елементів технологічного процесу і окремих рухів робочого циклу.

Відрізняються:

- за функціями, що виконуються;
- конструкцією;
- габаритами;
- типом привода.

Основні групи цільових механізмів представлені на рис. 7.1.



Рисунок 7.1 – Основні типи цільових механізмів автоматичних ліній

Цільові механізми робочих ходів автоматів, що входять до структури АЛ, забезпечують робочий рух матеріалу (заготовок), рух робочих органів обладнання та виконання операцій по обробці матеріалу. Згідно до класифікації цільових механізмів робочих ходів автоматів до них належать супорти автоматів; силові головки; силові столи; силові бабки; силові пристосування. Конструкція цих механізмів розглядалася в дисциплінах, пов'язаних з проектуванням металообробних верстатів.

Вивченню цільових механізмів керування, в тому числі й АЛ, присвячені дисципліни Системи автоматичного управління, Мехатронні системи верстатних комплексів.

Тому в цьому посібнику більш докладно розглянемо структуру, конструкцію і призначення цільових механізмів холостих ходів автоматичних ліній.

7.2 Цільові механізми холостих ходів автоматів і автоматичних ліній

Цільові механізми холостих ходів призначені для виконання підготовчих операцій робочих ходів.

Для отримання будь-якої продукції необхідні три компоненти: потік матеріалів, потік енергії, потік інформації. Під потоком матеріалів розуміють сукупність двох підпотоків: предметів обробки (ПО) тобто заготовок – І підпотік; засобів праці, куди входять обробляючі інструменти та інші засоби впливу на ПО – II підпотік. Для взаємодії цих підпотоків необхідні потік енергії та інформаційний потік, що забезпечують, відповідно, живлення і регулювання, взаємодію двох матеріальних підпотоків.

Технологічний процес складається з технологічних операцій, в результаті виконання яких змінюється заготовка (розміри, якісні характеристики та ін.). Будь-яка операція виконується при наявності предметів обробки і засобів впливу на них – засобів праці. Технологічні операції включають технологічні переходи,

що виконуються на технологічному обладнанні, до якого підводяться енергія та інформація (рис. 7.2).

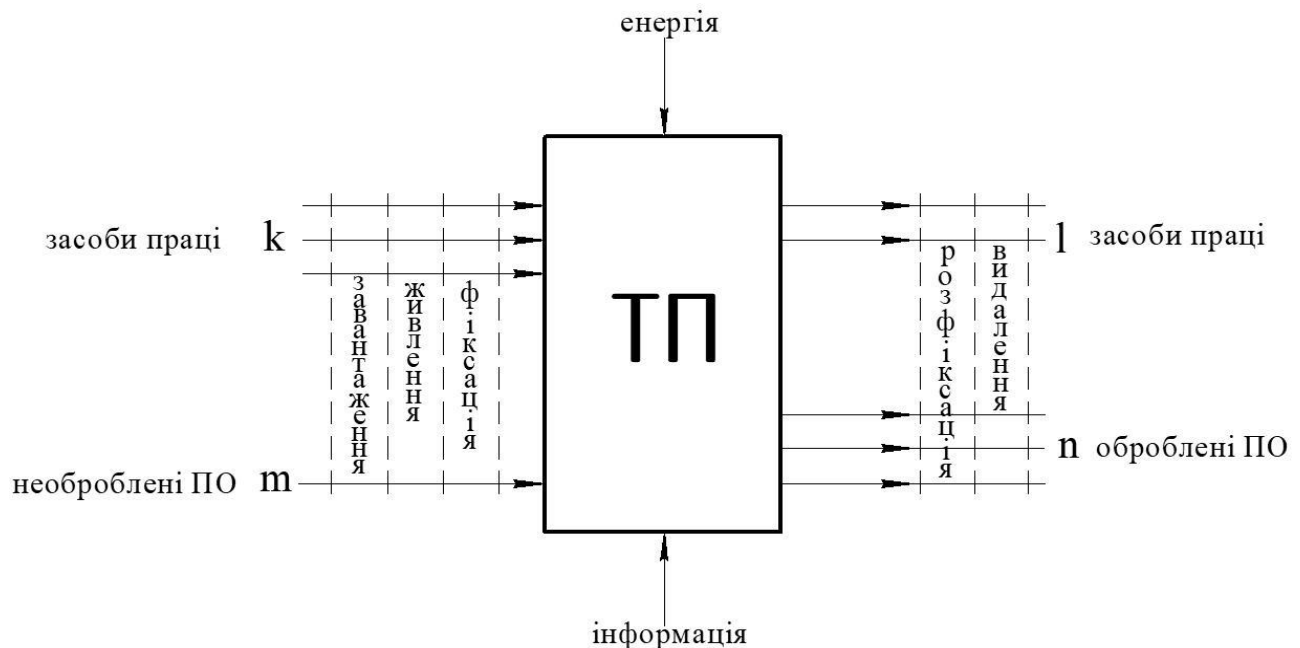


Рисунок 7.2 – Основні допоміжні переходи, необхідні для здійснення технологічного процесу

У ТП технологічні переходи через деякий час повинні бути повторені, для чого на робочу позицію необхідно доставити m потоків необроблених і прибрати n потоків оброблених ПО; доставити і видалити з робочої позиції відповідно k і l потоків засобів праці. Для функціонування цих потоків ПО – заготовок і засобів праці – інструментів, необхідно виконати допоміжні переходи, які не призводять до зміни ПО, але необхідні для виконання технологічних переходів.

Можна виділити наступні типові допоміжні переходи (див. рис. 7.2). На етапі завантаження верстата ПО (заготовками):

- орієнтація заготовки;
- переведення заготовки з хаотичного стану в просторі в потрібний;
- живлення-доставка зорієнтованої заготовки в зорієнтованому положенні на робочу позицію;
- фіксація-закріплення заготовки в пристосуванні на верстаті.

На етапі розвантаження верстата:

- розфіксація-розкріплення ПО (вже обробленої деталі);

- видалення ПО (деталі) з робочої позиції.

Кожен допоміжний перехід, як і технологічний, виконується вручну або з використанням засобів механізації та автоматизації. Технологічні і допоміжні переходи виконуються в певній послідовності за допомогою систем керування.

Хоча типових допоміжних переходів всього п'ять, конструктивні варіанти засобів механізації та автоматизації різноманітні, особливо для дій з заготовками, тому що вони відрізняються формою, розмірами та іншими характеристиками. Різноманітність конструктивних варіантів також обумовлена видом обладнання і типом виробництва.

Автоматизація завантаження і розвантаження в загальному комплексі завдань по автоматизації ТП є однією з найбільш складних. Автоматичним завантажувальним пристроєм (АЗП) називається комплекс механізмів, які забезпечують автоматичне переміщення заготовки з заданого місця зберігання в робочу зону верстата, а по завершенні операції обробки – видалення обробленої деталі (ПО) в задане місце зберігання.

АЗП для штучних заготовок можуть бути виконані у вигляді: самостійних вузлів верстата; вузлів, органічно пов'язаних з верстатом або з вузлів верстатних пристосувань. Пристрої складаються з ємності (бункера, магазину), в якій зосереджений запас заготовок, і з функціональних механізмів: механізму орієнтації, накопичувача, відсікача, живильника, заштовхувача, воружителя, виштовхувача, вивантажувача, приймального лотка і приводу.

Конструкція і принцип роботи АЗП визначаються розмірами і конструкцією заготовки, видом обладнання. АЗП за способом зосередження в них запасу штучних заготовок бувають: магазинні, бункерно-магазинні і бункерні.

7.3 Види автоматизованих завантажувальних пристроїв

При обробці на верстатах-автоматах штучних заготовок їх завантаження та розвантаження виконують за допомогою магазинних або бункерних механізмів живлення, автооператорів або маніпуляторів.

Магазинні завантажувальні пристрої (МЗП)

МЗП застосовують у багатосерійному, масовому виробництвах для заготовок, автоматична орієнтація яких утруднена через особливості геометричної форми, розмірів, або коли за масштабами виробництва недоцільно виготовляти складні завантажувальні пристрої (ЗП).

Ці пристрої (рис. 7.3) характеризуються тим, що запас попередньо зорієнтованих вручну заготовок зосереджується в один ряд у магазині-накопичувачі 1.

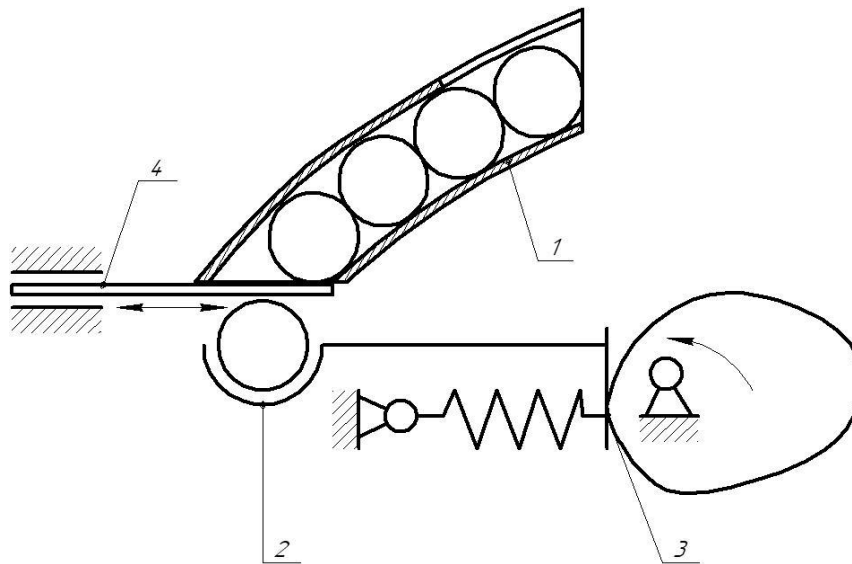


Рисунок 7.3 - Схема магазинного завантажувального пристрою: 1 – магазин; 2 – живильник; 3 – привід; 4 – відсікач

Передача заготовок у робочу зону верстата здійснюється поштучно за допомогою живильника 2, який в необхідний момент часу приводиться в дію приводом 3. Відокремлення заготовки із загального потоку для її подачі в робочу зону реалізується відсікачем 4.

Крім того для надійної роботи МЗП повинні бути блокуючий пристрій та механізми, які вбудовуються у верстат (пристрій, що заштовхує заготовку, захват заготовки, пристрій, що виштовхує готову деталь і пристрій, що її відводить).

Основний елемент, який відрізняє або визначає тип ЗП – магазин-лоток. Конструкція магазину (лотка) залежить передусім від конфігурації заготовок та способу їх транспортування по лотку. Транспортування може здійснюватися під дією власної ваги та примусово. Згідно з цим лотки бувають:

а) самопливні – за рахунок кута нахилу лотка заготовка переміщується по ньому під дією своєї ваги. Кут нахилу повинен бути більше кута тертя (кут тертя сталі по сталі – 6°). Заготовки переміщуються під дією власної ваги коченням або ковзанням (рис. 7.4). Тому лотки бувають: лотки-скати і лотки-склізи (коефіцієнт тертя кочення 0,01-0,005; ковзання – 0,1). Самопливні лотки зазвичай використовують для подачі заготовок впритул;

б) напів-самопливні – лоток вібрує, посилюючи переміщення вантажу (рис. 7.5), це необхідно, якщо кут нахилу лотка $\alpha < 10^\circ$;

в) з примусовим переміщенням вантажу (частіше їх називають магазини-транспортери). Переміщення заготовок в таких магазинах здійснюється впритул і вроздріб, поштучно або порціями (рис. 7.6).

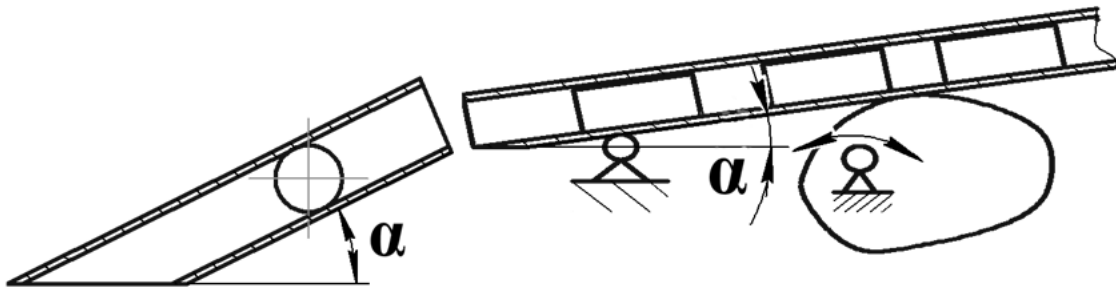


Рисунок 7.4 – Самопливний лоток

Рисунок 7.5 – Напів-самопливний лоток

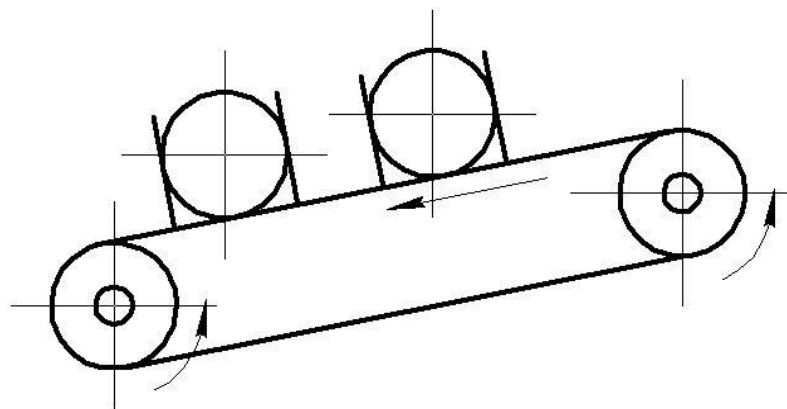


Рисунок 7.6 – Лоток з примусовим переміщенням вантажу

В залежності від конструкції і параметрів перерізу лотків вони бувають:

а) відкриті – при куті нахилу $\alpha < 25^\circ$ (рис. 7.7); тут B – ширина лотка; H – висота стінки; висоту стінки відкритих лотків вибирають у залежності від типу деталі: для валиків $H = 0,6R$; для ковпачків $H = (0,7-0,8)R$, для дисків $H > 0,6R$ (R – радіус заготовки).

б) закриті – при куті нахилу $\alpha < 25^\circ$ (рис. 7.8). В них $H = D + (0,5..1,0 \text{ мм})$, де D – діаметр заготовки.

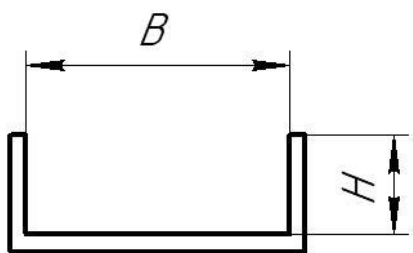


Рисунок 7.7 – Відкритий лоток

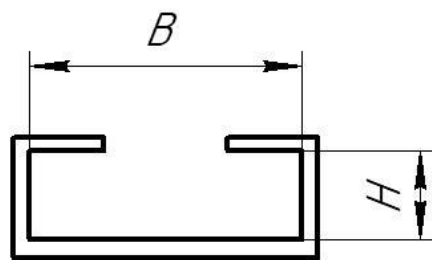


Рисунок 7.8 – Закритий лоток

Довжина лотків розраховується із необхідного запасу заготовок.

Бункерно-магазинні завантажувальні пристрої (БМЗП)

БМЗП (рис. 7.9) характеризуються тим, що запас попередньо орієнтованих заготовок зосереджується в ємності (бункері 5) в кілька рядів (штабелем).

Орієнтація може бути виконана вручну або спеціальним стороннім механізмом. Приймач зорієнтованих заготовок виконаний у вигляді лотка (магазину 1). Відокремлена відсікачем 4 від загального потоку заготовка передається до робочої зони живильником 2, який рухається за допомогою приводу 3. Для полегшення переміщення заготовок з бункера в магазин використовується ворухитель заготовок 6, який періодично підтряхає бункер. Бункерно-магазинні ЗП слід застосовувати для заготовок простої геометричної форми, які вимагають малого часу на обробку або коли виготовлення механізмів орієнтації утруднене (неможливе) або економічно недоцільне.

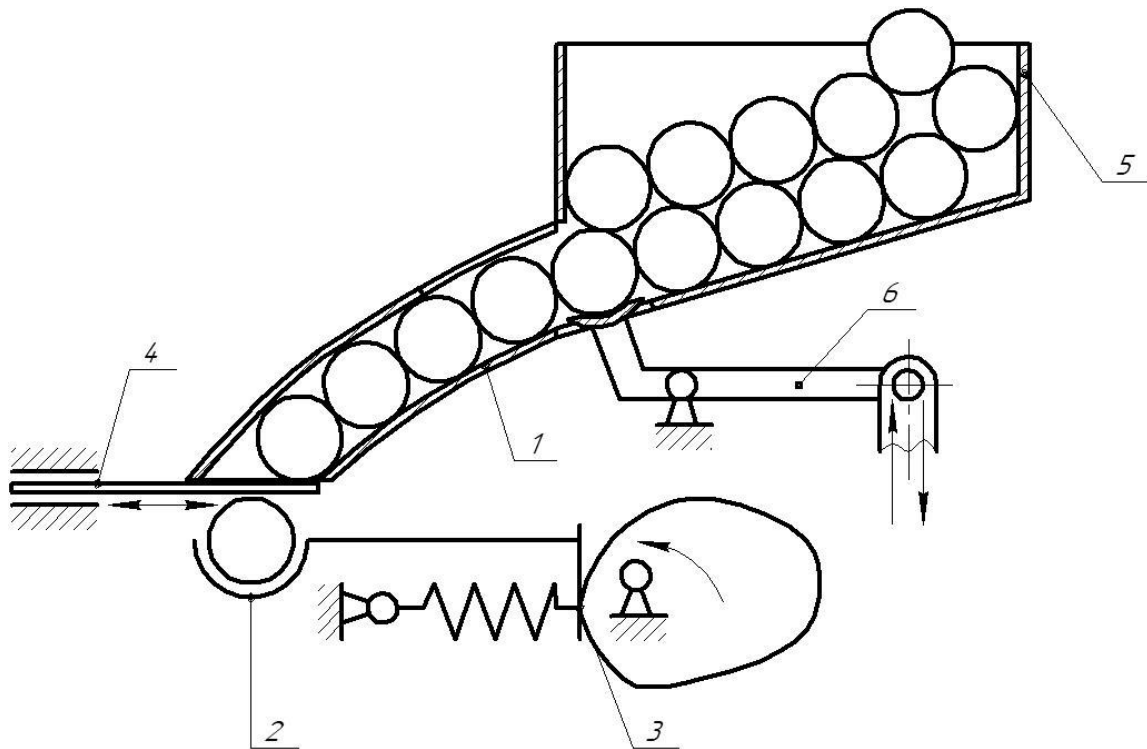


Рисунок 7.9 – Схема бункерно-магазинного завантажувального пристрою: 1 – магазин; 2 – живильник; 3 – привід живильника; 4 – відсікач; 5 – бункер; 6 – ворушитель

Бункерні завантажувальні пристрої (БЗП)

Призначення бункерних завантажувальних пристроїв (БЗП) – поштучна видача орієнтованих заготовок. На відміну від розглянутих раніше магазинних завантажувальних пристроїв та їх складових частин, бункерні пристрої мають у своєму складі додатково бункерно-орієнтуючий пристрій (БОП) тому, що запас заготовок зосереджується в ємності (бункері) безладно (навалом). Структурна схема бункерного завантажувального пристрою наведена на рисунку 7.10.

Необхідна орієнтація заготовок перед подачею їх до лотка накопичувача – магазину 1, здійснюється спеціальним механізмом, який розташований на виході з бункера. Передача заготовок поштучно (за допомогою відсікача 4) із магазину до робочої зони верстата здійснюється живильником 2, який отримує рух від приводу 3. Ворушитель 6 сприяє полегшенню переміщення орієнтованих заготовок із бункера до магазину. Невдало зорієнтовані заготовки за допомогою

скидувача 7 повертаються до бункера. БЗП слід застосовувати для заготовок простої та середньої складності геометричної форми, невеликих розмірів, обробка яких вимагає малого часу.

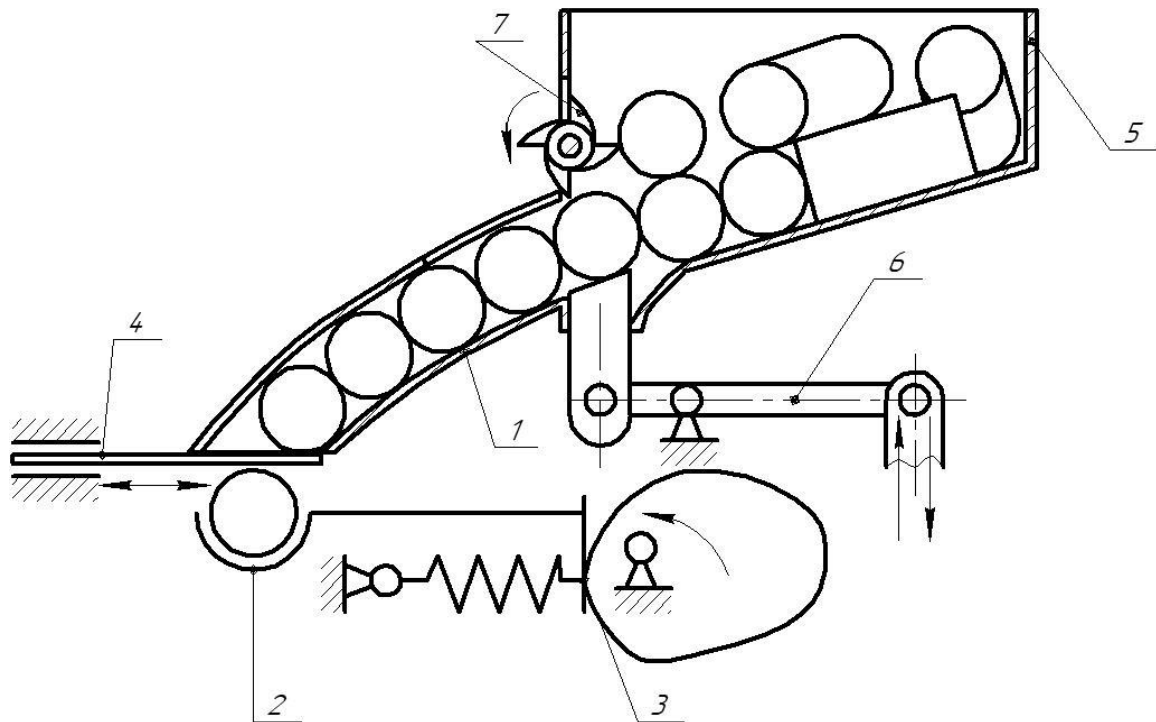


Рисунок 7.10 – Схема бункерного завантажувального пристрою: 1 – магазин; 2 – живильник; 3 – привід; 4 – відсікач; 5 – бункер; 6 – ворушитель; 7 – скидувач (запобіжний механізм)

Типова схема бункерного завантажувального пристрою наведена на рисунку 7.11.

Згідно з рисунком основними елементами БЗП є: 1 – лоток-накопичувач зорієнтованих заготовок; 2 – запобіжний механізм; 3 – механізм орієнтації заготовок; 4 – бункер; 5 – механізм вибирання заготовок; 6 – перегрібач; 7 – відсікач; 8 – живильник; 9 – захват пристрою, що заштовхує заготовку у затискний пристрій верстату; 10 – пристрій, що заштовхує заготовку; 11 – пристрій (лоток), що відводить оброблену деталь; 12 – механізм закріплення заготовки у верстаті; 13 – пристрій, що виштовхує оброблену деталь.

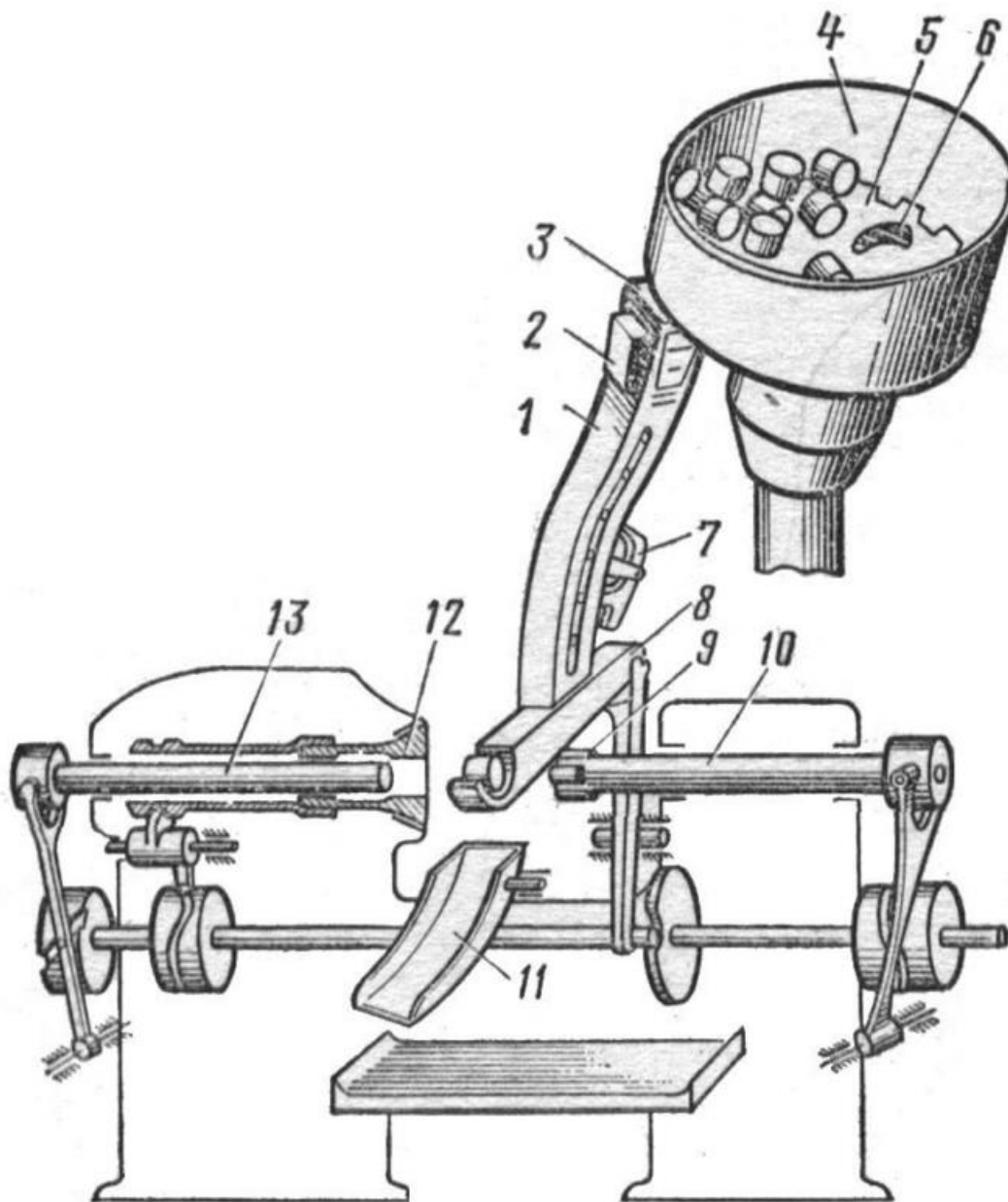


Рисунок 7.11 – Приклад конструкції бункерного завантажувального пристрою

Вибір типу ЗП для штучних заготовок і доцільність його застосування повинні бути підтверджені результатами техніко-економічних розрахунків. Незалежно від типу ЗП можна розбити на універсальні, універсально-налагоджувальні і спеціальні. Перші два типи при переналагодженні або підналагодженні і заміні деяких деталей пристрою можуть бути використані для

групи заготовок, відмінних одна від одної за розміром, іноді і за формою; пристрої третього типу придатні тільки для заготовок певного типу.

Пристрої можуть бути завантажувальні (знімання заготовок здійснюється штовхачем верстата, а деталь видаляється під дією сил тяжіння), а також завантажувально-розвантажувальні – це автооператори або механічні руки.

7.4 Механізми орієнтації БЗП

7.4.1 Функціональне призначення механізмів орієнтації

Одним з основних елементів БЗП є пристрій, що орієнтує – бункерно-орієнтуючий пристрій (БОП). Основне призначення БОП – накопичення вже зорієнтованих заготовок перед подачею їх до магазину.

Механізми орієнтації забезпечують захоплення з бункера і орієнтацію заготовок у просторі, але не в часі. Таким чином, заготовки виходять з механізму в певному положенні (орієнтованими), але в різні проміжки часу. Орієнтація заготовок у часі здійснюється живильником ЗП. Заготовки в бункері розташовані хаотично, тому процес їх орієнтації з видачою в заданому положенні в магазин-накопичувач носить випадковий характер і повинен розглядатися з позиції теорії ймовірностей.

Механізм орієнтації видає заготовки не ритмічно, проте в певні відрізки часу продуктивність механізму можна вважати практично постійною Q_{cp} . В живильник, а значить, і в робочий механізм верстата, заготовки повинні подаватися рівномірно в потрібній кількості Q_n . Так як на продуктивність механізму орієнтації впливають фактори важко керовані, то механізм орієнтації проектується на роботу «з переповненням», тобто $Q_{cp} > Q_n$. Це перевищення становить від 10 до 35% (залежить від типу пристрою, складності конфігурації заготовки і т. д.).

Так як в окремі періоди часу заготовки можуть заповнити накопичувач, в механізмі орієнтації повинен бути передбачений запобіжний механізм, який автоматично вимикає захватно-орієнтуючий орган і автоматично включає його,

як тільки становиться можливим прийом заготовок. Іноді замість запобіжного механізму передбачають механізм для скидання зайвих заготовок у спеціальну тару або знов у бункер.

Кількість відомих конструкцій механізмів орієнтації велика, але їх можна об'єднати в два класи:

а) I клас – механізми орієнтації з захватними органами, які здійснюють обертальний, коливальний або зворотно-поступальний рух;

б) II клас – механізми з вібруючим захватно-орієнтуючим органом (вібробункери).

Механізми орієнтації I класу за способом видачі заготовок у магазин-накопичувач розбивають на механізми:

- з поштучною видачою заготовок;
- з видачою порціями безперервно наступних одна за однією заготовок;
- з видачою заготовок безперервним потоком.

Механізми орієнтації II класу видають заготовки в магазин-накопичувач тільки безперервним потоком.

Середня продуктивність механізмів орієнтації розраховується за такими формулами:

- для механізмів з поштучною видачою заготовок

$$Q_{cp} = kzn = k \frac{v}{m_1} = k \frac{v}{l+a}, \left(\frac{\text{шт}}{\text{хв}} \right); \quad (7.1)$$

- для механізмів з видачою заготовок порціями

$$Q_{cp} = kztmn, \left(\frac{\text{шт}}{\text{хв}} \right); \quad (7.2)$$

- для механізмів з безперервною видачою заготовок

$$Q_{cp} = k \frac{v}{l}, \left(\frac{\text{шт}}{\text{хв}} \right), \quad (7.3)$$

де k – коефіцієнт, що характеризує ймовірність захоплення заготовок, який залежить від ряду факторів і визначається експериментальним шляхом; Z – число захватних органів; n – частота обертання або число подвійних ходів робочого органу в хвилину; m_1 – крок захватних органів; v – окружна швидкість загарбного органу; m – максимальне число одночасно захоплюваних заготовок; l – розмір заготовки в напрямку руху.

7.4.2 Класифікація деталей за складністю орієнтації

Спосіб захвату і орієнтації заготовок, які підлягають подачі, залежить від їх форми і розмірів, наявності в них осей і площин симетрії та їх особливих властивостей (крихкості, зчеплюваності та ін.).

Розрізняють такі основні різновиди деталей (штучних заготовок) за складністю їх орієнтування (рис. 7.12).

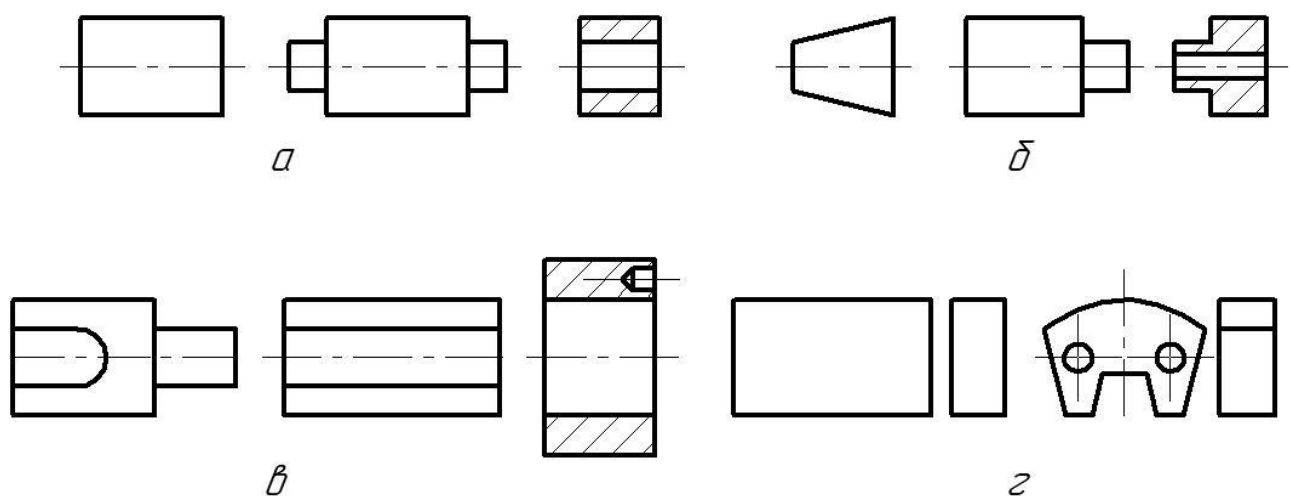


Рисунок 7.12 – Розподіл деталей за складністю орієнтування

І Деталі, які мають осі обертання:

- деталі, які мають безліч осей симетрії (кульки), заготовки цієї групи не потрібно орієнтувати;
- деталі типу тіл обертання, які мають одну вісь симетрії і одну площину

симетрії, перпендикулярну до осі обертання (див. рис. 7.12, а), орієнтування – одноразове по осі симетрії;

- деталі типу тіл обертання, що не мають площини симетрії, перпендикулярної до осі, тобто з однією віссю симетрії – віссю обертання (див. рис. 7.12, б); орієнтування дворазове (по осі обертання і відносно площини, перпендикулярної до осі обертання): необхідно деталь привести в горизонтальне положення, повернути при необхідності за потрібним кінцем через вертикальне положення;

- деталі типу тіл обертання з несиметричними елементами (див. рис. 7.12, в); орієнтування багаторазове по осі симетрії – за її напрямком і поворотом відносно цієї осі.

II Деталі призматичні і пластинчасті (див. рис. 7.12, г)

- орієнтація проста;
- орієнтація багатократна.

III Деталі, які не підлягають автоматичному орієнтуванню

- нетверді (наприклад, гумові прокладки і т. д.);
- нежорсткі (наприклад, тонкий дріт);
- деталі, які можуть взаємно зчіплюватися (куточки, гачки і т. д.).

Крім того, заготовки слід розрізняти по відношенню їх розмірів. Для заготовок з формою тіл обертання це буде відношення довжини заготовки l до діаметра d (l/d), а для плоских – відношення довжини l до ширини a (l/a) визначає і ступінь стійкості положення заготовок у завантажувальному просторі бункера при роботі, а отже і розташування захватних і орієнтуючих органів бункера.

7.4.3 Приклади конструкцій механізмів орієнтації з захватними органами

Схема механізмів орієнтації з гачками

Для ковпачків, втулок, довжина яких більше діаметру, широке застосування отримали механізми орієнтації з похило розташованими штирями

на внутрішній поверхні кільця і з гачками, розташованими на бічній або торцевій поверхні диска, що обертається (рис. 7.13). У механізмі захоплення, а разом з ним і орієнтації заготовок, вона здійснюється гачками 4, розташованими на периферії диска 3, що обертається.

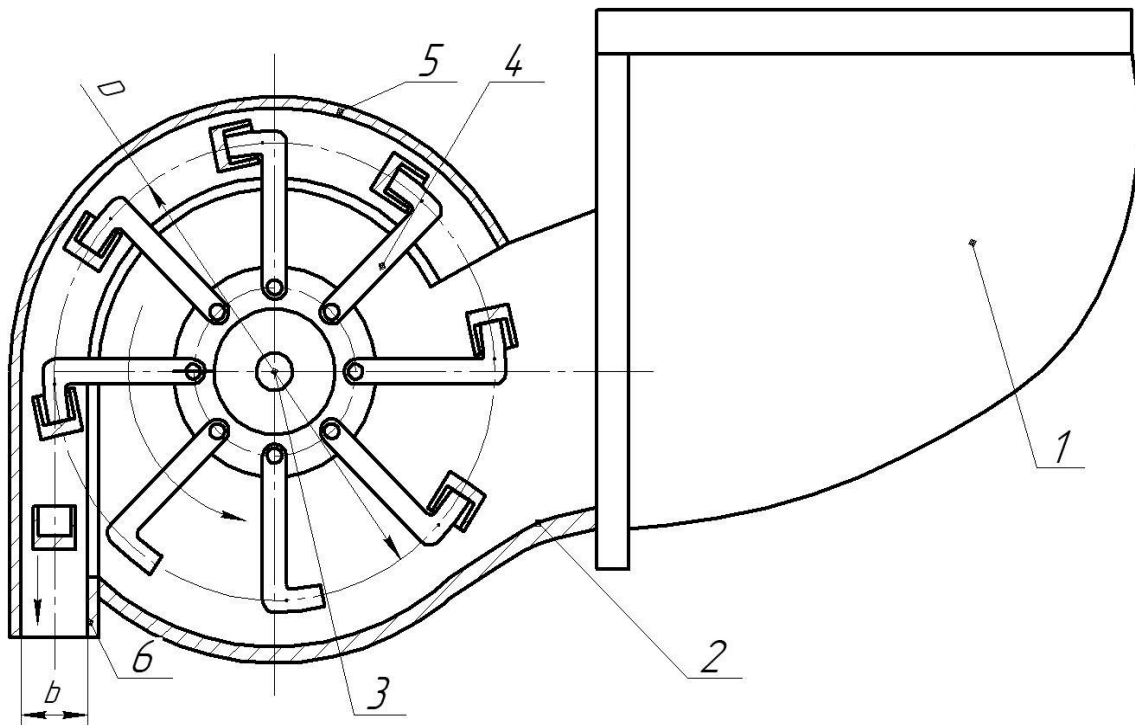


Рисунок 7.13 – Схема механізму орієнтації з гачками

Засипані в бункер 1 заготовки, скочуючись по похилому дну в корпус 2 механізму, зустрічають на своєму шляху обертовий диск 3 з гачками 4. Заготовки, захоплені гачками, передаються в приймач 5, що має вигляд трубчастого лотка з розрізом, крізь який вільно проходить стрижень гачка. У приймачі 5 заготовки, зісковзнувши з гачка, надходять у накопичувач 6. Якщо накопичувач заповнений або заготовка зайняла на гачку неправильне положення і не може потрапити в приймач 5, обертання диска з гачками припиняється, завдяки наявності запобіжного механізму у вигляді муфти ковзання (на рисунку не показана). При усуненні причини зупинки включення диска з гачками відбувається автоматично. Механізм орієнтації з допомогою гачків здійснює видачу заготовок поштучно.

Схема шиберного механізму орієнтації

У шиберному механізмі орієнтації (рис. 7.14) заготовки, засипані в бункер 1, захоплюються ножом (шибером) 3, що переміщується вертикально.

Частина захоплених заготовок падає на поверхню приймача 2, а деякі потрапляють стрижнями між планками приймача лотка. Заготовки, що зайняли невірне положення, скочуються вниз по поверхні приймача 2 і відкидаються назад у бункер зірочкою 4, яка обертається назустріч потоку заготовок, що переміщуються.

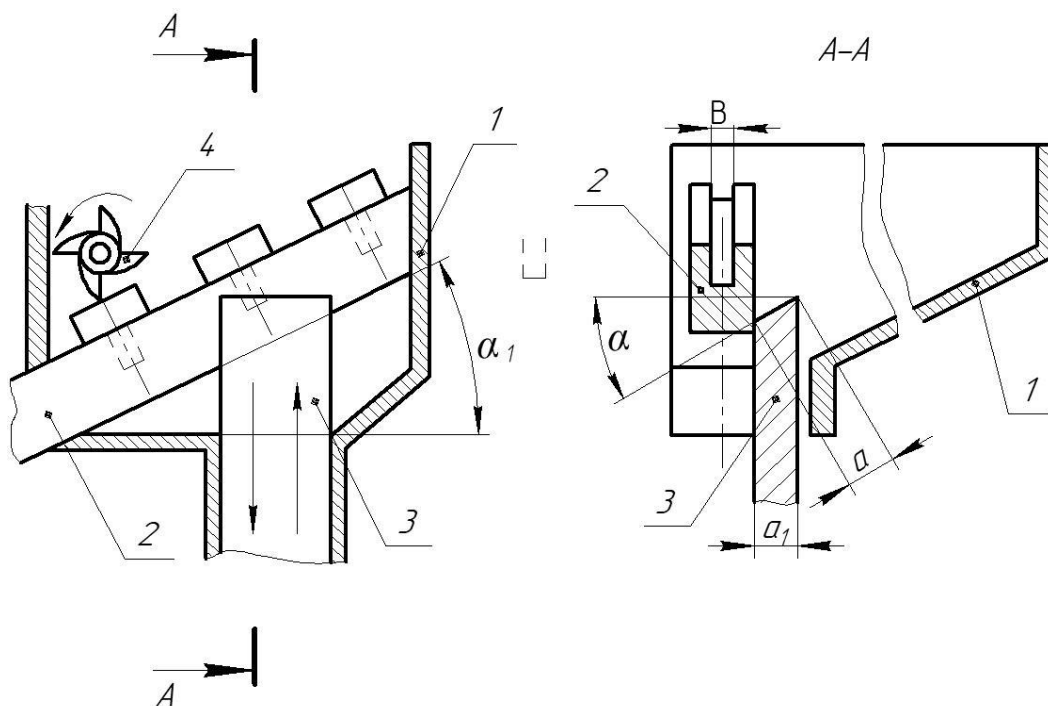


Рисунок 7.14 – Схема шиберного магазину орієнтації

Заготовки, що зайняли правильне положення, тобто між планками, спираючись головками на планки лотка приймача 2, ковзають вниз, проходять під зірочкою 4 і надходять у накопичувач. Шибер 3 отримує зворотно-поступальний рух від приводу, який здійснюється від кулачка або пневмоциліндра.

При виборі числа подвійних ходів шибера в хвилину необхідно враховувати: а) час переміщення шибера за один робочий цикл має бути більше часу повної видачі орієнтованих заготовок з приймача в накопичувач; б) сила

інерції в кінці ходу шибера повинна бути менше сили, здатної відірвати заготовку від ножа.

Схема секторного механізму орієнтації

Секторний механізм орієнтації (рис. 7.15) складається з бункера, рухомого сектора з прорізю на зовнішній поверхні, розміри якої відповідають розміру заготовки, що орієнтується, і скидача, призначеного для перекриття частини щілини з метою забезпечення вільного ковзання заготовки з сектора в накопичувач (лоток). Скидач закріплений на поворотному важелі і підтискається до сектора пружиною. Сектор збірний, його виконання залежить від форми заготовок.

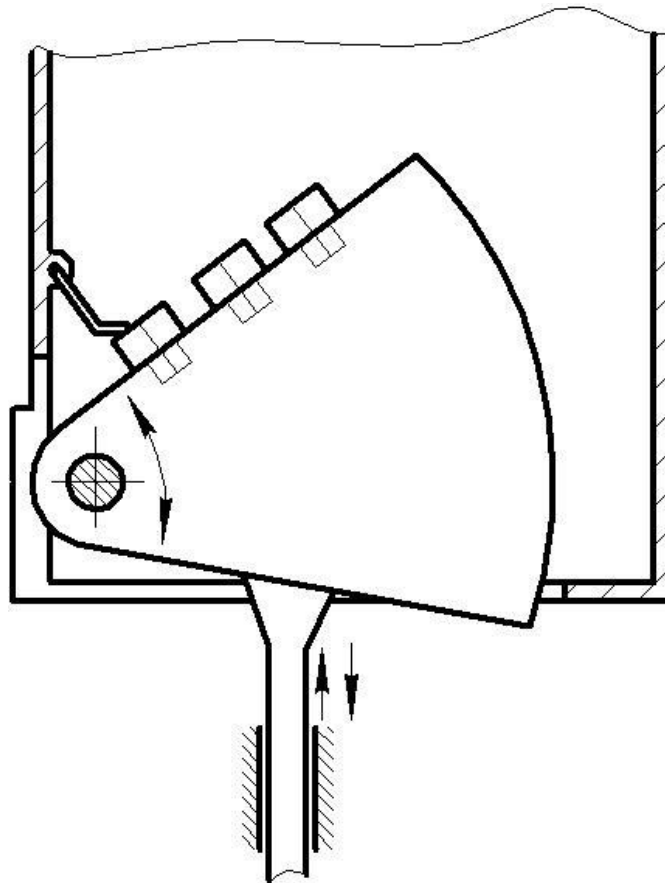


Рисунок 7.15 – Секторний механізм орієнтації

Сектор закріплений в бункері на осях, щодо яких має хитання. Гойдальний рух сектора передається за допомогою приводу (кулачок, куліса, шток пневмоциліндра). При визначенні числа подвійних ходів сектора виходять з необхідності видачі захоплених за один робочий цикл заготовок з паза сектора в

накопичувач і виключення викидання заготовок у момент знаходження сектора у верхньому положенні.

Схема елеваторного механізму орієнтації

На підприємствах для подачі деталей у вигляді кілець, дисків, валиків, гладких і з головками застосовують елеваторні механізми орієнтації (рис. 7.16).

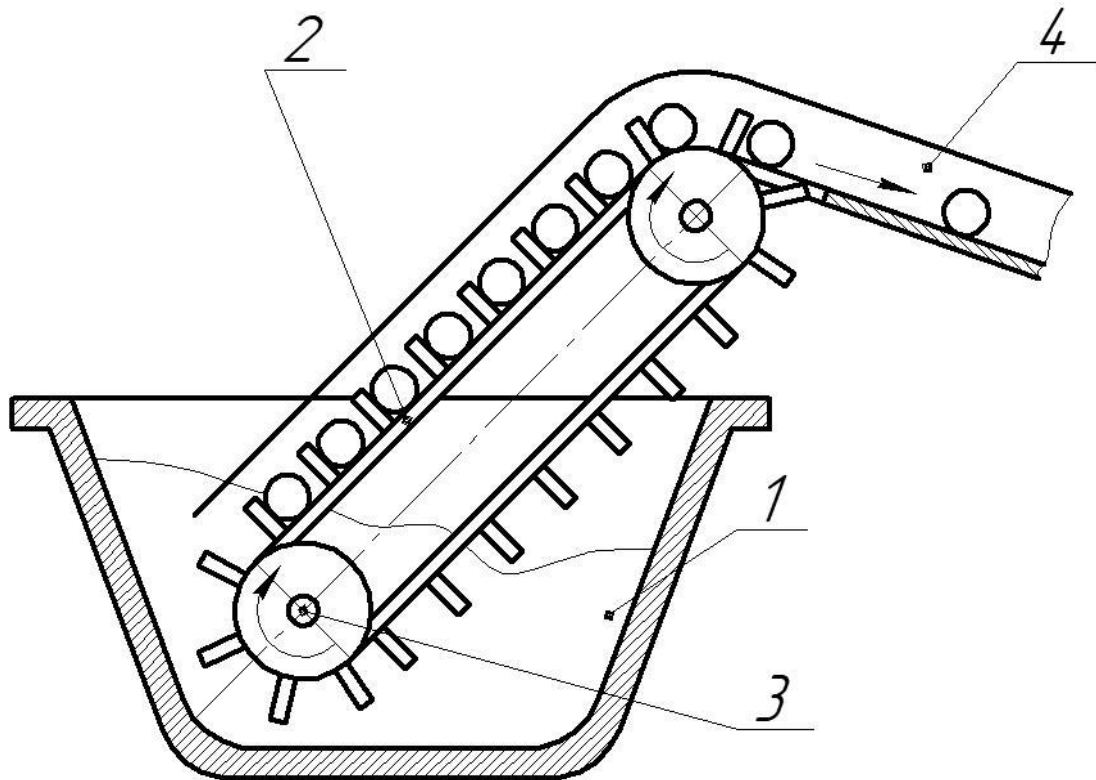


Рисунок 7.16 – Елеваторний механізм орієнтації

Механізм має бункер 1, похилий транспортер 2, привід 3 з натяжним пристроєм і накопичувач 4. Заготовки скочуються по похилому дну бункера і захоплюються лопатями, прикріпленими до транспортеру, піднімаються до приймача і скочуються в накопичувач 4. Для того, щоб заготовки не випадали при русі транспортера, передбачені бортові планки. Досягнувши приймача, заготовки переміщуються через виріз у планці в накопичувач.

Елеваторні механізми відрізняються один від одного виконанням захватних органів і мають запобіжні пристрої, що вступають у дію при

переповненні приймача і накопичувача. Елеваторні механізми орієнтації широко застосовуються в умовах серійного виробництва.

Схема дискового кишенькового механізму орієнтації

Кишенькові механізми орієнтації знаходять широке застосування. Розрізняють кишенькові механізми з розташуванням пазів для орієнтації заготовок: перпендикулярно площині обертального диска (рис. 7.17, *а*) (для заготовок типу втулок, фасонних стрижнів, ковпачків при відношенні їх розмірів $l/d = 1,25-3,00$); по хорді диска (рис. 7.17, *б*) (для заготовок типу валиків і ковпачків, якщо $2,5 < l/d < 4,5$); по радіусу диска (рис. 7.17, *в*) (для заготовок типу валиків і ковпачків, якщо $2 < l/d < 3,5$).

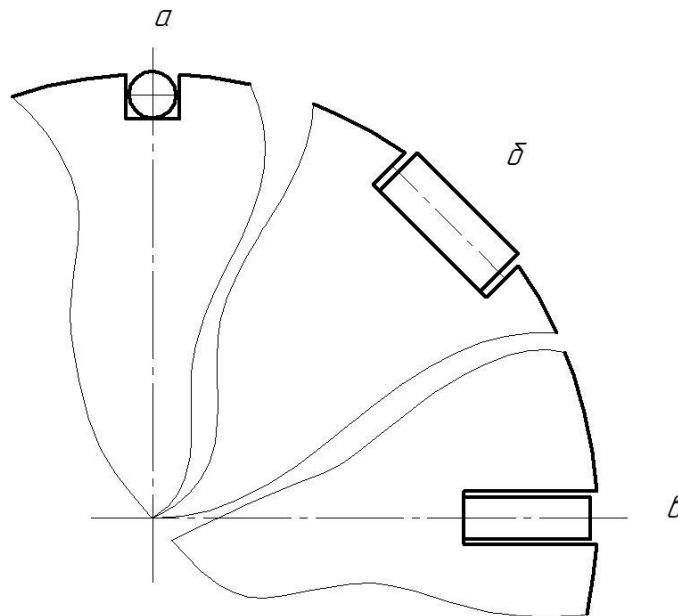


Рисунок 7.17– Варіанти розташування орієнтуючих пазів на диску

Принцип роботи кишенькового механізму орієнтації (рис. 7.18) є наступним. Нерухомий диск 1 пристрою змонтований на корпусі черв'ячного механізму редуктора 5. Рухомий (робочий) диск 2 закріплений на валу 3 черв'ячного редуктора. У диску 2 по колу зроблені кишені Б, в які западають заготовки, які ворушаться лопатями 6, закріпленими на поверхні диска 2. При обертанні диска заготовки западають в кишені Б і виносяться до приймального вікна 7 нерухомого диска, через яке видаються в лоток-накопичувач 8.

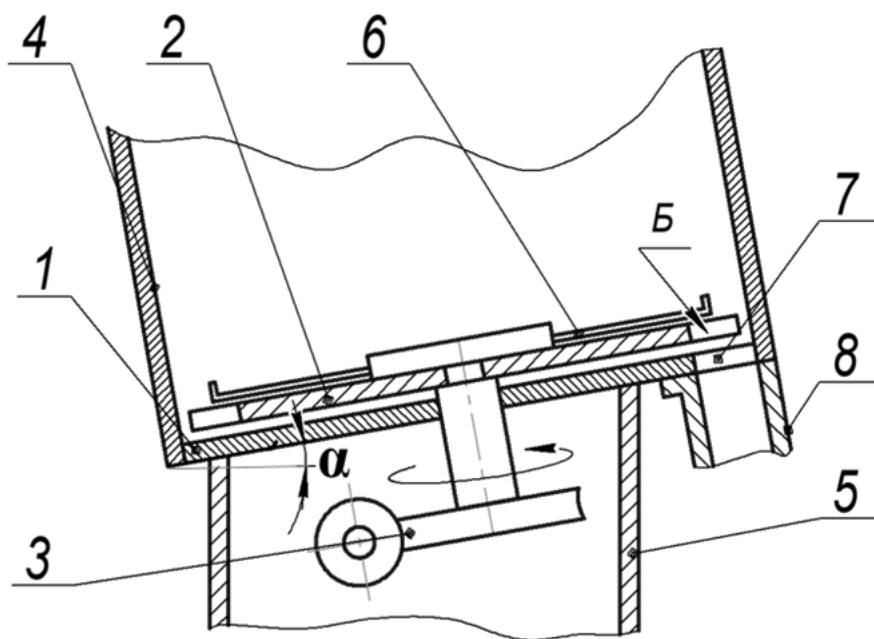


Рисунок 7.18 – Схема кишенькового механізму орієнтації

В даному виконанні захват і орієнтація заготовок відбуваються в один прийом. Якщо заготовка вимагає орієнтації в два прийоми (подача несиметричних заготовок), застосовують механізми орієнтації з подвійними кишенями або кишенькові механізми з пристроєм вторинної орієнтації, змонтованим в приймальній частині накопичувача.

Якщо з робочого диска кишенькового механізму орієнтації заготовки безпосередньо видаються в приймач, то розрахунку підлягають: розміри кишень, вхідної частини приймача (вікна приймача), швидкість обертання робочого диска. Переміщення заготовки з робочого диска в приймач відбувається в період обертання диска за рахунок дії сили тяжіння заготовки.

7.4.4 Бункерно-орієнтуючі пристрої без захватних органів

У пристроях із захватними органами вибірка заготовок із загальної маси в бункері та їх орієнтація виконуються за допомогою зворотно-поступальних або обертальних рухів механічних захватних органів (гачків, штирів, шиберів, дисків з кишеньками та ін.). Недоліки цих пристроїв такі: наявність великого числа

рухомих деталей і поверхонь, що труться; велика інтенсивність перемішування заготовок і пов'язані з цим великі сили; швидке зношування, а також можливі поломки захватних органів і пошкодження заготовок, які подаються.

У пристроях без захватних органів заготовки вибираються з бункера, переміщуються і орієнтуються завдяки силам тертя та інерції. Серед пристроїв цієї групи найбільш перспективні вібраційні завантажувальні пристрої (ВЗП), в яких заготовки переміщуються по лотках завдяки силам інерції і тертя, що виникають при коливанні лотків.

ВЗП отримали широке застосування в різних галузях промисловості для подачі заготовок різної конфігурації (шайби, гайки, гвинти, деталі радіотехнічної промисловості і т. д.), відносно невеликих розмірів, з різних матеріалів (сталь, чавун, мідь текстоліт, скло і т. д.).

Застосовуються ВЗП із прямолінійними і спіральними (круговими) лотками. В якості приводу в них використовуються електромагнітні, дисбалансні, пневматичні і гідравлічні вібратори. Ці пристрої забезпечують безступінчасте регулювання продуктивності в широких межах, що не вимагає додаткових блокуючих механізмів для відводу заготовок при переповненні лотків, переміщують заготовки вгору по похилому лотку, дають можливість орієнтувати заготовки в процесі їх переміщення, конструктивно прості і надійні в роботі.

На рис. 7.19 показана принципова схема ВЗП з прямолінійним лотком.

На ній зазначені сили, що діють на заготовку при русі лотка вправо (вперед). При використанні електромагнітного вібратора лоток отримує гармонійні коливання спрямовані під кутом α (α – кут нахилу пружин по відношенню до вертикалі) з високою частотою і амплітудою коливань лотка в горизонтальній площині X , яка пов'язана з величиною амплітуди коливань пружин δ , що залежить від параметрів вібруючих пружин.

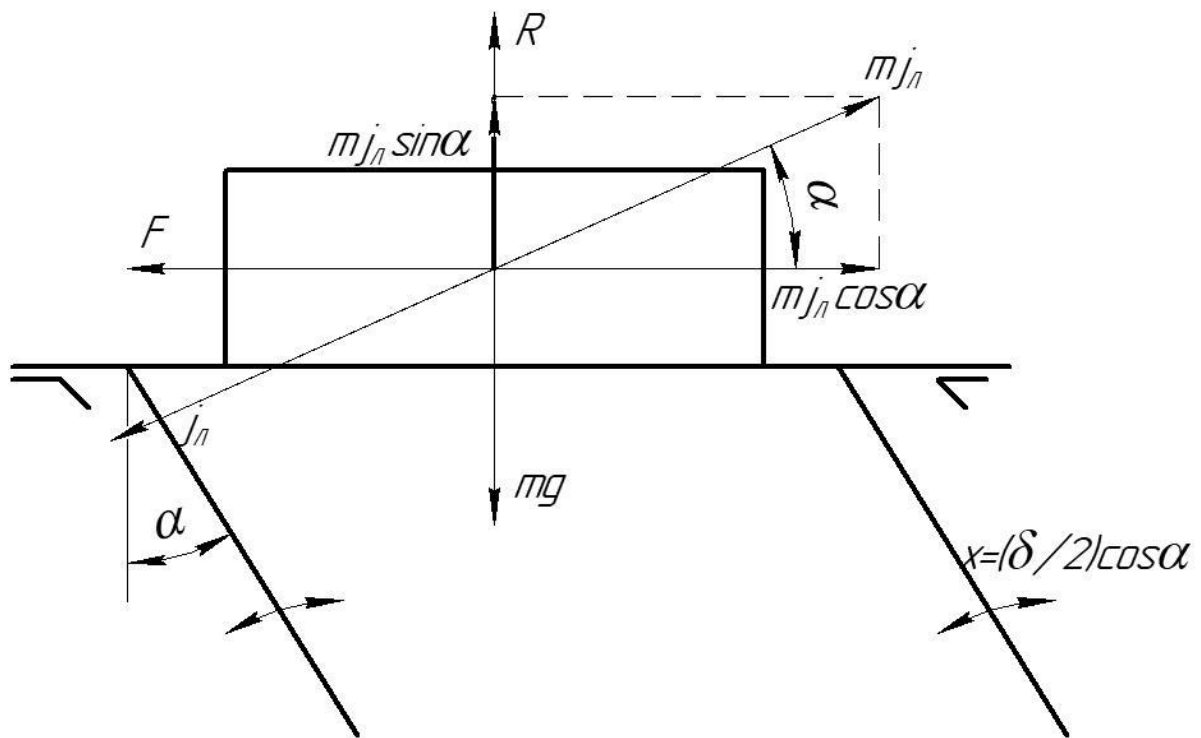


Рисунок 7.19 – Принципова схема дії вібраційного завантажувального пристрою

На заготовку масою m , яка знаходиться на вібруючому лотку, діють наступні сили: сила тертя F (сила опору, яка прагне переміщати заготовку разом з лотком); сила інерції $m\dot{j}_L$ (рушійна сила), де $\dot{j}_L$ – прискорення лотка; сила тяжіння mg ; R – реакція діючих на лоток сил.

При русі лотка вліво (назад) прискорення лотка змінює знак, при цьому змінюють напрям сила інерції і сила тертя. У тому випадку, коли сили інерції будуть перевищувати сили тертя, заготовка почне прослизати щодо лотка.

При відповідному співвідношенні діючих сил інерції та сил тертя заготовка буде переміщуватися відносно лотка вправо (див. рис. 7.19).

При збільшенні амплітуди коливань лотка збільшується і прискорення лотка $\dot{j}_L$. Тоді при русі лотка вперед можуть виникнути умови, коли реакція діючих на лоток сил R буде дорівнювати нулю, тобто $R = mg - m\dot{j}_L \sin \alpha = 0$.

У цей момент заготовка відривається від лотка і деякий час знаходиться в польоті.

Таким чином, у залежності від умов, в яких знаходиться заготовка на вібруючому лотку, вона може переміщатися щодо нього в різних режимах:

- рух з прослизанням, коли заготовка прослизає щодо лотка в прямому або зворотному напрямку без відриву;

- рух з підкиданням, коли заготовка не тільки прослизає, але й відривається від лотка і деякий час знаходиться в польоті; рух з підкиданням може бути переривчастим і безперервним.

Тип режиму руху заготовки по вібруючому лотку залежить від критичних амплітуд коливань лотка, які, в свою чергу, визначаються частотою коливань лотка і параметрами вібруючих пружин.

Швидкість переміщення заготовок по вібруючому лотку – важлива характеристика для оцінки продуктивності роботи орієнтуючого пристрою. Вона залежить від параметрів ВЗП: кута α нахилу пружин-підвісок, кута θ – підйому лотка, частоти коливань лотка $f_{\text{л}}$, амплітуди коливань лотка та ін. Крім того, на швидкість переміщення впливають такі фактори, як зміна сили тертя заготовки по лотку, пружне зіткнення заготовки з лотком після польоту, форма заготовки та ін. Аналітично визначити швидкість переміщення заготовок по вібруючим лоткам у різних режимах руху дуже складно. Найбільш просто ця швидкість може бути визначена в режимі безперервного підкидання, тобто коли заготовка безперервно перебуває в польоті і стикається з лотком тільки на мить для отримання нового імпульсу для польоту.

Якщо прийняти теоретичну швидкість заготовок в режимі безперервного підкидання рівній горизонтальній складовій швидкості лотка в момент відриву заготовки від нього і врахувати ряд факторів, перерахованих вище (зміна сил тертя заготовки по лотку і т. д.), то практичну швидкість можна визначити за формулою

$$v_{\text{н}} = \frac{206}{f_{\text{л}} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (7.4)$$

де v_n – практична швидкість переміщення заготовки по лотку, що вібрує, в режимі безперервного підкидання при амплітуді коливань лотка, м/хв; f_L – частота коливань лотка, с^{-1} ; α – кут нахилу пружин, град.

Дана формула показує, що зі зменшенням кута α нахилу підвісок при $f_L = \text{const}$ швидкість переміщення по вібруючому лотку збільшується. Всі виведені залежності справедливі для ВЗП як із прямолінійними, так і зі спіральними лотками.

У ВЗП зі спіральними лотками тангенційно розташовані пружини надають спіральному лотку вертикальні і кругові коливання, які в сумі спрямовані по гвинтовій лінії. У них використовують один або три електромагнітних приводи. При використанні одного електромагніту вібратор встановлюють в середині підстави. Конструкція ВЗП зі спіральним лотком і трьома електромагнітами в приводі приведена на рис. 7.20.

Пристрій складається з бункера 1 зі спіральним лотком (кут нахилу спіралі лотка $\theta = 1^\circ 35'$, матеріал – алюміній); основи бункера 2, виконаної з текстоліту; трьох кронштейнів з якорями 3; трьох електромагнітних вібраторів 4, закріплених на кронштейнах 5; трьох підвісок (пружин) 6, які прикріплені до кронштейнів з якорями 3 і кронштейнів 7. Кронштейни 5 з електромагнітними вібраторами і кронштейни 7 встановлені на масивній основі 8. Для того, щоб вібрації не передавалися на верстат, завантажувальний пристрій встановлено на гумових амортизаторах 9. Підвіски 6 являють собою набір плоских пружин. Зазор між якорем і електромагнітом вібратора змінюють переміщенням кронштейна 5 щодо основи 8. Живляться електромагніти вібраторів від однонапівперіодного випрямляча. Частота коливань спірального лотка становить 3000 коливань в хвилину.

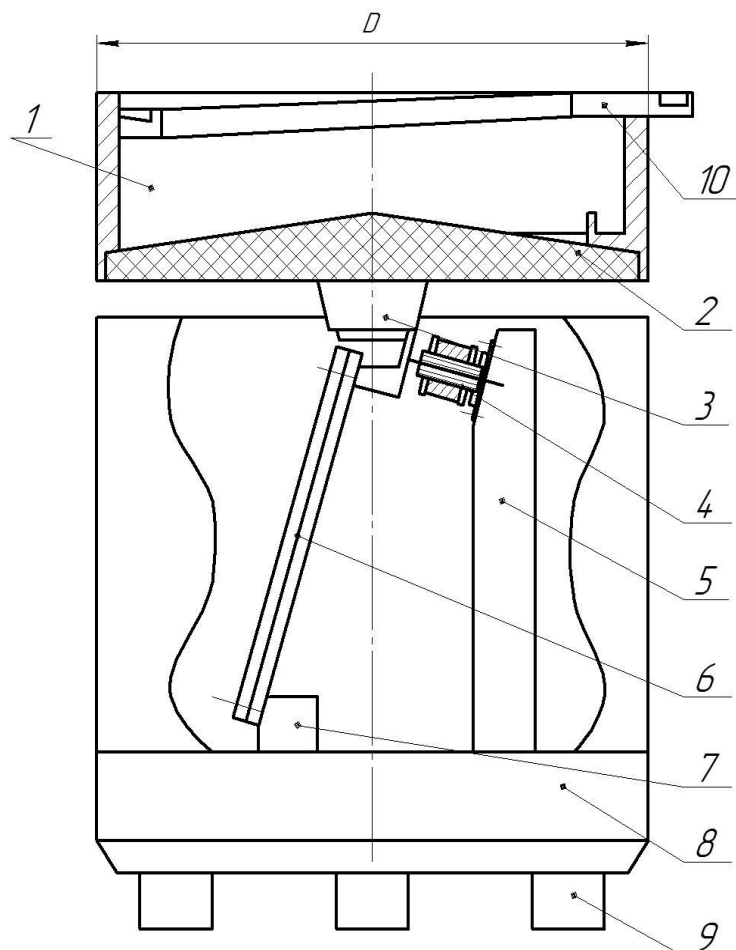


Рисунок 7.20 – Схема ВЗП зі спіральним лотком і трьома електромагнітами в приводі

Заготовки засипаються в бункер навалом. Завдяки спрямованим коливанням бункера зі спіральним лотком заготовки переміщуються по конусному дну бункера до периферії, а потім – по спіральному лотку вгору. Особливість роботи ВЗП полягає в тому, що заготовки в них орієнтуються в процесі переміщення по вібруючому лотку. Вибір способу орієнтування залежить від форми переміщуваних заготовок.

На рис. 7.21 наведені деякі способи орієнтування заготовок простої форми. Заготовки деталей типу дисків, кілець, квадратних або прямокутних пластин можна орієнтувати і подавати в один шар по спіральному лотку, нахиленому до центру під кутом $\beta = 3 \div 5^\circ$ (див. рис. 7.21, а). Висоту буртика лотка приймають меншою за висоту заготовки.

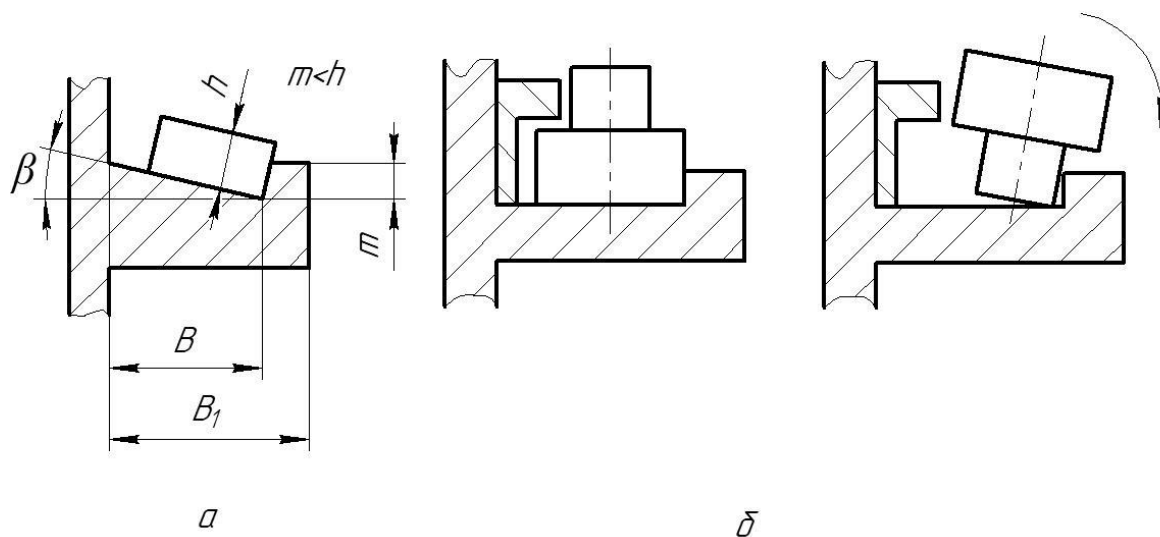


Рисунок 7.21 – Способи орієнтування заготовок простої форми

При переміщенні двох шарів заготовок заготовки верхнього шару зісковзують у бункер. На рис. 7.21, б показаний спосіб орієнтації двоступеневих заготовок. Заготовки, у яких циліндрична частина більшого діаметра і вони розташовані нагорі, скидаються козирком до бункера.

7.4.5 Можливості орієнтування деталей різних класів у вібраційному завантажувальному пристрої

Функції орієнтуючих пристроїв наступні: виділити заготовки із загальної маси, надати їм необхідне положення і зберегти його в умовах переміщення. Тобто, вони забезпечують захват заготовки з ємності та її просторове орієнтування.

Просторове орієнтування здійснюється поетапно. При первинному орієнтуванні заготовки з хаотичного стану в БЗП переводяться в одне або кілька стійких помітних положень. Це здійснюється на лотку бункера, де заготовки утворюють потік із кількох помітних положень. При вторинному орієнтуванні з цих помітних положень заготовки переводяться в одне певне. Процес виконується в орієнтуючих пристроях, які монтуються на виході БЗП або виносяться в інше місце.

Вторинне орієнтування може бути виконане за кілька переходів, число яких залежить від конфігурації заготовки, способу орієнтування і вимог, що пред'являються до її орієнтації, і зводиться до відпрацювання ряду кутових і лінійних переміщень щодо осей симетрії. Процеси вторинного орієнтування – найбільш складні і залежать від конфігурації заготовок (деталей), що орієнтуються.

Деталі II класу (рис. 7.22), що мають одну вісь симетрії – вона ж вісь обертання, можуть виходити з бункерних орієнтуючих пристроїв частково орієнтованими (тільки по осі симетрії), тобто можуть подаватися вперед різними торцями, тобто мати на виході з бункера два різних положення. У таких випадках потрібна додаткова орієнтація, яка здійснюється на шляху транспортування деталей в робочу зону технологічного обладнання.

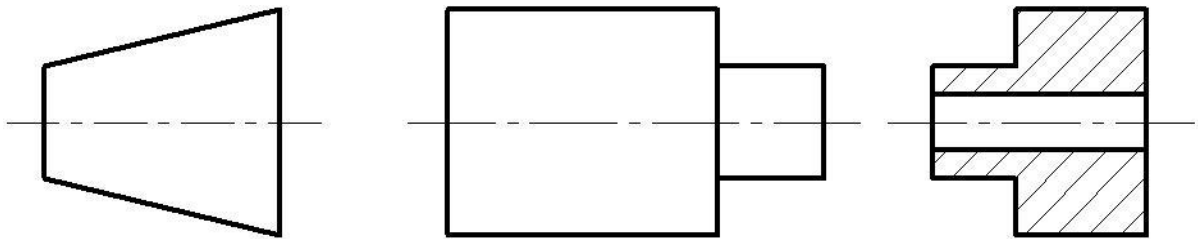


Рисунок 7.22 – Представники деталей II класу

Можливість орієнтування таких деталей у вібраційному завантажувальному пристрої наступна. Циліндричні деталі з буртиком або головкою, що мають відношення $l/d \approx 1$, при необхідності їх видачі головкою вгору, зависають на напрямних коробчастого містка 1, розташованого над вирізом в спіральному лотку, і переносяться на інший бік вирізу. Деталі, розташовані головкою вниз, випадають в бункер через виріз (рис. 7.23).

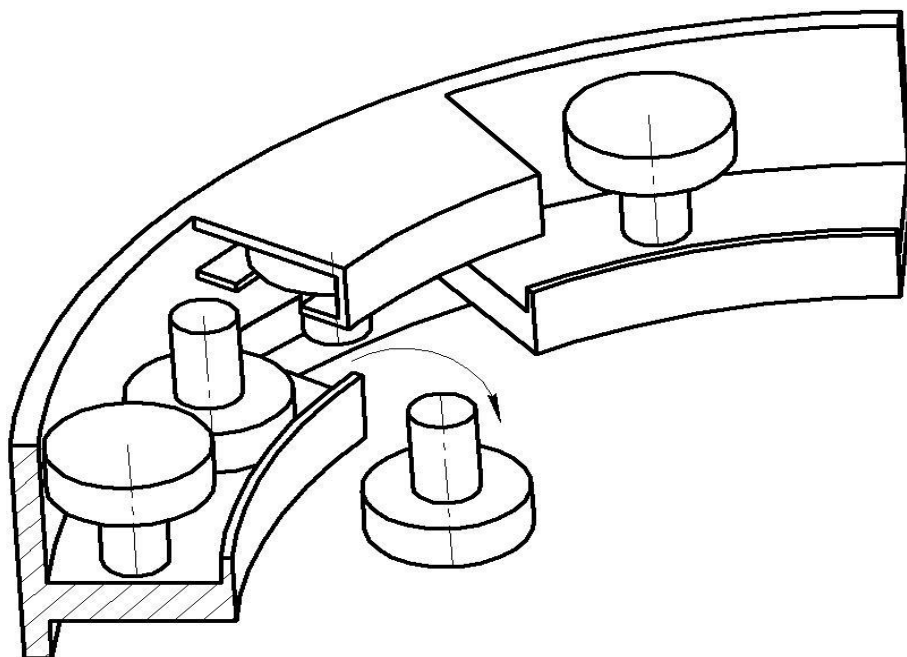


Рисунок 7.23 – Орієнтування у вібраційному завантажувальному пристрої циліндричних заготовок з головкою

Тіла обертання типу східчастих дисків можуть бути піддані орієнтуванню в процесі переміщення по лотку за рахунок виконання на лотку вирізу і похилої ділянки дна лотка (рис. 7.24, *а*).

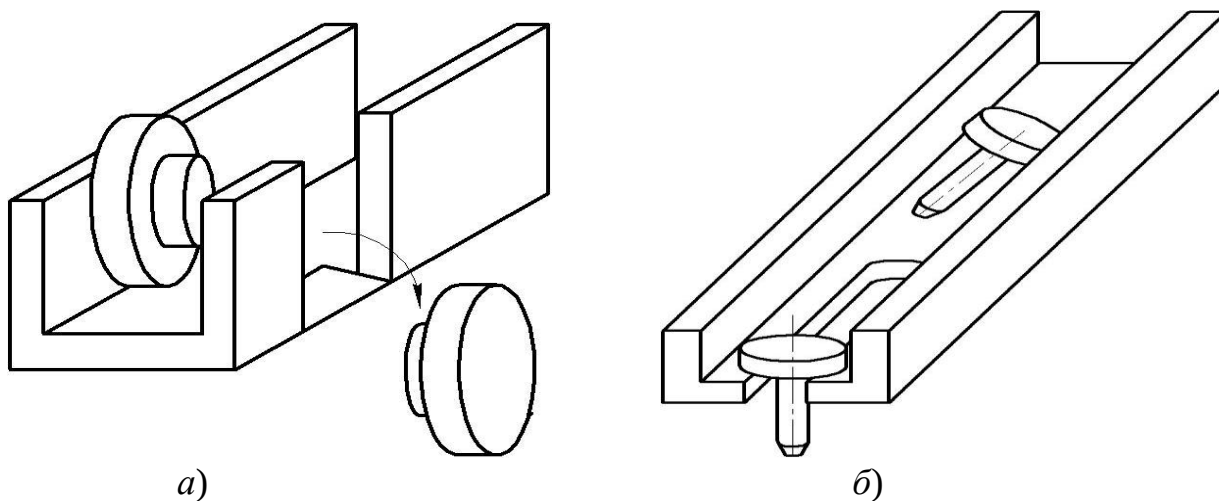


Рисунок 7.24 – Орієнтування у вібраційному завантажувальному пристрої деталей типу: *а* – східчастих дисків; *б* – болтів

Спосіб орієнтації болтів, у яких центр ваги розташований у тілі стрижня, представлений на рис. 7.24, *б*. На виході з орієнтуючого пристрою на дні

спірального лотка є паз, в який перекидаються стрижні деталей. Після чого деталі продовжують переміщення по лотку на торцевій поверхні головок.

При подачі деталей типу ковпачків або кілець з конічним отвором для відбору правильно орієнтованих деталей в лотку виконується виріз з «язиччком» (рис. 7.25).

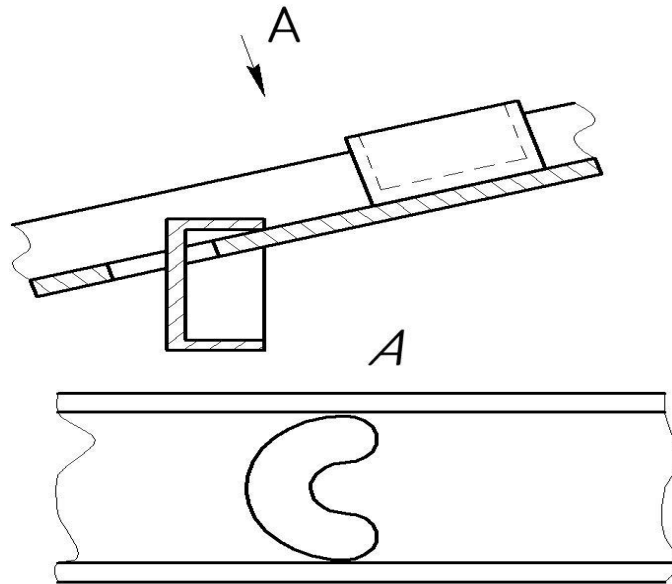


Рисунок 7.25 – Орієнтування у вібраційному завантажувальному пристрої заготовок типу ковпачків або кілець з конічним отвором

Деталі III класу (рис. 7.26), в яких на циліндричній поверхні обертання виконані асиметричні елементи та існують дві площини симетрії: одна – що проходить через вісь обертання і друга – перпендикулярна осі обертання, необхідно після виходу з бункера додатково орієнтувати поворотом щодо осі симетрії.



Рисунок 7.26 – Приклади конструкції деталей, які відносяться до III класу за складністю орієнтування

Деталі IV класу (рис. 7.27) мають, як і деталі III класу, поверхню обертання, порушену лисками, пазами, отворами, але при цьому мають лише одну вісь симетрії – вісь обертання.

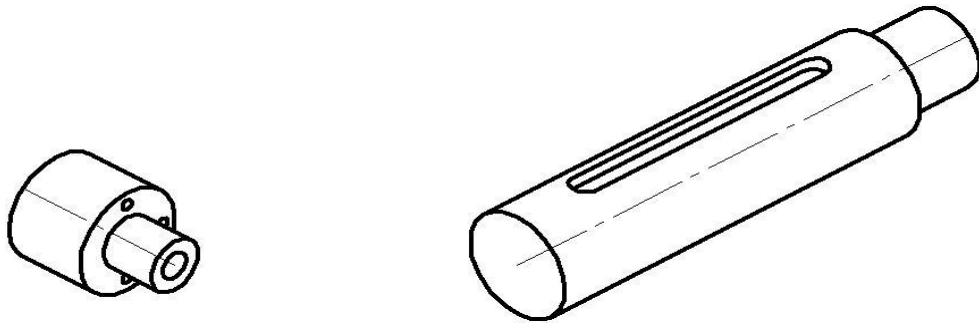


Рисунок 7.27 – Приклади конструкції деталей, які відносяться до IV класу за складністю орієнтування

Вони можуть бути зорієнтовані в бункері тільки по осі обертання, після чого вимагають ще двох ступенів орієнтації – у напрямку осі і щодо осі обертання. Таким чином, деталі (заготовки) форми тіл обертання після виходу з бункера можуть вимагати додатково ще однієї або двох ступенів орієнтації.

Розглянемо приклади орієнтації таких деталей.

Пристрій активної орієнтації деталей зі зміщеним центром ваги (рис. 7.28). Заготовка деталі (типу ковпачка) надходить на ніж і зісковзує вниз завжди важким кінцем уперед. Цей пристрій (калібр ваги) розташовують на виході з лотка або в кишені бункера.

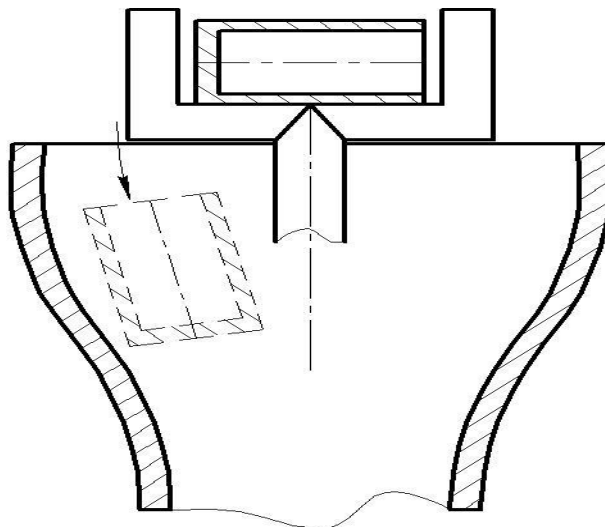


Рисунок 7.28 – Схема орієнтування заготовки деталі за допомогою пристрою активної орієнтації – калібру ваги

Заготовки деталей типу загострених з одного кінця валиків можна орієнтувати калібром форми (рис. 7.29). Заготовки надходять на контрольну планку з фасонним вирізом, розміри якого такі, що вони випадають завжди загостреним кінцем.

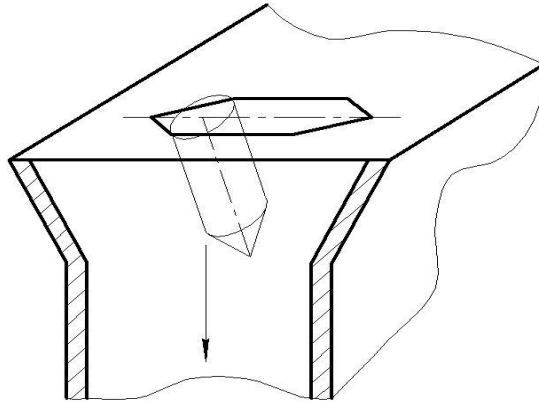


Рисунок 7.29 – Схема орієнтування заготовки за допомогою пристрою активної орієнтації – калібру форми

Схема активної орієнтації заготовок деталей типу ковпачків, які при русі вперед отвором чіпляються за упорний гвинт, перевертаються і падають денцем вперед, представлена на рис. 7.30. Заготовки, що рухаються денцем вперед, пролітають, не зачіпаючи гвинта.

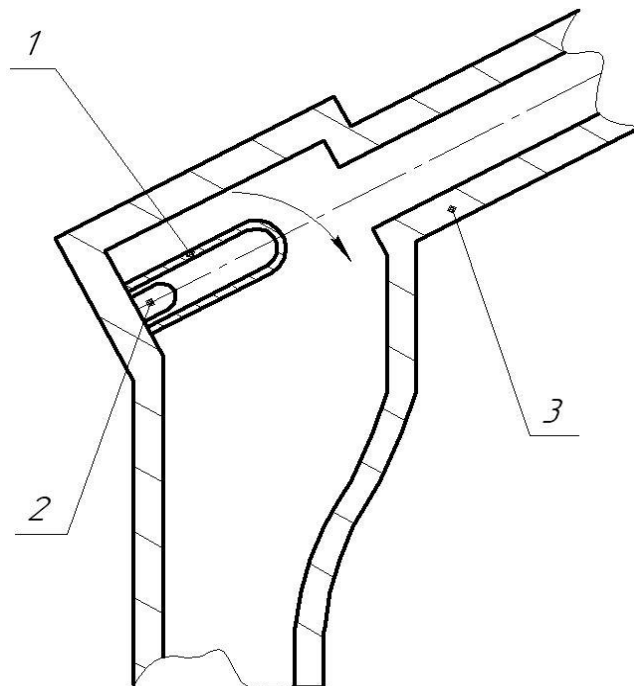


Рисунок 7.30 – Схема орієнтування заготовки за допомогою упорного гвинта

Переводити заготовки (деталі) в потрібне положення можна по-різному: активним шляхом при примусовій зміні займаного положення (наведені вище приклади); пасивним шляхом – коли вибираються заготовки з потрібним положенням. Найбільша продуктивність властива активному орієнтуванню.

Залежно від характеру силового впливу на орієнтовані заготовки, розрізняють контактне і безконтактне орієнтування.

Контактне орієнтування здійснюється за рахунок передачі заготовці, що орієнтується, силового впливу від елементів орієнтуючого пристрою шляхом безпосереднього тиску або зіткнення, наприклад, з упором, захватом і т. д.

При безконтактному орієнтуванні до заготовки прикладаються сили, які виникають у результаті її взаємодії з полем (полем сил тертя, пневматичним, електромагнітним і т. д.). Найбільше застосування при орієнтуванні в даний час отримали різновиди пневматичних і електромагнітних полів (магнітно і електростатичне, магнітне змінне, пульсуюче, пневматичне і т. д.). Безконтактне орієнтування дозволяє нерозрізнені положення зробити помітними і за рахунок цього спростити процес орієнтування і конструкцію орієнтуючого пристрою, видаливши з неї ряд технологічних елементів, які виявляють помітні положення заготовок.

7.5 Допоміжні механізми завантажувальних пристроїв

7.5.1 Відсікачі

Відсікачі відокремлюють від загальної маси заготовок, що знаходяться в магазині ЗП, по одній або кілька (порцію) заготовок. Вони широко застосовуються у верстатах-автоматах. Відсікачі поділяються наступним чином: по конструкції - на штифтові, кулачкові та барабанні; за рухом дії - із зворотно-поступальним, коливальним і обертовим рухами робочого органу.

До відсікачів зі зворотно-поступальним рухом відносяться штифтові відсікачі (рис. 7.31). Це найбільш простий конструктивний варіант відсікача, їх

недолік - в нейтральному положенні можливе заклинювання заготовок, а також їх продуктивність обмежується швидкістю вільного руху заготовок у магазині. Продуктивність не перевищує 100 ... 200 заготовок у хвилину.

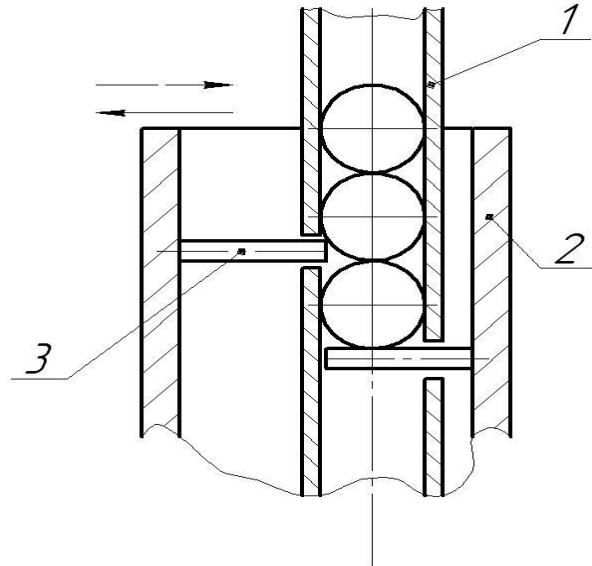


Рисунок 7.31 – Штифтовий відсікач: 1 – магазин-накопичувач зорієнтованих заготовок; 2 – корпус відсікача; 3 – штифти для відокремлення заготовки

Відсікачі з хитним (коливальним) рухом робочого органу (рис. 7.32) застосовуються для верстатів середньої продуктивності.

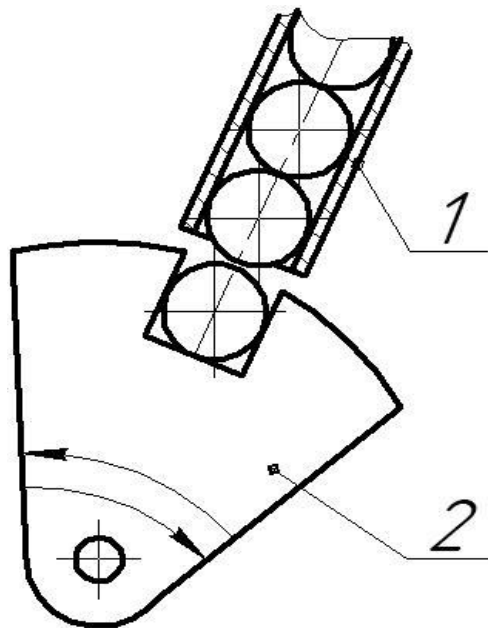


Рисунок 7.32. – Відсікач із коливальним рухом робочого органу

При повороті диска 2 у виїмку диска западає заготовка, суцільна частина диска утримує інші заготовки в накопичувачі 1.

Відсікачі з обертним рухом робочого органу (рис. 7.33) є найбільш раціональними в порівнянні з відсікачами першого і другого типів. При малих швидкостях обертання ці відсікачі забезпечують більшу продуктивність і плавність роботи. Заготовки не піддаються сильним ударам.

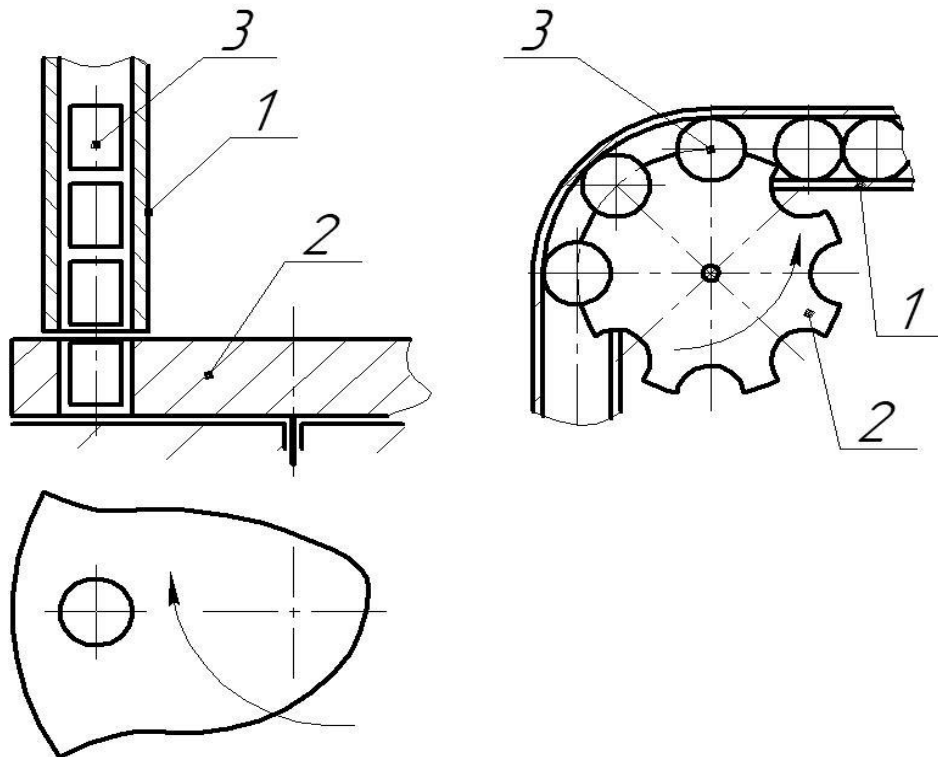


Рисунок 7.33 – Відсікачі з обертальним рухом робочого органу

Відсікач працює зазвичай в два такти: при першому звільняється нижня заготовка і під дією сили тяжіння переміщається до живильника, інші заготовки утримуються на місці. При другому такті стовп заготовок, що залишилися в лотку-магазині, переміщається на один крок.

7.5.3 Живильники

Живильники – механізми, які подають заготовки з лотка-накопичувача до шпинделя верстата. Живильник – основний механізм автооператора. Він має зазвичай захватний пристрій, який фіксує заготовку в певному положенні як під

час перенесення з лотка-накопичувача до шпинделя верстата, так і під час відведення обробленої деталі з його робочої зони. Конструкції живильників вельми різноманітні і залежать від конструкції верстата і його компонування, форми і розмірів заготовки і т. д.

Усі живильники забезпечені захватами. Залежно від способу утримування деталей захвати ділять на приводні і не приводні.

У приводних захватах затиск і розтиск заготовок (деталей) проводяться за допомогою приводів. Їх застосовують для переміщення заготовок при великих динамічних навантаженнях, при складних траєкторіях руху, а також у тих випадках, коли потрібна точна фіксація заготовки в різних точках її траєкторії.

У не приводних захватах утримування заготовок здійснюється за рахунок їх ваги, деформації пружних елементів (найчастіше пружин), за допомогою магнітів, вакуумних пристроїв, а також різного виду конструкцій, виконаних у вигляді лотків і призм.

У магнітних захватах використовують електро- та постійні магніти. Ці захвати мають істотний недолік: захват і заготовка намагнічуються, внаслідок чого можливе притягання зайвих металевих частинок (стружки).

У вакуумних захватних пристроях використовуються різного роду присоски, зроблені з гуми або пластику. Їх застосовують для плоских, рівних і чистих поверхонь заготовок.

У захватах, виконаних у вигляді лотків, призм і т. п., збереження стійкості положення і орієнтації заготовки досягається головним чином за рахунок її ваги і форми. Пристрої такого типу використовуються для заготовок усіх типів при невеликих швидкостях переміщення.

Наступний рівень класифікації захватів – затискні або незатискні. Основні представники затискних захватів – патронні і оправні.

На рис. 7.34 наведена схема незатискного захвату.

Заготовка, яка перебуває у захваті, при переміщенні не повинна втратити орієнтацію. На неї діє утримуюча сила – сила тяжіння P . В процесі переміщення заготовки можливе її перекидання щодо точки O_1 за рахунок впливу на неї сили

інерції $F = ma$, що залежить від прискорення a , з яким рухається захват. Умова неперекидання заготовки – рівність сил, що діють на вісь $X-X$, проведену паралельно скосу призми.

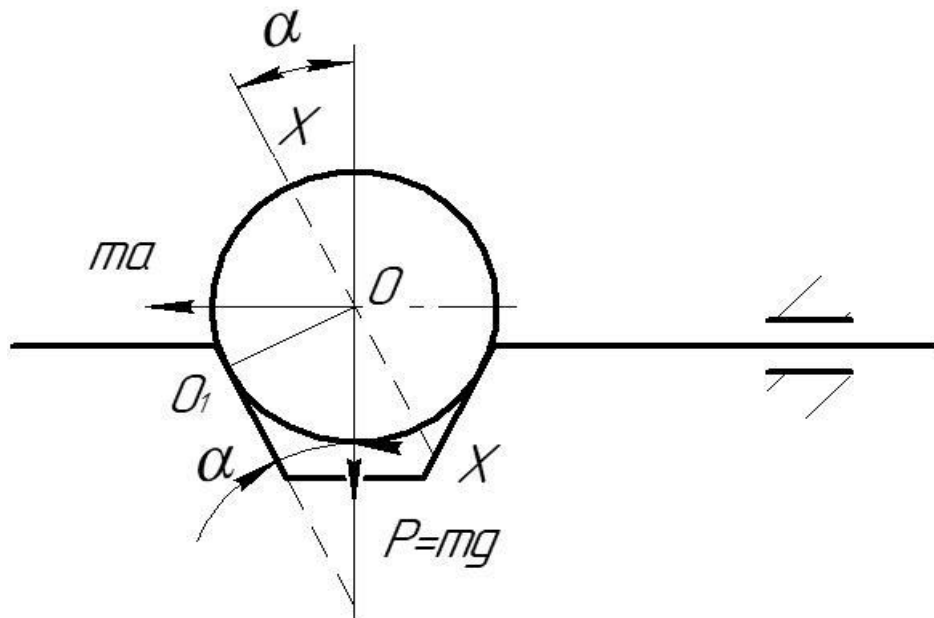


Рисунок 7.34 – Розрахункова схема незатискного захвату

На рис. 7.35 наведена схема конструкції одного із варіантів затискного захвату – патронного захвату.

Захват складається: із втулки розкріплення 1; несучої губки 2, що з'єднана з рукою маніпулятора і утримує заготовку (деталь) 4 вагою P ; нерухомої губки 3; пружин 5, які забезпечують затискання заготовки захватом.

Утримання заготовки в зорієнтованому стані при перенесенні її з прискоренням a до верстата можливо при забезпеченні умови рівноваги сил, що діють на заготовку при її захваті

$$\sum M_{P_0} = 0, \text{ або } P_{np} \cdot l_1 = l_3(P + ma)\cos\alpha. \quad (7.5)$$

З цієї формули можна знайти необхідну величину сили затиску заготовки P_{np} за допомогою пружини і, як наслідок, обрати вид і параметри пружини.

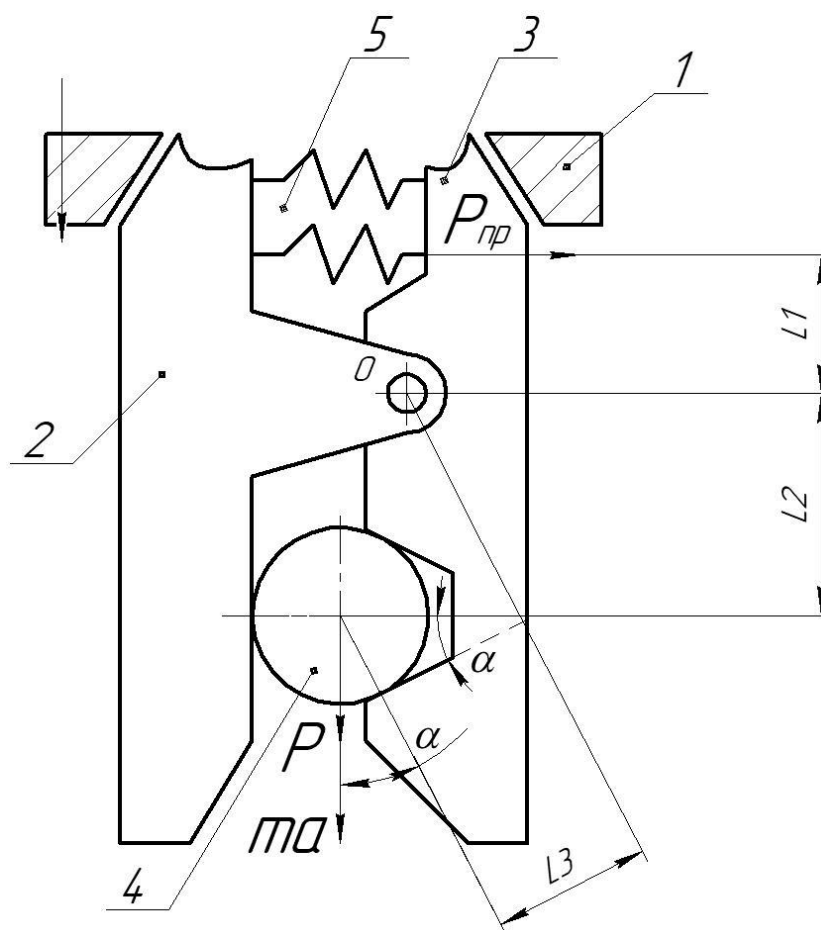


Рисунок 7.35 – Розрахункова схема затискного захвату

7.5.4 Автооператори

Автооператори призначені для завантаження орієнтованих штучних заготовок у шпиндель верстата і видалення з робочої зони оброблених деталей.

Автооператор складається з відсікача, живильника, заштовхувача, поршня або знімача, відповідного пристрою. Пристрої відсікачів і живильників були розглянуті вище.

Заштовхувач призначений для передачі заготовок із живильника в затискний пристрій шпинделя верстата. Вони можуть бути:

- з буферною пружиною (подача заготовок до упору);
- жорсткими – за конструкцією простіші, але потрібна висока точність кінцевого положення і малий допуск на розмір деталі.

Виштовхувачі (знімачі) – для видалення обробленої деталі з затискного пристрою шпинделя верстата. Можуть бути:

- пружинні – під безперервним впливом пружина виштовхує деталь при розжимі затискного пристрою;

- жорсткі – рухомий стрижень з приводом від кулачкового механізму;

- знімачі – для знімання деталей з оправок (застосовуються при обробці деталей типу кілець). Сам знімач може бути виконаний у вигляді скоби або кільця, яким оброблена деталь знімається з оправки, що центрує, і скидається у відвідний лоток.

Найбільш часто автооператори застосовуються в автоматах для обробки тіл обертання (вироби типу кілець, дисків, валів). Ними оснащуються токарні (одно- і багатошпиндельні), шліфувальні, полірувальні, зуборізні та інші верстати.

Одними з найбільш конструктивно складних автооператорів є автооператори для чорнової токарної обробки. Це пов'язано з тим, що заготовки можуть мати неправильну форму і «грубу» поверхню. В процесі обробки утворюється велика кількість стружки, в наслідок чого необхідно виносити автооператор із зони обробки. Автооператор повинен бути двох-ходовим, так як скидати деталь біля шпинделя в лоток неможливо.

На рис. 7.36 наведена схема і циклограма роботи автооператора до чотирьохшпиндельного токарного напівавтомату.

Автооператор складається з магазину 1, змонтованого на поперечному супорті; відсікача 2 (управляється шляховим кулачком під час переміщення супорта з магазином); патрона шпинделя 3; кулачків живильника 4 (мають гідравлічне керування); живильника 5, скалка якого приводиться до руху через систему важелів 6, 7, 14 і сектор 10 від кулачка розподільчого валу автомата; упору 8; осі 9, пов'язаної з розподільчим валом автомата; сектора 10; важеля 11, який спільно з золотником 12 і пружиною 13 утворює блокуючу систему; важеля 14, жорстко зв'язаного з віссю 9; відвідного лотка 15.

Автооператор працює в наступній послідовності. Після закінчення обробки і повороту шпиндельного блоку верстата живильник 5 переміщається

справа наліво, захоплює кулачками 4 оброблене кільце і при зворотному ході скидає його в лоток 15.

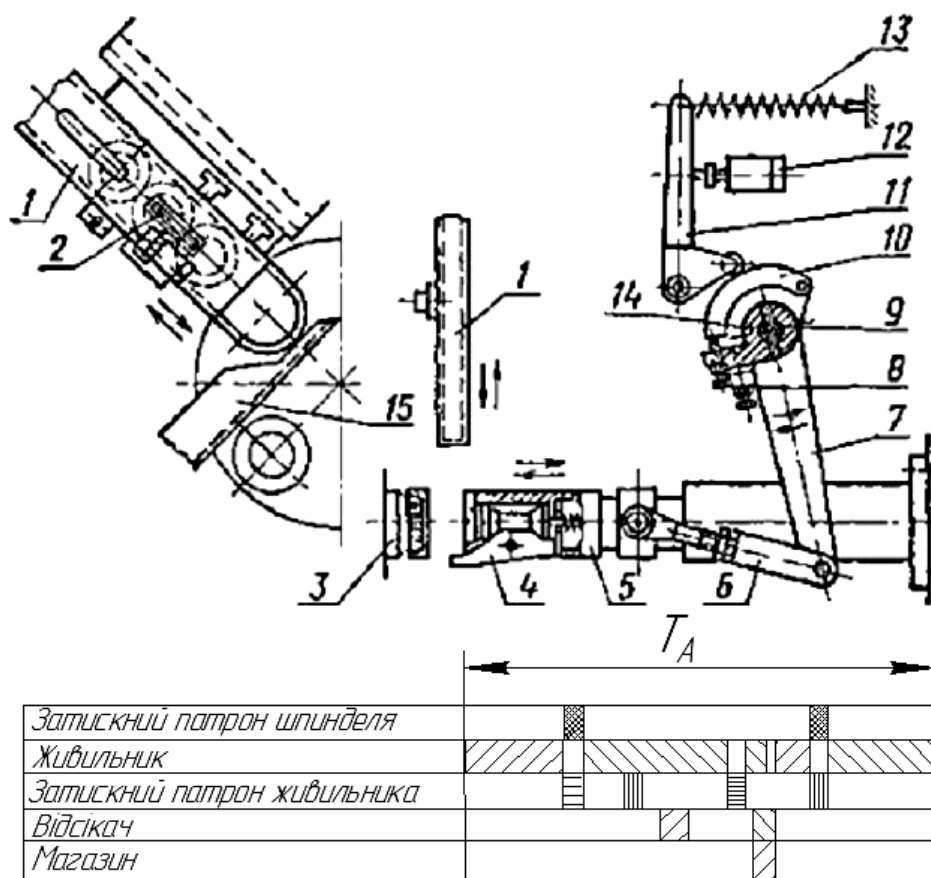


Рисунок 7.36 – Принципіальна схема автооператора і циклограма його роботи

Після відходу живильника вправо магазин 1 переміщається в радіальному напрямку і встановлює заготовку співвісно зі шпинделем. При другому ході вліво головка живильника захоплює подану заготовку і відходить назад. В цей час магазин переміщається в початкове верхнє положення і звільняє прохід для головки автооператора. Потім живильник переміщається далі вліво і передає заготовку до патрону шпинделя 3, де вона затискається, і живильник відходить у вихідне праве положення.

Переміщення живильника 5 вліво здійснюється через систему важелів 6, 7, 14 і сектор 10 від кулачка розподільчого валу автомата наступним чином: важіль 7, укріплений на осі 9; у вушках важеля 7 виявлено сектор 10, ліва сторона якого спирається на регульований упор, встановлений у важелі 14, жорстко

закріпленому на осі 9; пружина 13 через важіль 11 і ролик тисне на сектор 10 і притискає важіль через упор 8 вліво до важеля 14; тому при повороті важеля 14 вліво пружина 13 через важіль 11 і сектор 10 тисне на важіль 7, який через важіль 6 переміщує головку. Переміщення качалки живильника вправо здійснюється від кулачка, від якого важіль 14 отримує обертання вправо, і через упор 8 передає рух важелів 7 і 6.

Якщо при прямому ході (вліво) живильник зустрічає перешкоду і не переміщається, то важіль 14, продовжуючи обертатися вліво, натискає упором на ліву сторону сектора 10 і підтискає його. Важіль 11 повертається навколо своєї осі, долаючи силу пружини, і золотник 12 вимикає верстат.

Живильник переміщається в сторону шпинделя за допомогою пружини 13; тому в разі неполадок усувається можливість його жорсткого заклинювання. Переміщенням хомута, закріпленого на качалці, можна регулювати величину поздовжнього переміщення живильника.

Автооператор працює в циклі автомата, тобто всі переміщення механізмів здійснюються від кулачків розподільчого валу.

Конструктивною особливістю автооператора є те, що магазин виконаний окремим вузлом і кріпиться на верхньому супорті. Магазин рухливий і при кожному робочому ході виводиться із зони обробки, а це дозволяє зменшити ймовірність попадання в магазин стружки; при цьому поліпшуються умови відводу стружки, а також налагодження механізмів напівавтомата.

7.6 Промислові роботи як автоматична завантажувальна система

Промисловий робот (ПР) – це автоматична машина, а саме багатофункціональний маніпулятор, який програмується, і призначений для переміщення матеріалів, заготовок, деталей, інструментів або спеціальних пристроїв шляхом змінювання програмних рухів для виконання різноманітних завдань.

Задовго до появи програмованих роботів існували маніпулятори з механічно обумовленими рухами, що задавалися здебільшого кулачками. Ці маніпулятори з механічним кулачковим керуванням відіграють і зараз важливу роль у заводській автоматизації. Однак вони є неодмінною характеристикою або приналежністю «жорсткої автоматизації», яка протилежна «гнучкій автоматизації», представником якої є програмований ПР.

Структура ПР, який забезпечує допоміжні функції (завантаження-розвантаження) при обслуговуванні технологічного обладнання (верстатів), у загальному вигляді наведена на рис. 7.37.

Структура робота включає три основні компоненти: механічну систему; систему керування та інформаційну систему.

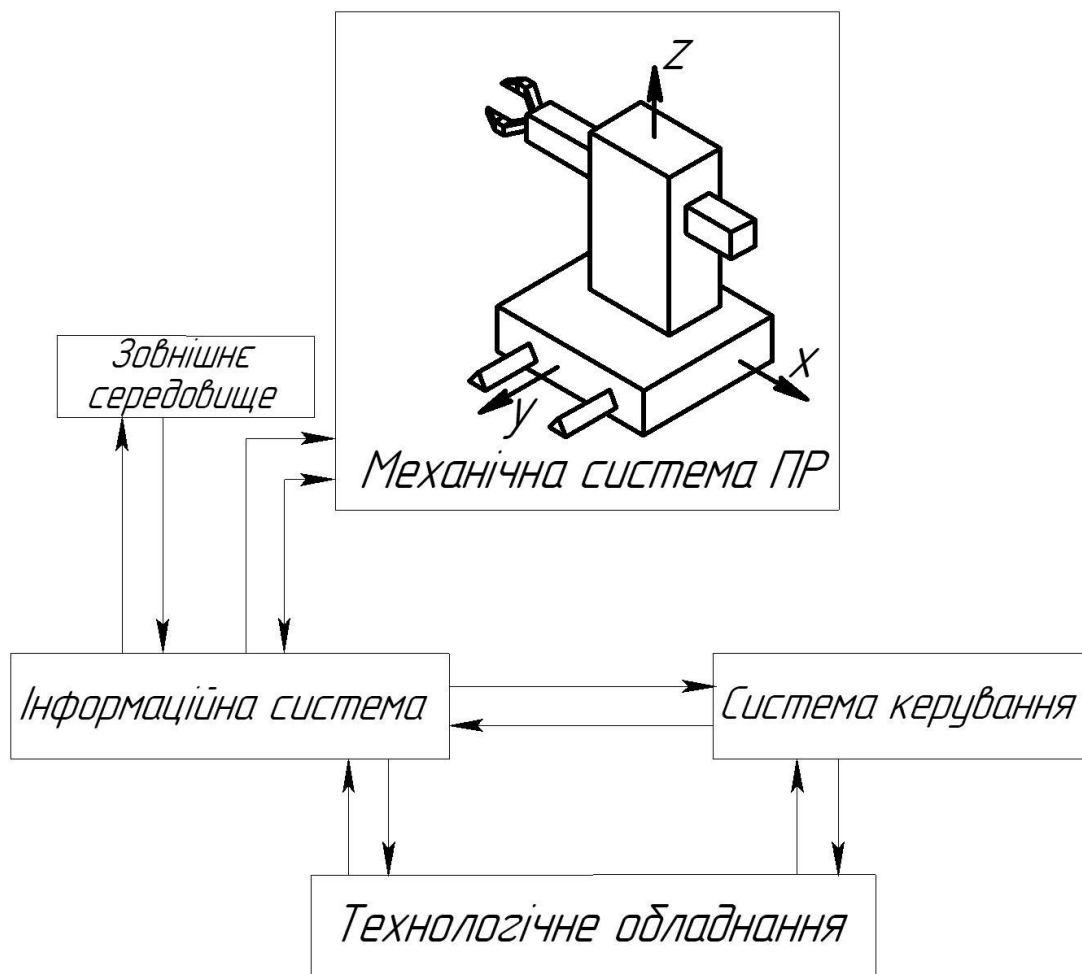


Рисунок 7.37 – Структура ПР як автоматичної завантажувальної системи

Механічна система забезпечує виконання рухових функцій та реалізацію технологічного призначення ПР. До складу механічної системи входять: несучі конструкції (корпус), приводи, передавальні механізми, виконавчі механізми, захватні пристрої (робочі органи).

Однією з найбільш важливих характеристик ПР є кількість можливих рухів, які йому притаманні, використовується для поняття ступенів рухливості. Вид цих рухів та спосіб їхнього забезпечення визначають тип робота. Кожне місце зчленування частин робота, у якому будь-який вид приводу забезпечує рух цих частин, крім захоплень і інструментів, називається ступенем рухливості.

Робочий орган ПР – пристрій, прикріплений до зап'ястя чи кисті робота для виконання спеціального завдання. Вони діляться на пристрої, що захоплюють – схвати, та інструменти.

Схвати – служать для утримання вантажів – заготовки, деталі чи інструмента. Вибір конструкції схватів залежить від матеріалу та конфігурації вантажів, якими маніпулює робот.

Види схватів:

- механічні – утримання вантажу здійснюється за допомогою сили тертя чи геометричної конфігурації схвата;

- магнітні захватні пристрої – для феромагнітних об'єктів;

- присоски – вакуумні захватні пристрої для плоских об'єктів;

- гачки – для підняття деталі з конвеєра.

Інструменти – кріпляться до зап'ястя робота та стають його робочим органом.

Інструменти:

- зварювальні кліщі – для точкового зварювання або зварювальні головки для дугового зварювання (з механізмом подачі електродного дроту);

- краскопульт;

- різальні інструменти: дрилі, фрези, шліфувальні круги тощо.

Пристрої, що захоплюють, підрозділяються на: механічні, магнітні, електромагнітні, вакуумні.

Система керування ПР призначена для програмування руху робота, для збереження програми, її відтворення і відпрацьовування.

Існують різні методи, за допомогою яких можна запрограмувати робот на виконання заданого робочого циклу. Серед них:

- метод ручного завдання програми (він нагадує налаштування машини), використовується для найпростіших робіт, реалізується установкою механічних упорів, кулачків, перемикачів на ланках маніпулятора, налаштування реле в системі керування роботом. Задовільно працює у роботах, які обслуговують прості технологічні операції з коротким робочим циклом (наприклад, операції типу «взяти та перенести»);

- метод безпосереднього програмування (програмування показом) – оператор вручну переміщає руку (кисть) робота по потрібній траєкторії, виконуючи всю послідовність рухів робочого циклу. Кожен рух записується в пам'ять ПР із єдиною метою подальшого відтворення у робочому режимі із необхідною швидкістю. Доцільно застосовувати для фарбування розпиленням та дугового зварювання;

- метод програмування навчанням – використовується пульт навчання, з якого оператор виконує всю послідовність рухів робота, відповідним чином вмикаючи та вимикаючи приводи його ступенів рухливості. Кожен рух записується в пам'ять робота і потім відтворюється в робочому циклі, метод зручний і поширений;

- метод аналітичного програмування (передбачає автономну підготовку програми дій робота) аналогічно до програмування роботи верстатів з ЧПК. Зазвичай здійснюється з терміналу ЕОМ. Після підготовки програми її вводять у пам'ять ПР для використання в робочому циклі. Переваги – немає непродуктивних витрат часу під час експлуатації ПР через автономність підготовки програми, можливість включення ПР до інформаційної системи та бази даних САПР підприємства.

Інформаційна система ПР забезпечує збір, первинну обробку, передачу в систему управління даних про функціонування вузлів та механізмів самого робота та про стан зовнішнього середовища.

Для збору інформації в роботах використовуються наступні датчики: візуальні, локальні, промінні, магнітні, ультразвукові, локаційні, лазерні.

Системи сприйняття та контролю інформації про стан зовнішнього середовища потрібні, особливо в тих випадках, коли робот виконує свої функції, працюючи спільно з іншими складовими виробничого осередка: технологічним обладнанням, конвеєрами, заготовками або деталями, інструментами і, можливо, з людиною-оператором. При цьому необхідно забезпечити засоби координації всіх дій, які проводяться на роботизованому робочому місці. На пристрій керування виробничим осередком (це може бути контролер або інші пристрої) покладається загальна відповідальність за координацію дій складових частин осередка.

На рис. 7.38 наведена структурна схема роботи робота.

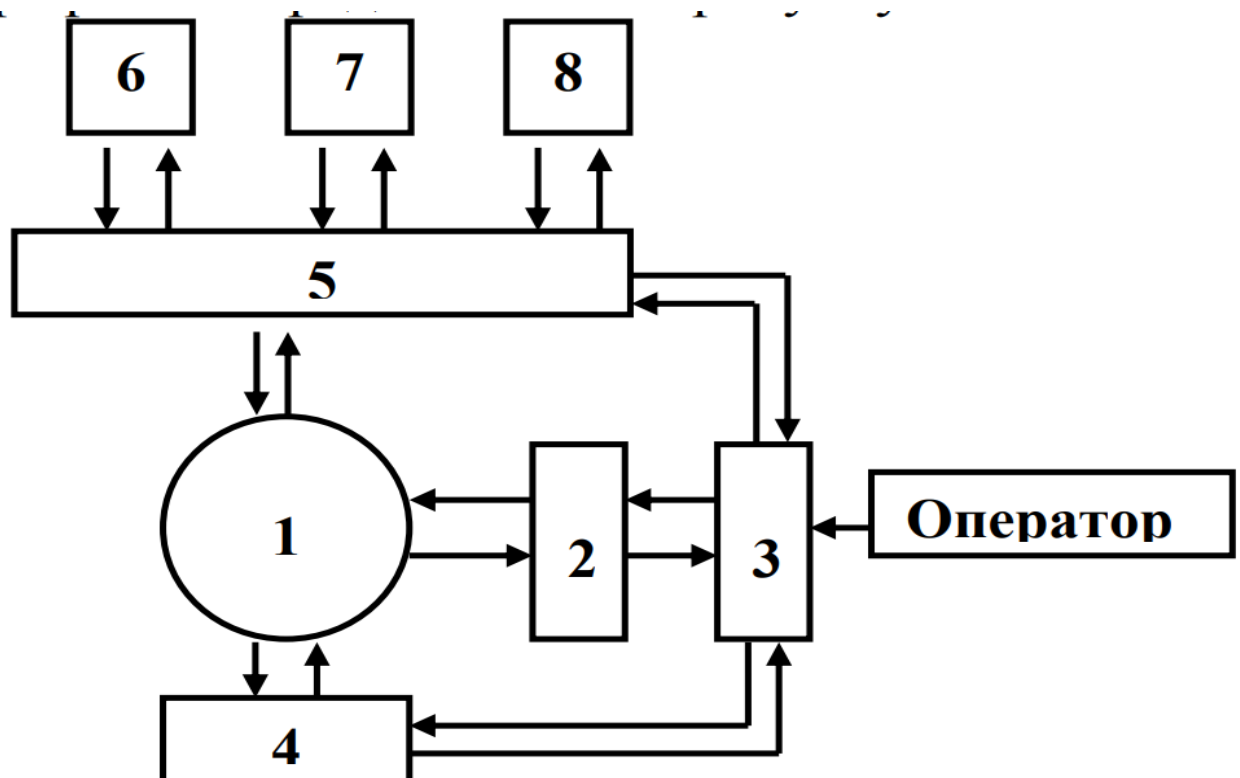


Рисунок 7.38 – Структурна схема роботи робота

На рисунку: 1 – деталь (заготовка); 2 – механічна система; 3 – система програмного керування; 4 – технологічне обладнання; 5 – інформаційна система; 6 – підсистема зовнішньої інформації; 7 – підсистема внутрішньої інформації; 8 – підсистема забезпечення техніки безпеки.

Основні параметри, за якими вибирають робот, який виконує допоміжні функції в спроектованому автоматизованому механообробному виробництві наступні: вантажопідйомність, число ступенів свободи, величина робочої зони, похибка позиціонування.

7.7 Питання для самоконтролю за сьомою темою

1. В чому різниця між технологічними і допоміжними переходами в структурі технологічного процесу обробки?
2. Назвіть зміст основних допоміжних переходів. Яким чином відбуваються переходи в автоматизованому і неавтоматизованому виробництвах?
3. Класифікація автоматизованих завантажувальних пристроїв: різниця в структурі і призначенні.
4. Назвіть принципові конструктивні особливості магазинних і бункерно-магазинних завантажувальних пристроїв.
5. Особливості конструкції та призначення бункерних орієнтуючих пристроїв.
6. Варіанти конструкції бункерів, недоліки і переваги, спосіб розрахунку параметрів бункерів.
7. Механізми орієнтації, їх призначення і вимоги до рівня продуктивності пристроїв.
8. Класифікація механізмів орієнтування з точки зору використання захватних і без захватних орієнтуючих органів.
9. Поняття середньої продуктивності механізмів орієнтації і варіанти її розрахунку.

10. Розподіл орієнтованих деталей за групами з точки зору складності автоматизованого орієнтування.
11. Від чого залежить вибір типу механізму орієнтації в завантажувальних пристроях?
12. В чому особливості конструкції і розрахунків гачкових механізмів орієнтації?
13. Наведіть конструкції заготовок (деталей), які можуть бути орієнтованими в шибєрних і секторних механізмах орієнтації?
14. Дискові кишенькові орієнтуючі пристрої, особливості конструкції і застосування?
15. В чому функції та основна різниця конструкцій орієнтуючих пристроїв у механізмах завантаження верстатів? Назвіть особливості принципів орієнтування деталей у без захватних завантажувальних пристроях.
16. Переваги ВЗП перед завантажувальними пристроями з орієнтуючими механізмами із захватними органами.
17. Поясніть принцип дії ВЗП, наведіть принципіальну схему ВЗП з прямолінійним лотком.
18. Назвіть варіанти переміщення заготовок, які знаходяться на вібруючому лотку, і режими переміщень.
19. Чому дорівнює практична швидкість заготовки при переміщенні по вібруючому лотку, яка приймається для розрахунку параметрів ВЗП?
20. Опишіть конструкцію і принцип дії ВЗП зі спіральним лотком і електромагнітним вібратором, а також способи орієнтації двох ступінчастих заготовок.
21. Поняття вторинного орієнтування. Деталі яких конструкцій вимагають вторинного орієнтування?
22. Наведіть приклади конструкцій деталей II класу орієнтування і варіанти способів їх вторинного орієнтування.
23. Наведіть приклади конструкцій деталей III і IV класів орієнтування. Які з них із більшою важкістю піддаються автоматичному орієнтуванню?

24. Призначення наступних елементів механізмів завантажувальних пристроїв – відсікачів; визначення особливостей їх конструкцій.

25. Живильники як основні механізми автооператорів. Приводні і неприводні захвати, принципи їх роботи.

26. Особливості розрахунків захватів різного виду: незатискних, оправкових, затискних, незатискних захватів.

27. Призначення автооператорів, їх складові елементи, принцип роботи.

28. Промислові роботи як автоматизований завантажувальний пристрій верстатних технологічних комплексів.

29. Структура ПР, особливості конструкції, їх призначення.

РОЗДІЛ 8

АВТОМАТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ПРИСТРОЇ

Одним із найбільш важливих елементів у структурі цільових механізмів автоматичних ліній є транспортні механізми, які зв'язують окремі позиції автоматичних ліній.

8.1 Транспортні механізми автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком

На рис. 8.1 представлена класифікація транспортних механізмів автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком.



Рисунок 8.1 – Класифікація транспортних механізмів автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком

Основними видами транспорту АЛ є крокові транспортери, підйомники, розподільчі транспортери, а також маніпулятори, автооператори або ПР, пристрої для повороту і кантування заготовок між позиціями лінії.

Одним із основних елементів транспортної системи АЛ різних типів є конвеєрний транспорт. Відповідно до характеру вантажопотоків конвеєрний транспорт може бути використаний для:

- транспортування заготовок, готових деталей, тари, різного типу оснащення між цехами і автоматизованими складами; між ділянками всередині цехів і складів; між позиціями АЛ;
- передачі супутників на позиції завантаження (розвантаження) або в накопичувач;
- для прийому заготовок або тари на склад (приймальні конвеєри) або для видачі заготовок або тари зі складу (відвідні конвеєри);
- видалення стружки.

Крім функцій транспортування часто в АЛ конвеєри виконують функції накопичувачів.

Переміщення заготовок між позиціями АЛ реалізується конвеєрами (транспортерами), які діють за допомогою привода (пневматичного, гідравлічного тощо). Здебільшого ці конвеєри відносяться до категорії транспортерів дискретної дії і мають назву крокових транспортерів.

8.1.1 Крокові транспортери

Крокові транспортери (рис. 8.2) використовуються в автоматичних лініях із агрегатних верстатів, які здійснюють обробку корпусних деталей, деталей типу тіл обертання, наприклад, валів, осей і т.д. Вони пересувають оброблювані заготовки між позиціями на визначену відстань, тобто на крок. Їх конструкції залежать від компоновки АЛ, яку вони обслуговують.

Кроковий транспортер з собачками (див. рис. 8.2, а). При переміщенні оброблюваних заготовок 3 вправо штанга 1 транспортера здійснює зворотно-поступальний рух (повільний вперед і швидкий назад). Приводом у даних

транспортерах, зазвичай, служить гідроциліндр. При русі вперед собачки 2 з пружинами захоплюють заготовки 3, переміщаючи їх по напрямним конвеєра 4 на наступну позицію. При русі штанги назад собачки втоплюються, повертаючись на осі, і проходять під заготовками.

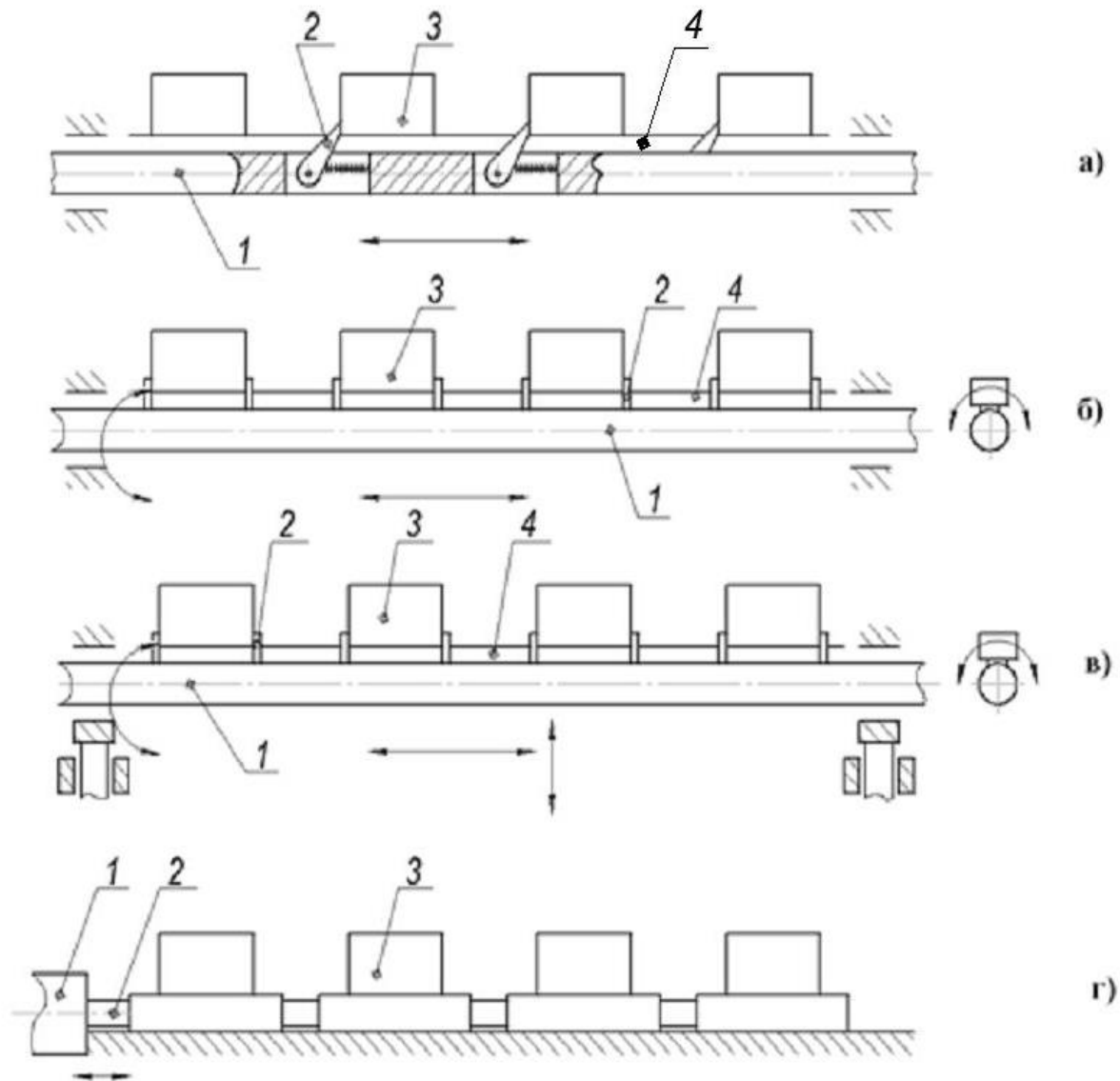


Рисунок 8.2 – Види конструкцій крокових транспортерів: а – транспортер з собачками; б – транспортер з прапорцями; в – грейферний транспортер з прапорцями; г – штовхаючий транспортер

Основною перевагою крокових транспортерів із собачками є простий прямолінійний зворотно-поступальний виконавчий рух і, як наслідок, простота конструкції приводу (гідро- або пневмоциліндри). Недолік – не дуже висока

точність позиціонування заготовок після їх переміщення на крок, причиною чого є відсутність фіксованої орієнтації заготовки в кінці ходу і в процесі транспортування. Тому наприкінці ходу швидкість транспортера необхідно знижувати, що призводить до збільшення циклу роботи лінії. Якщо в якості приводу транспортера використовують гідропривід поступального руху з електро-управлінням, то зменшення швидкості переміщення заготовки в кінці ходу досягається за рахунок введення в систему гальмівного золотника. Середня швидкість транспортування становить $v \leq 10$ м/хв.

Точність переміщення вантажів на кроковому транспортері з собачками.

Заготовка (деталь) масою m переміщається зі швидкістю v . Тоді кінетична енергія вантажа становить

$$K = \frac{mv^2}{2}.$$

В свою чергу

$$\frac{mv^2}{2} = F_{mp}S = mgfS,,$$

де F_{mp} – сила тертя між заготовкою і напрямними; S – шлях, який проходить заготовка при переміщенні із позиції в позицію; f – коефіцієнт тертя при переміщенні заготовки по напрямних транспортера.

Похибка позиціонування вантажа ΔS (рис. 8.3) визначається за формулою

$$\Delta S = S_{max} - S_{min} = \frac{v_{max}^2}{2gf_{min}} - \frac{v_{min}^2}{2gf_{max}} = \frac{1}{2g} \left[\frac{v_{max}^2}{f_{min}} - \frac{v_{min}^2}{f_{max}} \right].$$

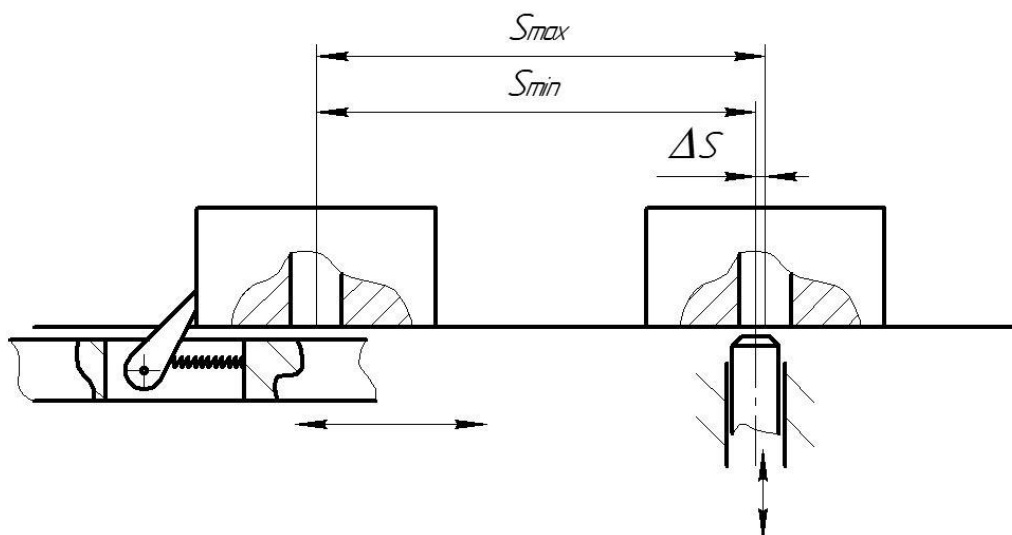


Рисунок 8.3 – Схема визначення похибки позиціонування вантажу на транспортері з собачками

Похибка позиціонування заготовки викликана коливаннями швидкості через різну температуру і в'язкість (може бути пов'язана з засміченням) олії, змінними умовами опору і т. д. При цьому в процесі роботи транспортера змінюється коефіцієнт тертя між заготовкою і транспортером через попадання стружки, олії, бруду.

Наприклад, при коливаннях швидкості переміщення заготовки в діапазоні $8 \div 10$ м/хв та коефіцієнта тертя в діапазоні $0,1 \div 0,25$ розрахункове значення похибки переміщення заготовки становить $\Delta S = 10$ мм.

Затискання та фіксація вантажів, що переміщуються на кроковому транспортері із собачками.

Система затиску та фіксації – це група механізмів, загальна для всієї автоматичної лінії, яка тісно пов'язана із системою переміщення заготовок з однієї робочої позиції до іншої. Для цього застосовуються три підсистеми: транспортування, фіксації та затиску.

Оброблювана деталь 6 (рис 8.4) рухається по напрямним транспортеру 4 за допомогою штанги 3, що штовхає і рухається зворотно-поступально. Вироби захоплюються при ході штанги вперед шарнірно укріпленими собачками 5, які при зворотному ході штанги прослизують під виробами.

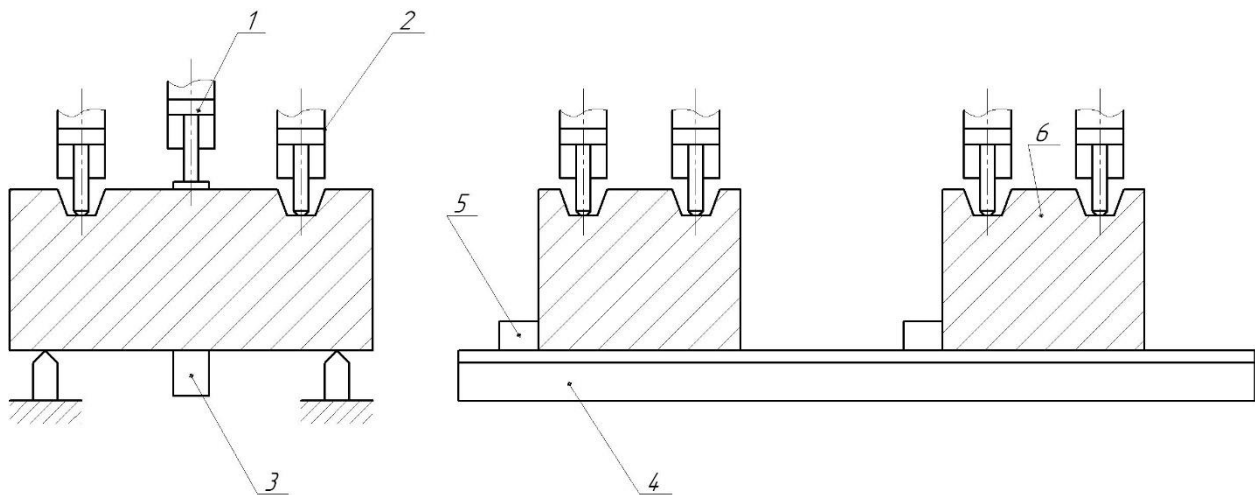


Рисунок 8.4 – Схема переміщення, фіксації і затиску вантажу на АЛ

Так як при такій схемі вироби переміщуються тільки в одному напрямку, то фіксуючі штифти 2, за допомогою яких проводиться точна установка виробів на кожній робочій позиції, повинні бути висувними. Вироби в робочому положенні закріплюються за допомогою гідроциліндрів 1, розташованих зверху. Зусилля затиску сприймаються загартованими напрямними 4.

Крокові транспортери з прапорцями і круглими штангами (див. рис. 8.2, б) дозволяють досить точно фіксувати оброблювану заготовку. В їх структурі: 1 – кругла штанга, що рухається зворотно-поступально і на якій секціями закріплені фасонні козирки – прапорці 2. У вихідному положенні прапорці підняті. При переміщенні заготовок штанга разом з прапорцями обертається на кут 45^0 . Кожен виріз прапорця охоплює одну заготовку 3. При русі штанги вперед відбувається одночасне переміщення трьох заготовок по напрямним 4 на одну позицію по всій лінії. Після цього штанга 1 повертається в початкове положення та здійснює зворотний хід. Поворот штанги та її осьове переміщення здійснюються двома гідроциліндрами. Швидкість транспортування заготовок при переміщенні $v \geq 10$ м/хв.

Транспортери з прапорцями вимагають складнішого приводу. Це викликано необхідністю забезпечення додаткового руху – обертання штанги, після якого вона має бути замкнена і її самовільний поворот має бути виключений.

Грейферні крокові транспортери з прапорцями (див. рис. 8.2, в). Ці транспортери мають найбільш складну конструкцію із розглянутих. При роботі відбуваються два зворотно-поступальні рухи в горизонтальному і вертикальному напрямках. У них штанга 1 здійснює по черзі два рухи в перпендикулярних напрямках із чергуванням фаз. Оброблювані заготовки 3 переміщуються жорсткими прапорцями 2 по напрямним 4. Із-за складності конструкції такі транспортери застосовуються тільки в тих випадках, коли підхід до виробів, що захоплюються, може бути зроблений лише з певного боку. Причому посадка їх у позиціях така, що для переміщення з позиції в позицію транспортер повинен підняти виріб вгору, а потім перемістити. Цикл роботи транспортеру: хід вгору (підйом всіх заготовок); переміщення їх на крок вправо; опускання на напрямні і повернення транспортера в початкове положення. Привід транспортеру – гідроциліндр із застосуванням механічних пристроїв.

Штовхаючі крокові транспортери (див. рис. 8.2, г). Ці транспортери найбільш прості за конструкцією. В них штовхач 2 (звичайно шток гідро- або пневмоциліндру 1) безпосередньо діє на останню заготовку 3. Вся колона заготовок при ході штовхача рухається одночасно за рахунок тиску заготовок одна на одну. Для того, щоб зсунути масу заготовок з місця, на додаток до основного штовхача з великим ходом застосовують другий – допоміжний, з коротким ходом. Недолік – неможливість одночасної фіксації всіх заготовок через накопичення помилки лінійних розмірів.

Ланцюгові транспортери (рис. 8.5) мають широке застосування як засоби безперервного транспорту, проте як крокові в АЛ їх застосовують у поодиноких випадках. Ланцюг 1 отримує зворотно-поступальний рух від ведучого барабану 4. Вироби 3 на візках 2 переміщуються за допомогою собачок. Через неможливість забезпечення точності базування заготовок ланцюгові транспортери, як правило, не застосовуються в якості крокових, хоча близькі до них. Швидкість переміщення основних транспортерів на швидкому ході 15 – 20 м/хв, на уповільненому – 1,5 – 3,0 м/хв. В якості приводу використовують гідравлічні, гідромеханічні та електромеханічні пристрої.

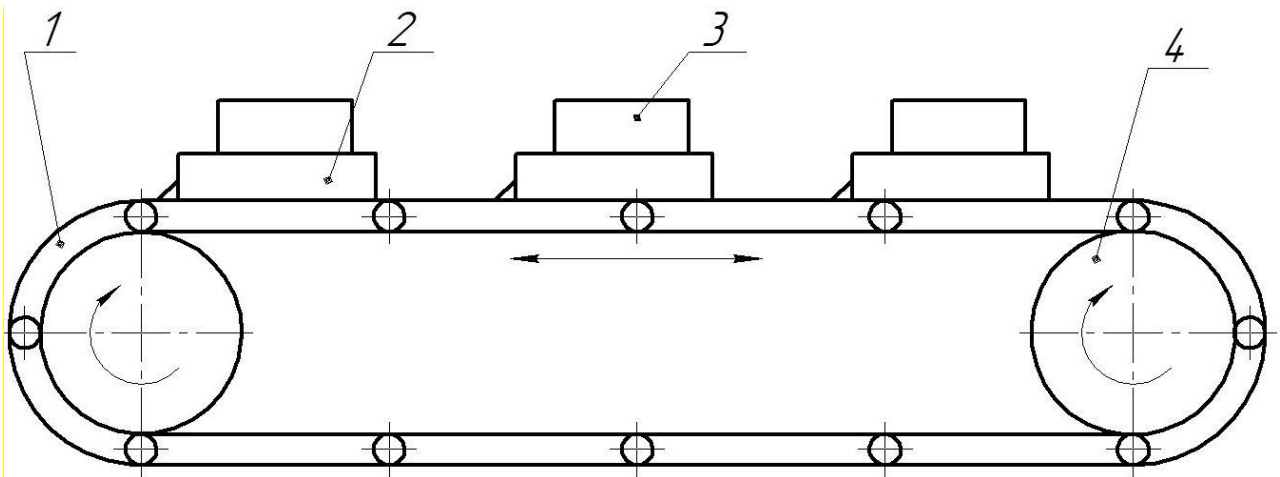


Рисунок 8.5 – Ланцюговий кроковий транспортер

8.1.2 Обертові пристрої і механізми повороту в структурі автоматичних ліній

У верстатах-автоматах і напівавтоматах, агрегатних верстатах та автоматичних лініях широко застосовуються цільові механізми періодичного повороту з подальшою фіксацією положення вузла, що повертається, а саме:

- поворотні пристрої, на які кріпляться інструменти або заготовки; хитні пристосування; револьверні головки; шпиндельні блоки тощо (детально розглядалися в курсах «Металорізальні верстати» і «Верстати з ЧПК»);
- механізми повороту оброблюваних заготовок на багатошпиндельних верстатах-автоматах або напівавтоматах на заданий кут, а саме – поворотні столи;
- поворотні столи для зміни орієнтації заготовок в автоматичних лініях.

Розглянемо конструкцію і принцип дії поворотного пристрою, який здійснює поворот оброблюваних заготовок на верстатах-автоматах або напівавтоматах на заданий кут, а саме – поворотного столу (рис. 8.6).

Поворот столу 9 здійснюється від електродвигуна 1 через редуктор 2, обгінну муфту 3 і черв'ячну пару 5. При повороті столу 9, внаслідок наявності скося на фіксаторі 8, він топиться, стискаючи пружину 6. Після повороту на певний кут, фіксатор входить у наступне гніздо столу. При цьому відбувається

реверсування електродвигуна 1 і рух через муфту граничного моменту 4 передається на черв'як черв'ячної пари 5.

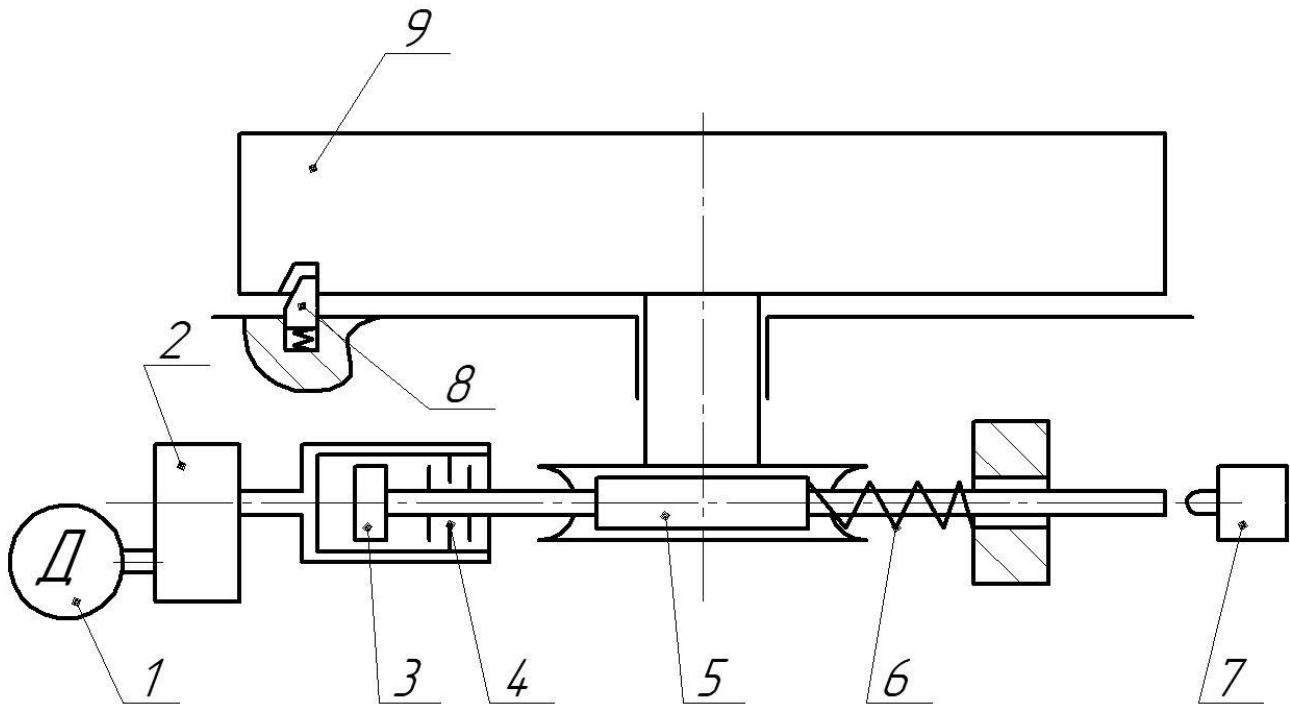


Рисунок 8.6 – Конструктивна схема поворотного стола багатопиндельного верстата

Стіл 9 отримує обертання в зворотному напрямку, а так як фіксатор знаходиться в гнізді столу, то стіл впирається в нього і не повертається. Черв'як, продовжуючи обертатися, угвинчується в зуби черв'ячного колеса, переміщається уздовж своєї осі і, стискаючи пружину 6, натискає кінцевий вимикач 7, який вимикає електродвигун.

До другої групи поворотних пристроїв відносяться поворотні столи для зміни орієнтації деталей (заготовок) в автоматичних лініях, які забезпечують наступні варіанти повороту:

- поворот заготовок на 90° (рис. 8.7). Винесення центру повороту за габарити заготовки дає можливість повертати її до відведення транспортера попередньої ділянки;

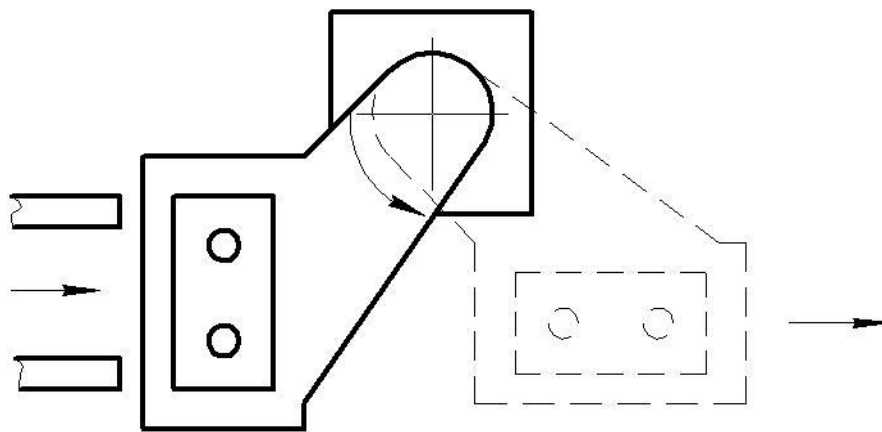


Рисунок 8.7 – Схема спрацьовування поворотного столу, який здійснює поворот заготовок на 90°

- поворот заготовок на 90° з розкладанням їх на два потоки (рис. 8.8);

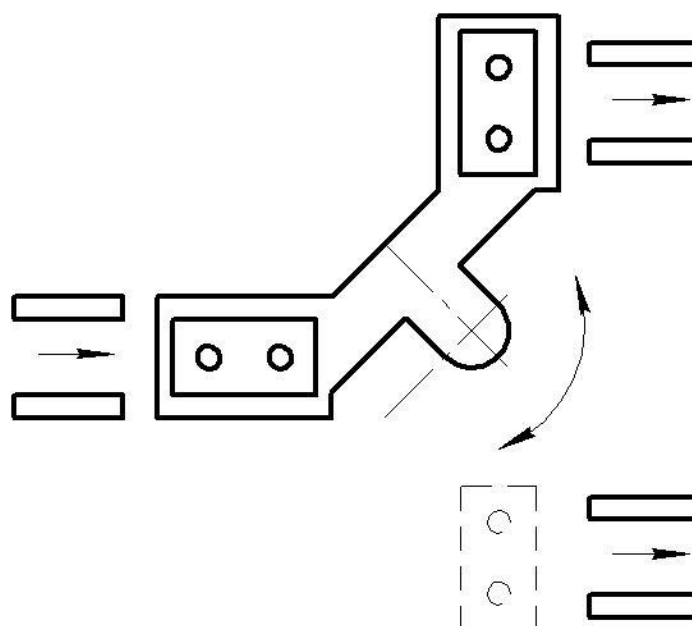


Рисунок 8.8 – Схема спрацьовування поворотного столу, який здійснює поворот заготовок на 90° з розкладанням їх на два потоки

- поворотний стіл з планшайбою (рис. 8.9) – центр повороту O збігається з центром симетрії деталі при цьому поворот на 90° або 180° можливий тільки після відведення транспортера попередньої ділянки;

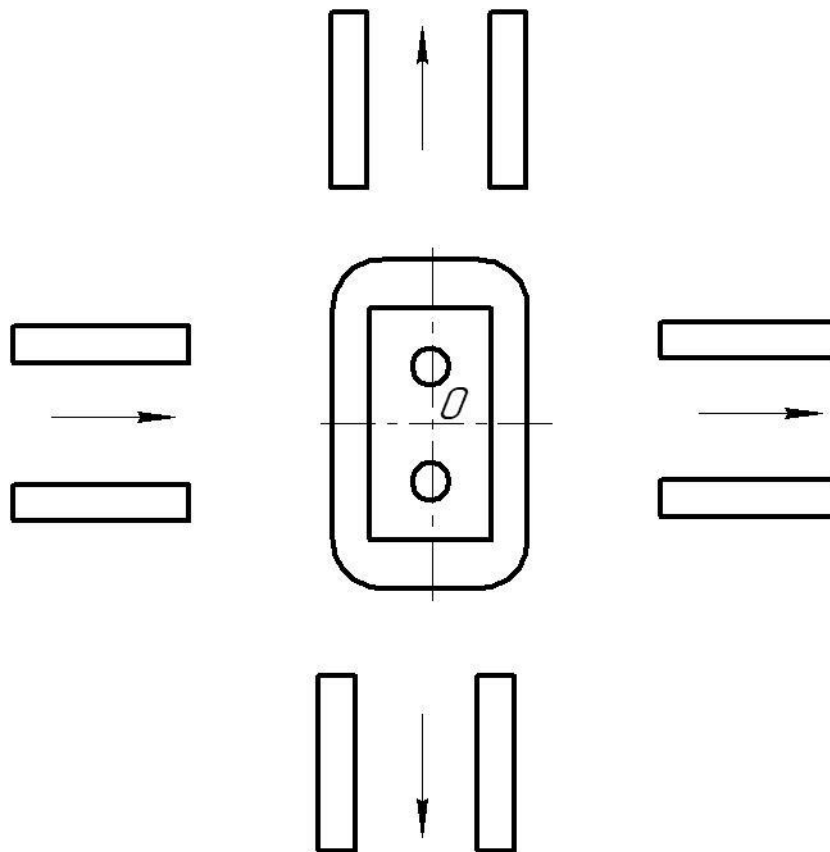


Рисунок 8.9 – Схема поворотного столу з планшайбою

- поворот заготовки на 180° при зміні напрямку її руху (рис. 8.10)
здійснюється за допомогою поворотного столу з винесеним центром повороту O.

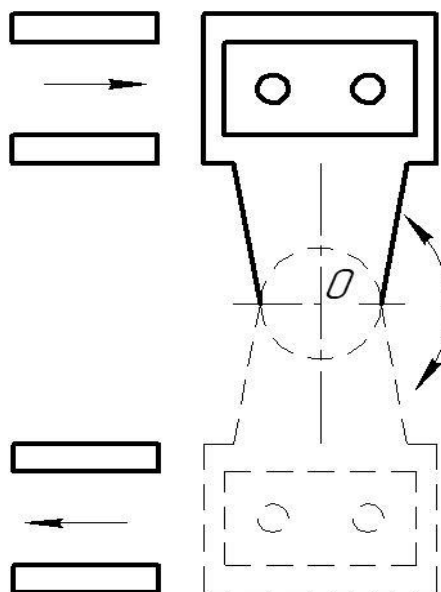


Рисунок 8.10 – Схема спрацьовування поворотного столу з винесеним центром повороту

8.2 Питання для самоконтролю за восьмою темою

1. Класифікація цільових механізмів автоматичних ліній в залежності від призначень.
2. Транспортні механізми автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком.
3. Призначення крокових транспортерів, особливості конструкцій.
4. Як визначити точність позиціювання заготовок на транспортері з собачками?
5. Допоміжні елементи автоматизованих завантажувальних пристроїв, особливості конструкцій і розрахунків.
6. Різниці в конструкції обертових пристроїв і механізмів повороту в структурі автоматичних ліній, які призначені для: обертання заготовок, інструментів на верстаті; зміни орієнтації; повороту оброблюваних заготовок на заданий кут або напрямок?

РОЗДІЛ 9

ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ – ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Завдання сучасного машинобудування – врегулювати протиріччя, що склалося між високою продуктивністю і відсутністю мобільності обладнання масового виробництва і високою мобільністю і низькою продуктивністю універсальних верстатів, які використовуються в умовах одиничного і серійного виробництв.

Досвід впровадження гнучких виробничих систем (ГВС) показує, що вони забезпечують високу мобільність, практично рівну мобільності одиничного виробництва, високу продуктивність і низьку собівартість, які можна порівняти з тими ж показниками масового виробництва, що практично стирає грань між цими виробництвами.

9.1 Поняття гнучких виробничих систем, їх класифікація та структура

9.1.1 Характеристика сучасного виробництва

Сучасне виробництво відрізняється наступними основними ознаками.

- Зростаючі вимоги до якості продукції, яка, в свою чергу, є функцією наступних факторів: технологічних можливостей верстатів; конструкцій різального інструменту і пристосувань; технологічних можливостей системи керування, її точності, швидкодії; наявності засобів діагностики.

- Низька ефективність використання наявної потужності технологічного обладнання: 87% терміну служби універсальні верстати використовуються на 20% встановленої потужності, 12% терміну служби – на 75% потужності, 1% терміну – на 100% потужності.

- Низька ефективність використання часу виробництва: 1% всього часу створення і виробництва продукції деталей знаходиться в цеху, 5% від цього часу вона знаходиться на верстатах. Підвищення продуктивності обладнання не

призвело до скорочення часу на створення продукції. Зберігся тривалий виробничий цикл. Велика увага приділялась оптимізації робочого процесу формоутворення деталей і мала – організації виробництва.

- Впровадження прогресивного обладнання не призвело до підвищення фондівіддачі. Спостерігається тенденція до старіння виробничого обладнання. Ознаки старіння наступні: великий обсяг незавершеного виробництва, значні запаси і заділи; тривалий виробничий цикл; низька інтенсивність росту продуктивності праці; низька рентабельність виробництва. Основна причина старіння – повільний розвиток технології та відсутність нових форм організації виробництва.

В сучасних умовах господарювання прогресивним є тільки таке виробництво, яке активно і своєчасно реагує на поставлені проблеми. Науково-технічний прогноз розвитку промислового виробництва показує, що саме ГВС найкращим чином задовольняють вимогам замовника, забезпечують високу рентабельність виробництва і його ефективність. Вони дозволяють уникнути затоварення непотрібною продукцією і марного витрачання всіх видів ресурсів. Цей тип виробництва може працювати за прогресивним принципом «роби вчасно» («can buy»), так як постачання заготовок, деталей, складальних вузлів і т. д. здійснюється строго в певний час.

Необхідність прискорення темпів оновлення продукції обумовлює перехід машинобудування від автоматизації окремих елементів виробничого процесу до комплексної автоматизації на всіх рівнях, застосування ГВС в умовах дрібносерійного, серійного і масового виробництв.

Базою для вирішення цього складного і суперечливого завдання з'явилися особливі властивості ГВС: їх здатність до швидкої перебудови на випуск нової продукції за рахунок гнучкості і мобільності; наявність високого технічного рівня обладнання, здатного реалізовувати прогресивні ТП на основі високого ступеня інтеграції виробництва; випуск конкурентоспроможної і високоекономічної продукції.

9.1.2 Концепція гнучкого виробництва та поняття гнучкості виробництва

Концепція гнучкого виробництва включає в себе наступні положення:

- організація виробництва на основі групової технології, при чіткому плануванні виробництва та ефективному контролі за виконанням планів за допомогою інформаційних систем;
- автоматизація ТО, складського та внутрішньо-цехового транспорту з метою організації точно розрахованих транспортних потоків заготовок, деталей та інструментів;
- виконання технологічних операцій та видалення відходів;
- зв'язок перерахованих параметрів у єдину систему, керовану від ЕОМ.

Шлях реалізації цієї концепції полягає в організації ГВС.

Гнучкість виробництва оцінюється загальною кількістю інформації I_{Π} , необхідної для переробки вихідного матеріалу в готовий виріб

$$I_{\Pi} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} (I_o + I_m + I_d) i \cdot j ,$$

де n – число деталей, що складають виріб (номенклатура);

k_i – число технологічних операцій, що переводять вихідний матеріал-заготовку в i -ю готову деталь;

I_o – обсяг інформації, що визначає технологічну операцію (інформація про налагодження процесу: потрібного інструменту, параметрів режиму обробки, відносних рухів інструменту і заготовки);

I_m – допоміжна інформація про маніпулювання об'єктами виробництва;

I_d – диспетчерська інформація про перехід до $(j+1)$ -ї операції, міжопераційне транспортування, зберігання і т. д.

Таким чином, гнучкість виробництва характеризується тим, наскільки швидко можна оновити інформацію I_{Π} . В широкому плані гнучкість це не тільки

можливість швидкої зміни умов виробництва всередині комплексу, але і оперативність підготовки керуючих програм (КП), інструмента, пристосувань, заготовок і т. д. Тобто, гнучкість являє собою можливість змінювати в будь-який момент стратегію виробництва в залежності від обставин.

Гнучкі автоматизовані виробництва (ГАВ) не передбачають можливості мінімальної присутності та участі людини в процесі виготовлення виробів, що може бути характеризовано терміном «безлюдна» або «малолюдна» технологія обробки, який свідчить про ступінь участі людини в ГАВ. Поняття «безлюдна» технологія підкреслює можливість досить тривалого функціонування обладнання (протягом 1 – 2 змін) в автоматичному режимі.

Для реалізації «безлюдної» гнучко переналагоджуваної технології обробки необхідно виключити з обов'язків робітника-оператора наступні функції:

- завантаження верстата заготовками і видалення оброблених деталей;
- установка, підбір потрібного інструменту;
- зміна пристосувань;
- включення верстата;
- загальне спостереження за роботою устаткування;
- контроль якості деталей.

9.1.3 Класифікація гнучких виробничих систем

Як було сказано раніше (див. п. 1.3.1), ГВС – це сукупність роботизованих технологічних комплексів (РТК), гнучких виробничих модулів (ГВМ) і систем забезпечення їх функціонування в автоматичному чи автоматизованому режимі, яка має можливості автоматизованого переналагодження при виробництві деталей або виробів довільної номенклатури в межах технологічного призначення і технічних характеристик обладнання.

Класифікація ГВС передбачає їх наступні особливості:

- з повним циклом обробки (на них деталі або вироби обробляються зі стовідсотковою готовністю для складання);

- з неповним циклом обробки (для завершення виготовлення деталі потрібні додаткові операції на обладнанні за межами цієї системи);

- з жорстким маршрутом обробки (це ГАЛ – гнучкі автоматичні лінії, обладнання в них розташоване в послідовності, що відповідає технологічним операціям);

- з вільним маршрутом обробки (це ГАД – гнучкі автоматизовані ділянки, в них передбачена можливість зміни послідовності використання ТО).

Дві або більше ГВС, об'єднаних в систему єдиною автоматичною системою керування (АСК), утворюють інтегровану виробничу систему або ГАВ.

Залежно від розгалуженості і складності структури ГАВ поділяються на гнучкі автоматизовані цехи (ГАЦ) або гнучкі автоматизовані заводи (ГАЗ).

ГАЦ являє собою в різних поєднаннях ГАЛ, РТК, ГАД, ГВМ для виготовлення виробів даної номенклатури. В ГАЗ здійснена часткова або повна інтеграція декількох гнучких автоматизованих цехів, ліній, ділянок, модулів, робототехнічних комплексів, а також систем їх функціонування в єдину виробничу систему.

У виробничій основі всіх видів ГВС лежать ГВМ і РТК.

ГВМ – автономно функціонуюча одиниця обладнання (при механічній обробці це здебільшого верстат з ЧПК) для виготовлення виробів довільної номенклатури, яка автоматично здійснює всі функції, пов'язані з їх виготовленням, і має можливість вбудовуватися в ГВС і РТК.

Зазвичай засоби автоматизації ГВМ можуть включати накопичувачі, супутники (палети), пристрої для завантаження заготовок і вивантаження готових деталей, заміни технологічного оснащення, автоматизованого контролю, включаючи діагностування і т. д.

РТК – це сукупність одиниць ТО, промислових роботів (ПР) і засобів оснащення, що автономно функціонує і виконує багатократні цикли. РТК, які призначені для роботи в ГВС, повинні мати автоматизовану переналадку і можливість вбудовуватися в систему. Засобами оснащення РТК можуть бути

пристрої накопичення, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва та інші пристрої, що забезпечують їх функціонування.

9.1.4 Системи забезпечення функціонування ГВС

Тенденцією сучасного етапу автоматизації є створення комплексних систем, що включають конструювання виробів, технологічне проектування і виготовлення виробів у ГВС. Спроектований технологічний процес повинен оперативно реагувати на зміну виробничих ситуацій при виготовленні виробів. Підвищення потреби у конкурентоспроможності продукції машинобудування вимагає нових продуктивних технічних систем. Для цього створюють віртуальні виробничі системи (інформація про їх структуру зберігається тільки в пам'яті ЕОМ) на основі розподілених виробничих систем (окремі виробничі системи, що організаційно не зв'язані між собою і мають технологічне обладнання). При цьому вирішуються завдання організації і управління.

Системи забезпечення функціонування ГВС, як технологічної системи, в автоматичному чи автоматизованому режимі мають наступні структурні складові частини:

- автоматизовану транспортно-складську систему (АТСС), або транспортно-накопичувальну систему (АТНС), які є системами взаємопов'язаних автоматизованих транспортних і складських пристроїв з установкою в супутниках (на палетах) або в іншій транспортній тарі (в піддоні, контейнері, у магазині) предметів виробництва і технологічної оснастки для їх тимчасового накопичення, розподілу та доставки до ГВМ, РТК або іншого технологічного обладнання в ГВС;

- автоматизовану систему інструментального забезпечення (АСІЗ), яка включає взаємопов'язані пристрої, обладнання і систему керування, а також ділянки підготовки та налаштування інструментів, їх транспортування, накопичення, зміни і контролю якості, що забезпечують підготовку, зберігання, автоматичну заміну інструментів у магазинах на верстатах; найбільш досконалі АСІЗ включають також автоматичну систему стеження за зносом і поломками

інструментів і автоматичну систему їх налагодження-підналагодження на верстаті в процесі обробки;

- автоматизовану систему забезпечення якості (АСЗЯ) – систему контролю заданих параметрів деталі або виробу в процесі обробки, що включає контрольно-вимірювальну машину з ЧПК, програмовані та моделюючі перевірконо-випробувальні машини;

- автоматизовану систему забезпечення надійності (АСЗН) – вбудовані в системи технічної діагностики системи спостереження за станом обладнання, автоматичного пошуку, хронометражу та аналізу причин відмов і поломок;

- автоматизовану систему видалення відходів (АСВВ);

- автоматизовану систему управління (АСУ) ГВС, а саме: комплекс ЕОМ, мікропроцесорної техніки, програмного забезпечення і центральний пульт управління, що зв'язує управління усіма складовими частинами ГВС у режимі DNC (Direct Numerical Control) – системи з числовим програмним керуванням групою різних верстатів, допоміжним обладнання, а також функціональними системами виробництва від єдиної ЕОМ і забезпечує збирання і передавання виробничої інформації для координації та прийняття рішень на всіх рівнях зв'язків і керування;

- САПР – комплекс автоматизованого обладнання на базі ЕОМ, програмного забезпечення, електронних банків даних і бібліотек програм з використанням відеотерміналів і різних засобів введення та виведення інформації;

- автоматизовану систему технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) – комплекс автоматизованих засобів, програмного забезпечення, електронних банків даних для розробки і розрахунку технології виготовлення продукції, необхідної технологічної оснастки, інструменту, вибору заготовок і т. д.;

- автоматизовану систему оперативного планування виробництва (АСОПВ) – комплекс автоматизованих засобів для нормування часу, складання та розрахунків оперативного планування, гнучкого графіка виробництва по кожній ГВС.

Крім того в структурі ГВС повинні бути присутніми багато інших автоматизованих систем, пов'язаних із забезпеченням різних функцій підприємства: технічних – утримання і обслуговування обладнання, систем енергозабезпечення і енергопостачання, матеріального забезпечення; систем наукових досліджень; систем управління підприємством (АСУП), які включають крім АСУ технологічним процесом (АСУТП) організаційні фактори – роботу з кадрами, діло-виробництво тощо, і тут ЕОМ застосовується для повсякденного, щогодинного аналізу ходу виробництва і прийняття рішень управлінським персоналом.

Таким чином, інтеграція всіх перерахованих систем в єдину систему призводить до створення ГАВ. Узагальнюючі попередню інформацію, можна констатувати, що технологічна система виробництва є основою гнучкого автоматизованого виробництва. Для виготовлення деталей існують допоміжні системи, які в сукупності з технологічною системою і формують структуру ГАВ, яка складається в загальному випадку з трьох основних елементів: автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), автоматизованої системи управління підприємством (АСУП) та власне гнучкої виробничої системи (ГВС) (рис. 9.1).

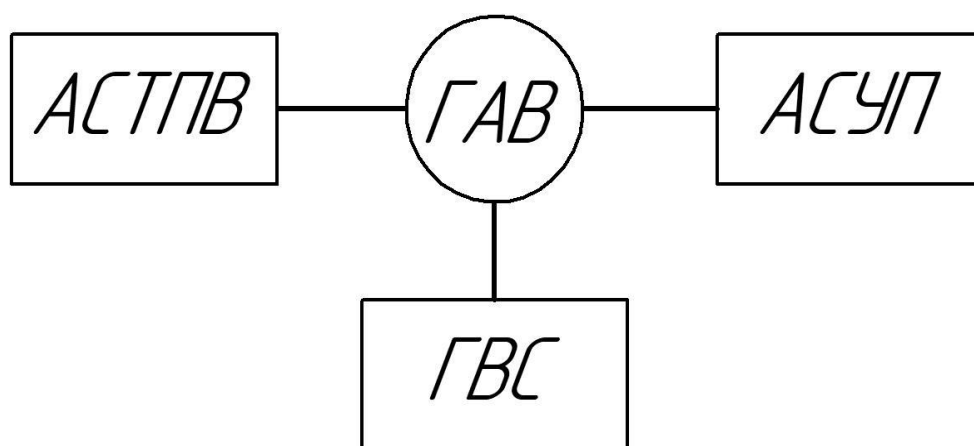


Рисунок 9.1 – Узагальнена структура ГАВ

Залежно від структурного рівня виробничої одиниці гнучким автоматизованим виробництвом може бути лінія, ділянка, цех, завод. Тому під

АСУП мається на увазі автоматизована система управління саме цією виробничою одиницею, при чому, звісно, враховуються її зв'язки з АСУП вищого ієрархічного рівня. АСПВ ГАВ включає САПР керуючих програм, інструменту та пристосувань, а також засоби оснащення виробництва.

Виходячи з цього, можна сказати, що ГАВ синхронізується як єдине ціле системою управління і забезпечує швидку перебудову технології виробництва при зміні об'єктів виробництва.

Таким чином до структури ГАВ входять наступні основні системи.

Технологічна система – це сукупність взаємопов'язаних технологічних машин (верстатів з ЧПК, що обслуговуються роботами, маніпуляторами та ін.), які здійснюють формоутворення деталей в автоматичному режимі.

Транспортна система, яка складається з транспортних та накопичувальних пристроїв, що здійснюють міжопераційне зберігання та доставку заготовок, пристроїв, інструментів, готових деталей до основного технологічного обладнання та автоматичного складу. Для виконання функцій транспортування можуть бути долученими промислові роботи різних типів.

Складська система, яка служить для зберігання нормативного запасу заготовок, пристроїв та інструменту, видачі їх у виробництво, накопичення та зберігання готових деталей.

Система інструментального забезпечення, що здійснює оперативну підготовку та зберігання інструментальних наладок і пристроїв, а також контроль, облік і доставку інструментів та оснащення до основного технологічного обладнання.

Система контролю здійснює: контроль стану технічних засобів ГВС та деталей; діагностику працездатності автоматичного обладнання, що входить до складу технологічної, транспортної, складської систем і системи інструментального забезпечення.

Система управління, яка складається із засобів обчислювальної техніки у вигляді керуючого обчислювального комплексу із засобами програмного забезпечення та здійснює: розробку оперативних завдань для верстатів та систем

обслуговування (переробку, передачу та накопичення інформації, що відноситься до погодження переміщення у просторі та часі заготовок, інструментів, оснащення та ін.); облік виконання планових завдань; управління технологічним та допоміжним обладнанням (переробка, передача та накопичення інформації, яка відноситься до технологічних режимів обробки, маршрутів та ін.).

В якості обробного обладнання в автоматизованих виробництвах використані широко універсальні багатоцільові верстати з ЧПК (ГВМ), які мають можливості стикування з транспортними пристроями та ЕОМ систем управління вищого рівня. Вони покладені в основу гнучких автоматизованих виробництв. На рис. 9.2 показана структурна схема ГВС.

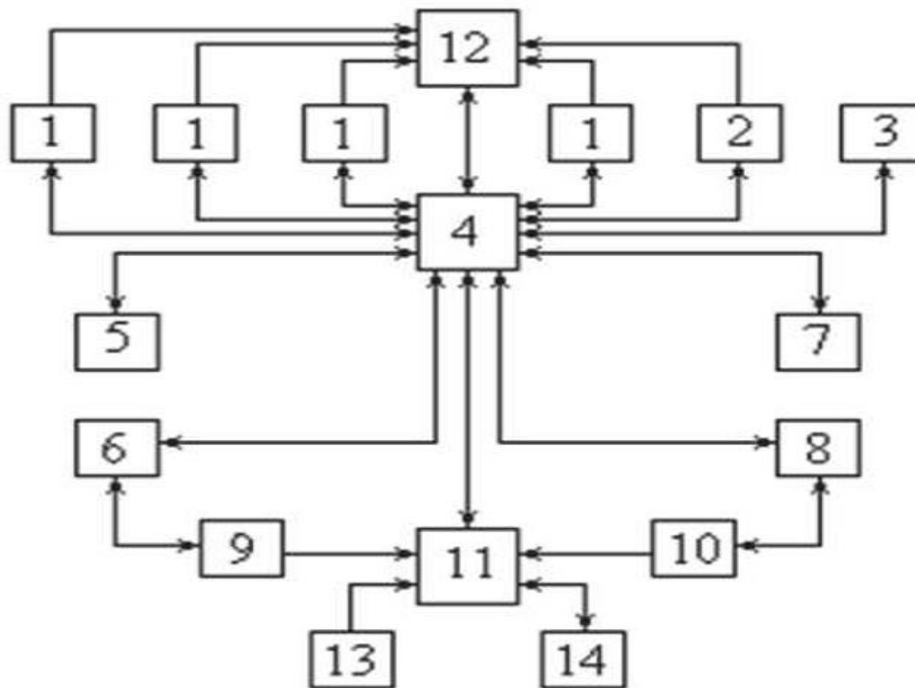


Рисунок 9.2 – Структурна схема ГВС: 1 – ГВМ; 2 – автоматизована мийна машина; 3 – автоматичний контроль готових виробів; 4 – транспортна підсистема; 5, 6, 7, 8 – відповідно, автоматичні склади заготовок, інструментів, готових деталей, пристроїв; 9 – ділянка налагодження інструментів; 10 – ділянка налагодження пристроїв; 11 – диспетчерське управління середнього рівня; 12 – система стружковидалення; 13 – банк програм управління; 14 – управління верхнього рівня

Призначення обладнання в структурі ГВС:

- 1, 2 і 3 відповідно, реалізують в автоматичному режимі операції обробки, мийки і контролю готових виробів, це обладнання організаційно та технологічно пов'язано з іншими компонентами системи, що забезпечують вирішення завдань автоматизації та взаємодії;
- 4....10 – реалізують підготовку, транспортування та складування інструментів, пристроїв, заготовок, напівфабрикатів та готових деталей;
- 12 – реалізують видалення стружки;
- 11, 13, 14 – реалізують управління системою на різних рівнях.

Переваги ГВС полягають у скороченні тривалості циклу виготовлення продукції: індивідуальні замовлення виконуються у намічені терміни за технологією та принципами серійного виробництва; реалізуються всі переваги групових методів виробництва; значно скорочується чисельність обслуговуючого персоналу, аж до роботи в третю зміну в «безлюдному» режимі і створення повністю автоматизованих виробництв.

Зазначені особливості визначають складність та своєрідність налагодження ГВС.

9.2 Основні елементи ГВС, їх особливості, розв'язувані ними завдання

Основну структуру ГВС складають наступні елементи:

- верстатне обладнання;
- транспортні системи;
- системи інструментального забезпечення;
- діагностичні системи і системи контролю;
- програмне забезпечення та системи управління ГВС.

9.2.1 Верстатне обладнання

Завдання, які вирішуються верстатним обладнанням (ВО), полягають у забезпеченні надійного випуску продукції заданої якості, що передбачає належне

виконання операцій ТП при постійній зміні умов виробництва з мінімальною участю оператора.

Вирішення цих завдань можливе за рахунок оснащення верстатного обладнання наступними пристроями:

- адаптивними і саморегульованими системами ЧПК (в основному на базі пристроїв типу CNC, заснованих на великих інтегральних схемах і мікропроцесорах з числовим управлінням від ЕОМ);
- розвиненими інструментальними магазинами;
- автоматизованими транспортними системами (АТСС або АТНС), включаючи пристрої автоматичного завантаження;
- засобами діагностики робочих процесів у технологічній системі;
- автоматичними допоміжними пристроями (подання мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ (МОТС), прибирання стружки і т. д.).

Особливості верстатів для ГВС. У відповідності з типами оброблюваних деталей верстатне обладнання для ГВС ділять на дві основні групи – для обробки корпусних деталей і для обробки деталей типу тіл обертання. В обох випадках здебільшого використовується модульний принцип побудови конструкцій верстатів.

Для обробки корпусних деталей використовуються багатоінструментальні або багатоцільові верстати типу «обробний центр». Вони звичайно оснащені механізмом автоматичної зміни палет й інструментальними магазинами з механізмом автоматичної зміни інструменту. Команди на пошук, зміну інструмента й палет задаються керуючою програмою (КП), яка відпрацьовується ЧПК.

Найбільш поширені варіанти компоновальних схем таких верстатів наведені на рис. 9.3.

Особливості компоновок залежать від технологічного призначення верстатів:

- з горизонтальною та вертикальною віссю обертання шпинделя;

- з хрестовим столом, який має робочі переміщення в горизонтальній площині вздовж осей X і Y , і піноюлю шпинделя, що переміщається вздовж осі Z (рис. 9.3 *а*);

- зі столом, що переміщається вздовж осі X , шпиндельною бабкою, яка має переміщення вздовж осі Y , та піноюлю шпинделя, яка переміщається відносно осі Z (рис. 9.3, *б*);

- зі шпиндельною бабкою, що має переміщення вздовж осей X , Y , Z (рис. 9.3, *в*);

- портального типу (рис. 9.3, *г*).

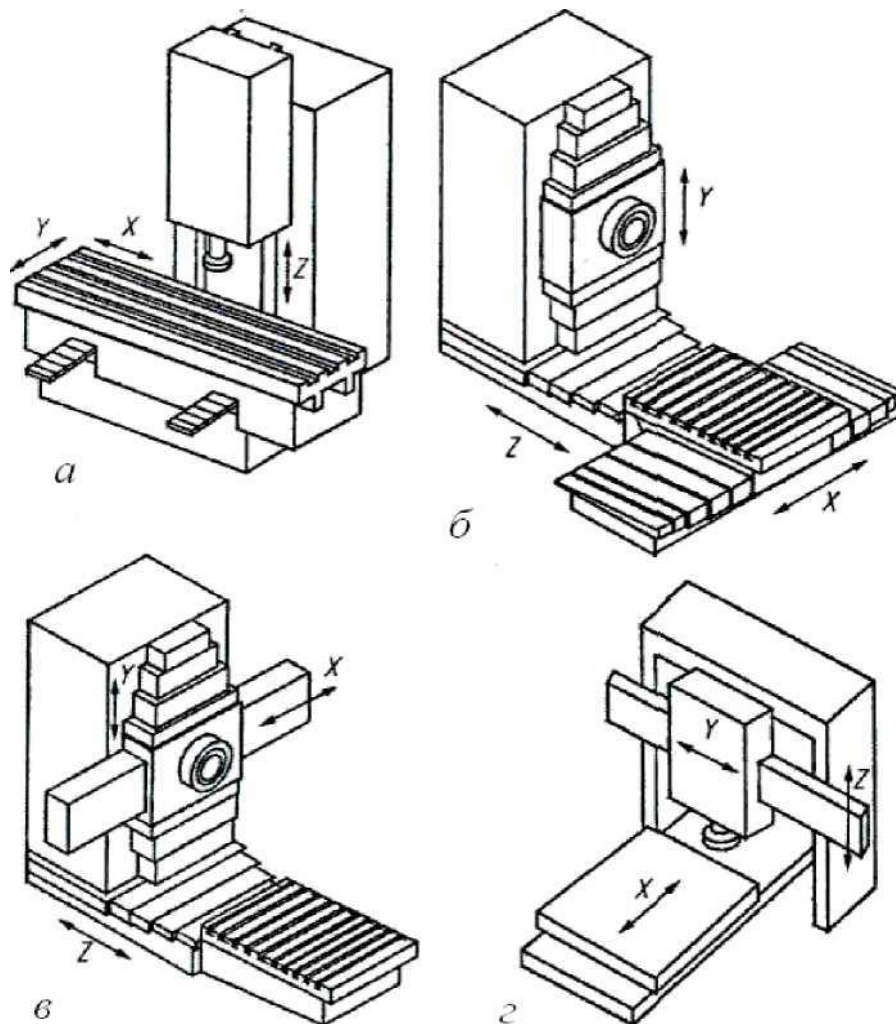


Рисунок 9.3 – Компонувальні схеми верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи: *а* – з хрестовим столом; *б* – з переміщенням столу; *в* – із переміщенням шпиндельної бабки; *г* – портального типу

Для найбільш ефективного використання фонду часу, а також для створення буферного запасу заготовок для ОЦ служить локальна накопичувальна система (база) палет.

Палети надходять на локальний пристрій-накопичувач і видаляються з нього під час обробки заготовки на робочому столі верстата по мірі прибуття транспортного засобу. Заготовки з числа, що знаходяться на локальному пристрої, надходять на робочий стіл верстата і повертаються назад по мірі відпрацювання верстатом відповідних керуючих програм.

Система управління ГВС повинна забезпечувати в потрібний для відповідного верстата момент, згідно з реалізованою керуючою програмою, доставку до накопичувача і зняття з нього палет із заготовками (детальями), доставку і повернення інструментальних комплексів у відповідності з планом і ходом виробництва.

Виконання цих дій істотно залежить від компоновок накопичувачів біля верстата. Розглянемо принципи організації роботи ГВМ на базі верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи. ГВМ такого типу мають у своєму складі багатоцільовий верстат з одно- або багатопозиційним накопичувачем столів-супутників та інструментальними магазинами. Промислові роботи для установки заготовок, зняття оброблених деталей у таких ГВМ використовуються мало.

Для прикладу на рис. 9.4 представлені варіанти ГВМ, що включають верстати з ЧПК фрезерно-свердлильно-розточувального типу. Верстат (див. рис. 9.4, *а*) має два робочих стола. Заготовку встановлюють на стіл вручну (або за допомогою якогось завантажувального пристрою), в той час як на іншому столі виготовляється деталь. Поєднання часу установки з часом обробки дає вигоду у продуктивності. Більш досконалим є ГВМ, що містить верстат з ЧПК з одним або з двома магазинами інструментів (див. рис. 9.4, *б*). Кроковий конвеєр-накопичувач палет з 4, 6, 8 або 12 заготовками дозволяє тривалий час вести обробку з обмеженою участю оператора. На таких ГВМ можна обробляти різні деталі різноманітними інструментами.

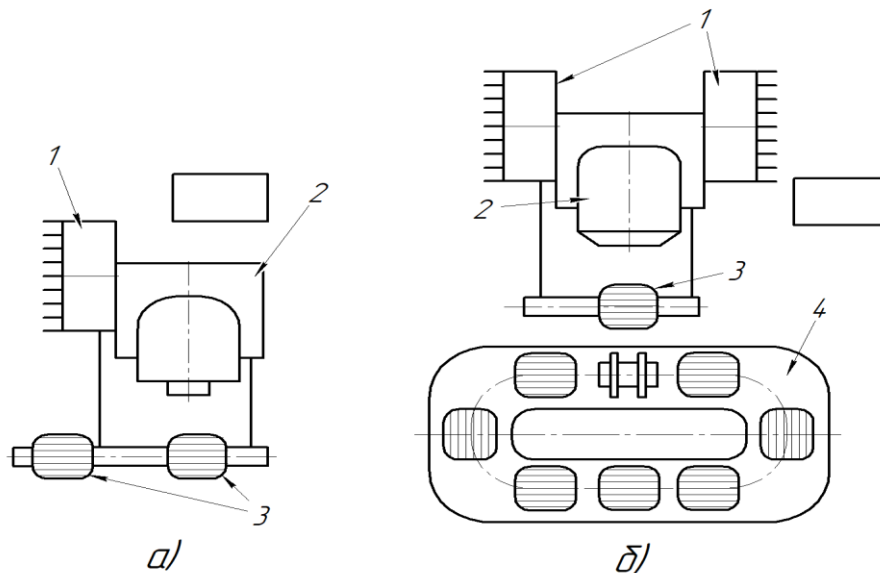


Рисунок 9.4 – Гнучкий виробничий модуль, що містить один верстат з ЧПК: *а* – з двома маятниковими робочими столами; *б* – з автоматизованим завантажувальним пристроєм; 1 – магазини з інструментами; 2 – верстат з ЧПК; 3 – стіл верстата; 4 – автоматизований завантажувальний пристрій (кроковий конвеєр – накопичувач палет)

Існують й інші варіанти конструкцій накопичувачів, а саме: кільцевий поворотний накопичувач, який забезпечує можливість подачі палет з позицій магазину на перевантажувальний пристрій або на стіл верстата в будь-якій послідовності; овальний накопичувач, що має ті ж функції, але може обслуговувати одночасно два верстата; прямокутний накопичувач, який допускає подачу і зняття палет лише в певній послідовності тощо.

При використанні локального нерухомого накопичувача обмін палетами зі столом верстата здійснюється в будь-якій послідовності за допомогою поворотного автооператора. При варіанті присутності нерухомих накопичувальних позицій уздовж всіх верстатів ГВС обмін палетами між верстатами і позиціями накопичувача здійснюється за допомогою перевантажувальної каретки – автооператора, яка пересувається (можливо по рейках) уздовж накопичувача.

Багатономенклатурний характер виробництва обумовлює вимоги до системи ГВС своєчасної заміни комплекту інструментів у фонді

інструментальних магазинів верстатів. Існує велика кількість варіантів конструкцій магазинів-накопичувачів і способів заміни інструментів у них:

Так магазини-накопичувачі інструментів можуть бути встановлені на стойці (колоні) верстата зверху або збоку, поза верстата або на шпиндельній бабці. Розташування магазину на шпиндельній бабці не вимагає додаткових переміщень маніпулятора, шпиндельної бабки або магазину для забезпечення необхідного взаємного положення магазину і шпинделя при зміні інструменту. Зміна інструмента здійснюється при будь-якому положенні шпинделя.

Але маса магазину і інструментів буде впливати на точність обробки заготовок, так як сили інерції, що виникають у моменти пуску і гальмування магазину при пошуку інструменту, впливають на систему ВПД верстата і мікрогеометрію оброблюваної поверхні. Різна ступінь заповнення магазину інструментами і його різна маса обумовлюють різні навантаження на бабку верстата, що призводить до зміщення осі шпинделя, а також впливає на стабільність позиціонування. Крім того, інструменти і магазин знаходяться дуже близько від зони обробки, що призводить до їх забруднення.

Для виключення цих недоліків магазин встановлюють поза шпиндельною бабкою (рис. 9.5).

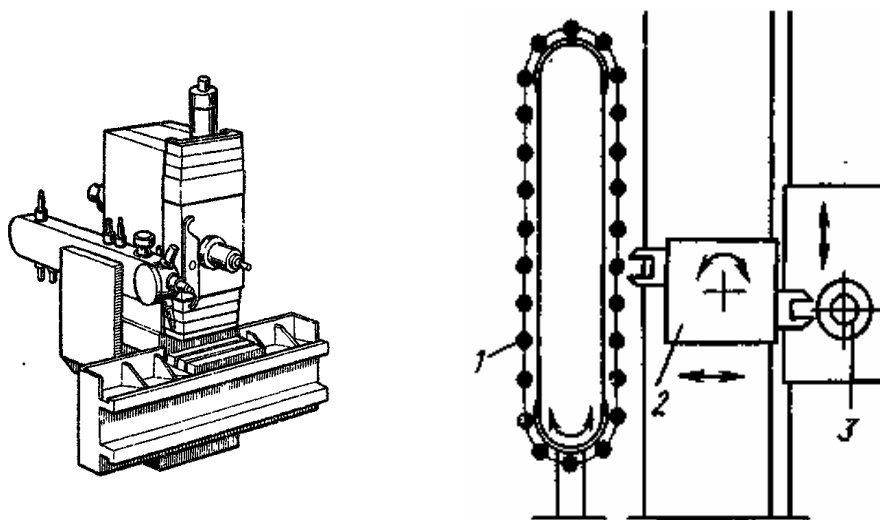


Рисунок 9.5 – Конструкція верстата з нерухомим автооператором заміни інструментів: 1 – магазин інструментів; 2 – автооператор; 3 – шпиндельна бабка

Але в цьому випадку після закінчення чергового переходу шпиндельна бабка повинна переміститися в позицію зміни інструменту, що збільшує час між переходами, а також знижує точність позиціонування шпиндельної бабки.

Для того, щоб видалити магазин від зони обробки, не збільшуючи час, необхідний на зміну інструменту, необхідно щоб автооператор був рухомим і міг міняти інструмент при будь-якому положенні шпиндельної бабки. Для кожної компоновки цикл роботи системи АЗІ буде різний. Чим далі магазин розташований від шпинделя, тим більше додаткових рухів і довше цикл зміни інструменту.

Для великих верстатів з великою ємністю магазинів використовуються автооператори, які мають можливість переміщення щодо шпиндельної бабки (рис. 9.6). Це дозволяє змінювати інструмент при будь-якому розташуванні шпиндельної бабки по висоті напрямних. Однак, такі конструкції більш дорогі і складні.

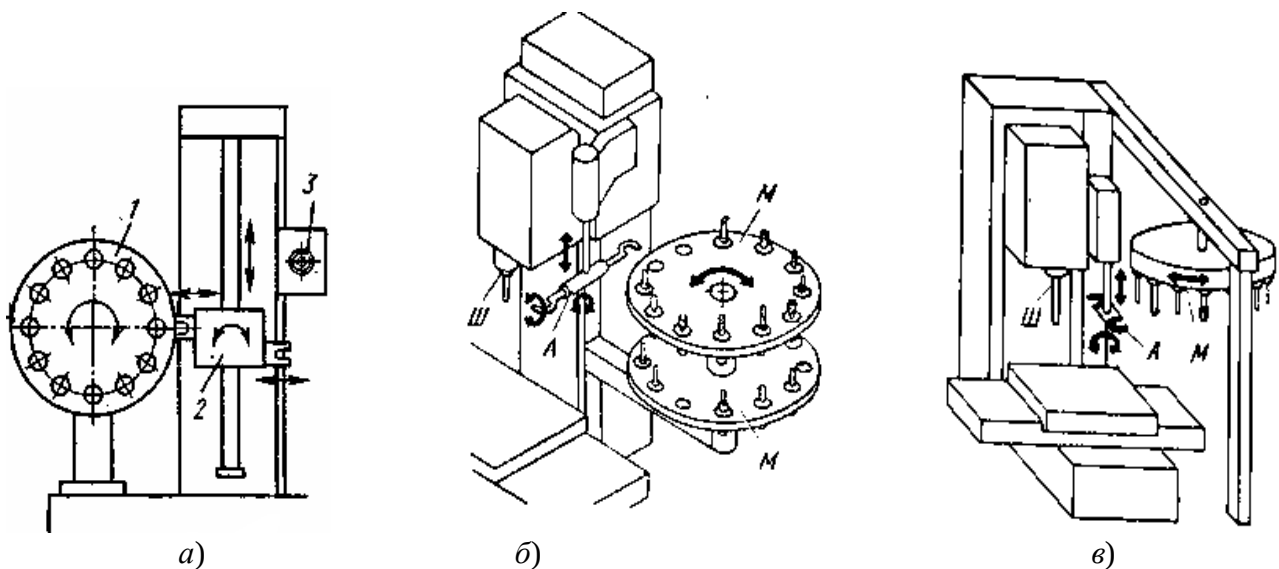


Рисунок 9.6 – Варіанти конструкцій верстатів з рухомими автооператорами для заміни інструментів: *а* – з пересуванням автооператора паралельно осям магазину; *б* – з пересуванням автооператора по спеціальному напрямним для обслуговування багаторівневого магазину; *в* – з пересуванням автооператора по спеціальному напрямним при обслуговуванні магазину, винесеного за межі верстата

Захвати автооператора можуть висуватися з корпусу каретки 2, а вся каретка пересуватися вгору і вниз на стойці верстата в напрямку, паралельному осям магазину 1 і шпинделя 3 (див. рис. 9.6, а). У нижньому положенні каретки, яке показано на схемі, лівий захват автооператора висувається і захоплює інструмент з магазину. При русі каретки уздовж осі інструменту він виводиться з магазину, і каретка переміщається по стойці в положення проти шпиндельної бабки. Правий захват здійснює аналогічний цикл і виймає інструмент зі шпинделя. Після цього відбувається поворот автооператора і заміна інструментів. Для зміни інструменту в будь-якому положенні шпиндельної бабки каретка переміщується по напрямних, відстежуючи переміщення бабки.

Для збільшення місткості інструментальних магазинів їх виготовляють багатоярусними (див. рис. 9.6, б), які вміщують до 40 інструментів. Багатоярусні магазини M розміщують на спеціальних напрямних, які кріпляться до верстатів. Велика висота таких магазинів обмежує робочу зону верстата, крім того, збільшується величина вертикальних переміщень автооператора A , що робить усю конструкцію громіздкою.

Інструментальний магазин на 30 інструментів може бути винесено за межі робочої зони верстата, де він встановлюється на поперечному брусі (див. рис. 9.6, в). Автооператор A , встановлений збоку шпиндельної бабки, після зупинки шпинделя III захоплює інструмент, що відпрацював, і новий інструмент з магазину. При русі вниз автооператор виводить обидва інструменти з гнізд і повертається на 180^0 навколо своєї осі. Після обміну місцями інструменти вводяться відповідно в шпиндель і магазин, де автоматично закріплюються, а автооператор повертається в середнє нейтральне положення і не заважає вертикальному переміщенню шпинделя.

Верстати з ЧПК та обробні центри токарної групи забезпечують обробку головним чином тіл обертання, причому поряд з різними операціями токарної обробки виконуються: свердління, розгортання, нарізування різьблення, фрезерування поверхонь, розташованих як вздовж осі деталі, так і перпендикулярно до неї, похило або з ексцентриситетом. Таким чином, верстати,

що розглядаються, багатофункціональні, з переважанням токарних операцій. Це означає, що їх компонування і структура подібні до традиційних токарних верстатів, деталь кріпиться в шпинделі, який обертається, а подачі мають різальні інструменти.

Основні вимоги до зазначеної групи верстатів:

1) швидке і гнучке переоснащення верстата та налагодження його для обробки нових деталей, які досягаються за рахунок:

- оптимізації робочого простору, що забезпечує вільне переміщення всіх робочих органів, доступність для налагодження верстату та простоту його обслуговування;

- можливості заміни автоматичного керування (ЧПК) ручним;

- простоти налагодження та обслуговування, що не потребує тривалого навчання;

2) низька собівартість обробки, яка забезпечується за рахунок:

- агрегування конструкції верстата, що дозволяє швидко пристосувати базову конструкцію до вимог конкретного споживача;

- різкого збільшення швидкостей робочих і настановних переміщень та, як наслідок, зниження часу робочого циклу;

3) зміни конструктивної структури токарних верстатів у результаті:

- виконання настановних переміщень та рухів подачі не супортом з револьверними головками, а піноллю електрошпинделя, яка має значно меншу масу;

- використання додаткового шпинделя (проти-шпинделя) для перехоплення заготовки під час обробки;

- дедалі ширшого застосування вертикального компонування, що спрощує автоматизовану установку заготовок та відведення стружки;

4) можливість виконання різних технологічних операцій комплексно, на одному верстаті, оскільки до 80% всіх деталей після токарної обробки вимагає додатково свердління, фрезерування, різьблення; комплексна обробка деталей забезпечується за рахунок:

- застосування інструментальних револьверних головок значної місткості, зокрема з можливістю обертання інструмента;

- використання додаткового проти-шпинделя для перехоплення заготовки і її обробки з іншого боку;

- збільшення потужності приводу головного руху, а також діапазонів частот обертання шпинделя і величини подач;

- використання керованого обертання шпинделя;

5) висока точність обробки, досягнення якої можливе внаслідок:

- все більш широкого використання базових деталей верстата (станини, напрямних) з сучасних неметалевих матеріалів, наприклад, полімерних бетонів, з високими динамічними та термічними властивостями, що забезпечують мінімальні механічні та теплові деформації верстата, а також гасіння вібрацій;

- застосування точних сервоприводів, які дозволяють значно підвищити точність позиціонування;

- використання вимірювальних пристроїв для контролю розмірів деталі під час обробки;

б) збільшення продуктивності та надійності роботи, що досягається в результаті:

- різкого збільшення швидкостей робочих і настановних переміщень та, як наслідок, зниження часу робочого циклу;

- значної потужності приводів;

- скорочення часу обробки внаслідок зростання швидкостей робочих та холостих переміщень та полегшення видалення стружки;

- високої гнучкості процесу і можливості обробки деталі з усіх боків без перезакріплення.

В даний час використовується ціла низка компоновок верстатів і обробних центрів токарної групи в залежності від їх технологічного призначення (рис. 9.7).

Верстати з горизонтальною віссю обертання шпинделя за принципом закріплення деталей можна класифікувати наступним чином:

1) закріплення деталей у патроні з можливістю обробки з одного боку, з керованим обертанням щодо осі C ; один супорт з можливістю переміщення по осях X і Z , на якому встановлена револьверна головка з нерухожими інструментами (різці) і з інструментами, що обертаються (свердла, фрези) (див. рис. 9.7, *a*). Обертові інструменти в залежності від конструкції головки переміщуються як паралельно, так і перпендикулярно до осі деталі;

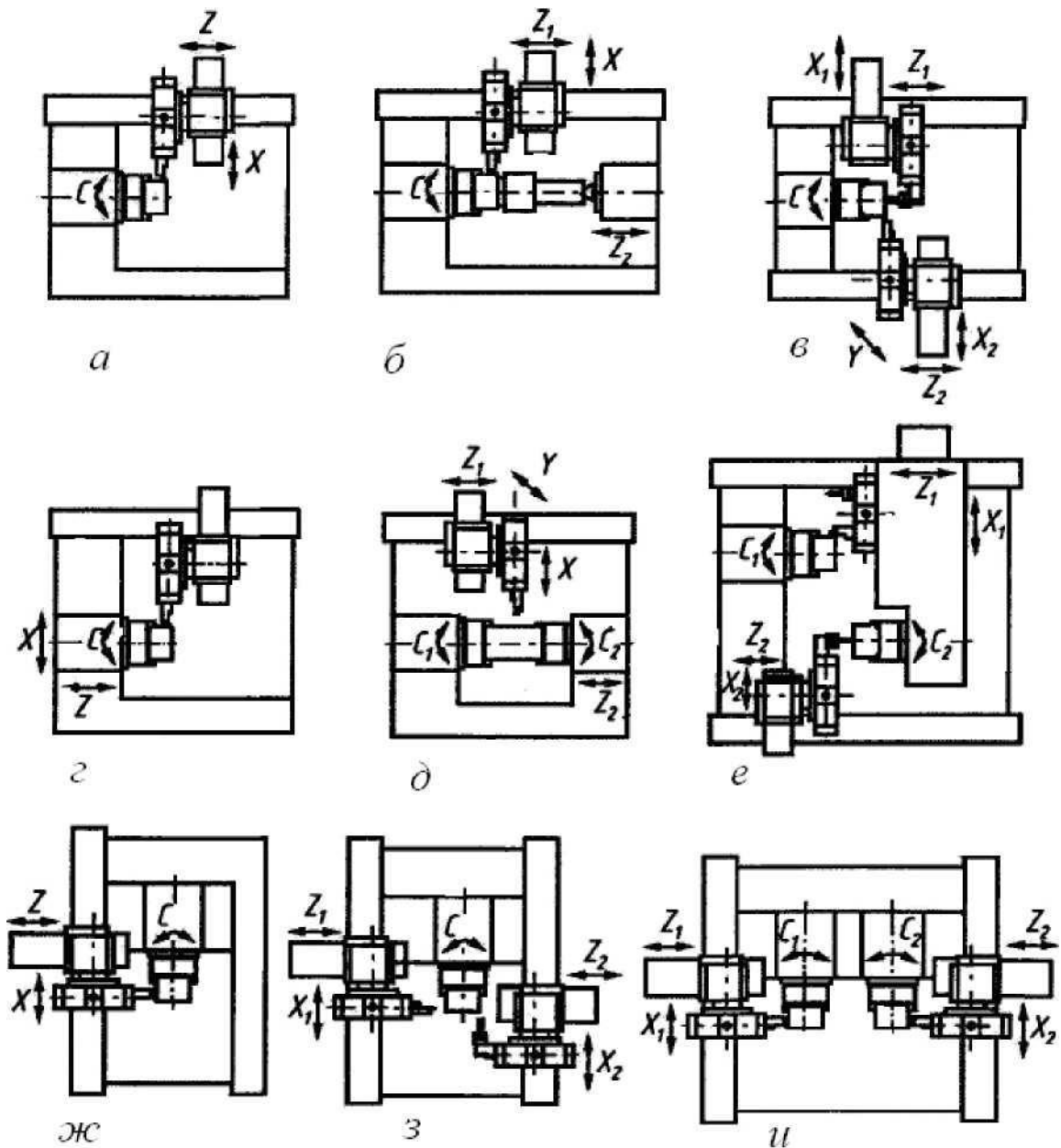


Рисунок 9.7 – Компонувальні схеми верстатів токарної групи з горизонтальною віссю обертання оброблюваної деталі (*a....e*) і з вертикальною віссю обертання оброблюваної деталі (*ж....и*)

2) закріплення деталей у патроні з підтисканням заднім центром (див. рис. 9.7, б); компоновальна схема аналогічна зі схемою, що наведена на рис. 9.7, а;

3) закріплення заготовок у патроні з можливістю обробки з одного боку і з керованим обертанням щодо осі С; два незалежні супорти з револьверними головками, які несуть нерухомі інструменти, що обертаються. Супорти розташовані з двох сторін щодо шпинделя верстата, один має переміщення за осями X_1 і Z_1 ; другий – за осями X_2 , Z_2 , Y (див. рис. 9.7, в);

4) закріплення деталей у патроні з можливістю обробки з одного боку і з керованими переміщеннями шпинделя щодо осей X , Z та C ; нерухома револьверна головка з нерухомими інструментами (різці) та інструментами, що обертаються (свердла, фрези) (див. рис. 9.7, г). Таке компоновання можливе лише при використанні електрошпинделів;

5) закріплення деталей спочатку в основному патроні, а потім у допоміжному патроні (що перехоплює) з керованим обертанням щодо осі С (див. рис. 9.7, д). Допоміжний патрон переміщається щодо осі Z_2 , револьверна головка розташована між патронами і має переміщення щодо осей Z_1 , X , іноді – осі Y .

Перехоплення оброблюваної деталі здійснюється без зупинки обертання основного шпинделя внаслідок синхронізації частот обертання обох патронів. Верстат забезпечує обробку деталі з усіх боків;

6) закріплення деталей спочатку в основному, а потім у допоміжному патроні (що перехоплює) з керованим обертанням щодо осі С (див. рис. 9.7, е), причому функція перехоплення здійснюється одним із гнізд револьверної головки. Дві револьверні головки мають переміщення щодо осей Z_1 , X_1 і Z_2 , X_2 відповідно. Верстат забезпечує обробку деталі з усіх боків.

Верстати з вертикальною віссю обертання шпинделя виробу за принципом закріплення коротких деталей типу диска можна класифікувати наступним чином (див. рис. 9.7, ж ... и):

1) закріплення деталей в патроні з керованим обертанням щодо осі С (див. рис. 9.7, ж) і однією револьверною головкою, яка вміщає різці й інструменти, що обертаються. Головка переміщається вздовж осей Z та X ;

2) закріплення деталей в патроні з керованим обертанням щодо осі С (див. рис. 9.7, з) і двома револьверними головками з різцями та інструментами, що обертаються. Головки мають переміщення вздовж осей Z_1 , X_1 та Z_2 , X_2 ;

3) закріплення деталей у двох патронах з паралельними осями (див. рис. 9.7, и) з керованим обертанням щодо осі С і двома револьверними головками з різцями та інструментами, що обертаються. Головки мають переміщення вздовж осей Z_1 , X_1 та Z_2 , X_2 .

Верстати такого типу можуть бути оснащені револьверними головками, які крім традиційних інструментів (нерухомо закріплених у головці) можуть бути оснащені інструментами з незалежним обертанням паралельно, перпендикулярно або похило до осі деталі (рис. 9.8).

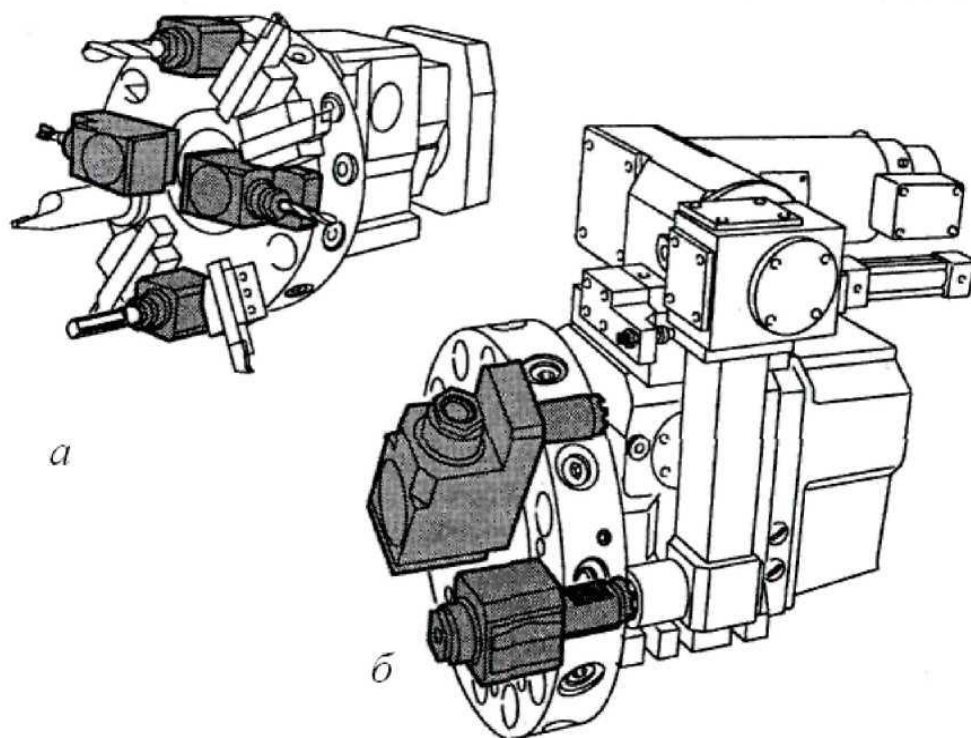
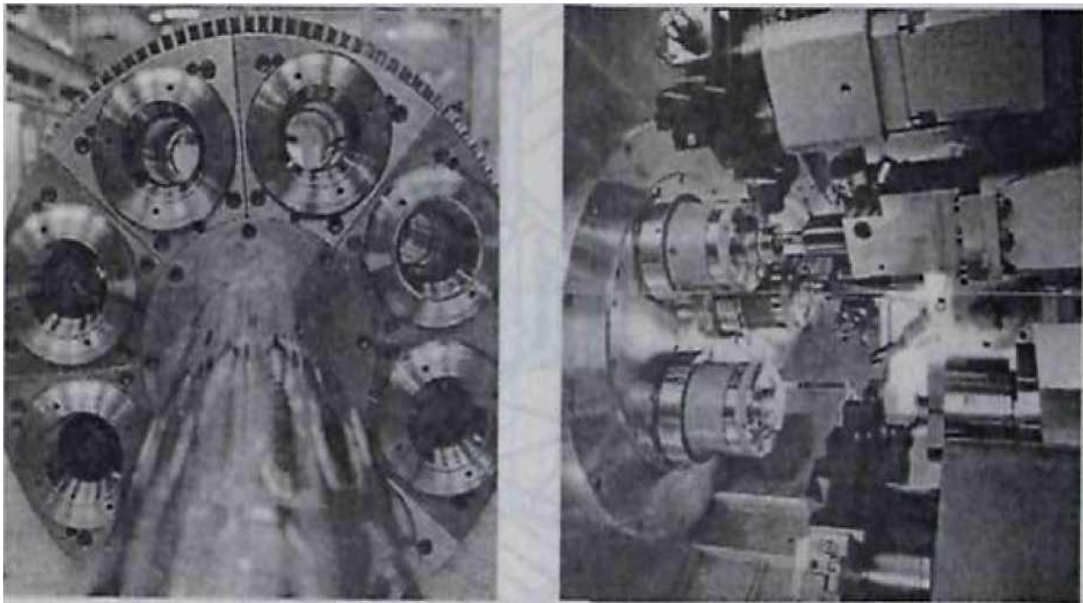


Рисунок 9.8 – Револьверні головки з інструментами, що обертаються (а) і, які є нерухомими (б)

Такі головки характеризуються малим часом заміни інструменту в робочій позиції, порівняно невеликими розмірами і можуть мати вісь обертання як паралельну, так і перпендикулярну до осі оброблюваної деталі.

Поряд з розглянутими вище компоновками токарних верстатів у ГВМ набувають поширення й інші компоновки, з більш широкими технологічними можливостями, наприклад:

- використання принципу диференціювання токарної операції шляхом введення в конструкцію верстата шпиндельного барабана з 4-6 шпинделями для кріплення виробів замість одного і з можливістю повороту барабана на постійний кут (рис. 9.9). Це дозволяє використовувати таке багатошпиндельне обладнання з ЧПК у великосерійному і масовому виробництві; підготовчо-заклучний час у цьому випадку в 4-5 разів менше, ніж при використанні традиційних багатошпиндельних токарних автоматів;



a)

б)

Рисунок 9.9 – Приклад багатошпиндельного токарного верстату з ЧПК: *a* - шпиндельний барабан; *б* - робоча зона

- заміна однієї з традиційних револьверних головок на інструментальний шпиндель з можливістю керованого повороту його осі на довільний кут (рис. 9.10); інструментальний магазин в цьому випадку містить до 100 різальних інструментів.

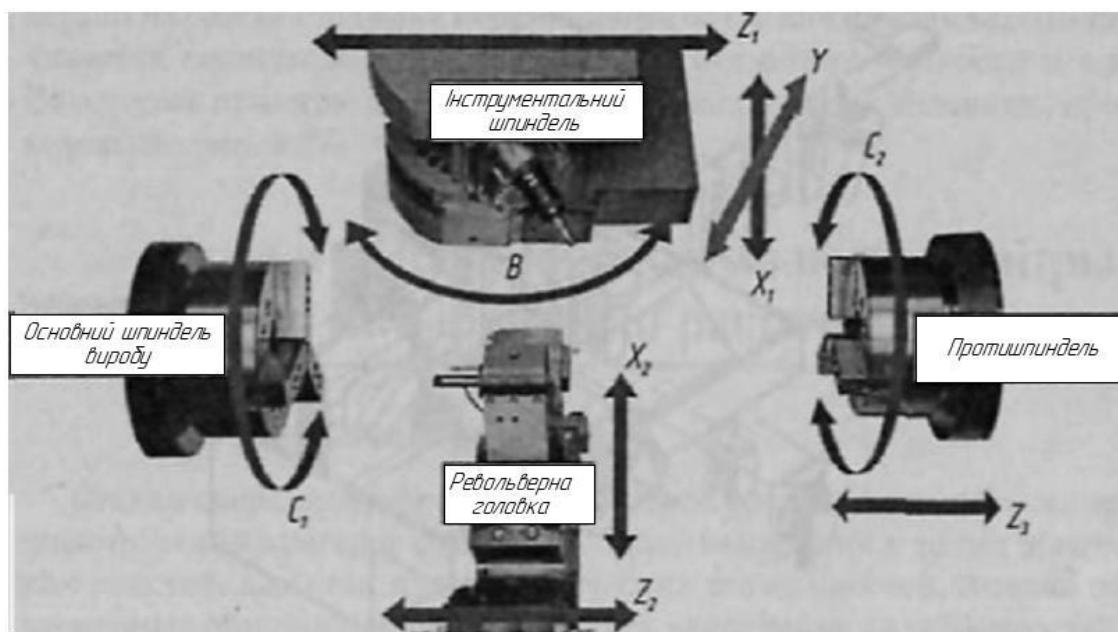


Рисунок 9.10 – Осі управління і функціональні вузли верстата з ЧПК з інструментальним шпинделем

У ГВМ на базі токарних верстатів завантаження деталей часто здійснюють за допомогою промислових роботів (рис. 9.11).

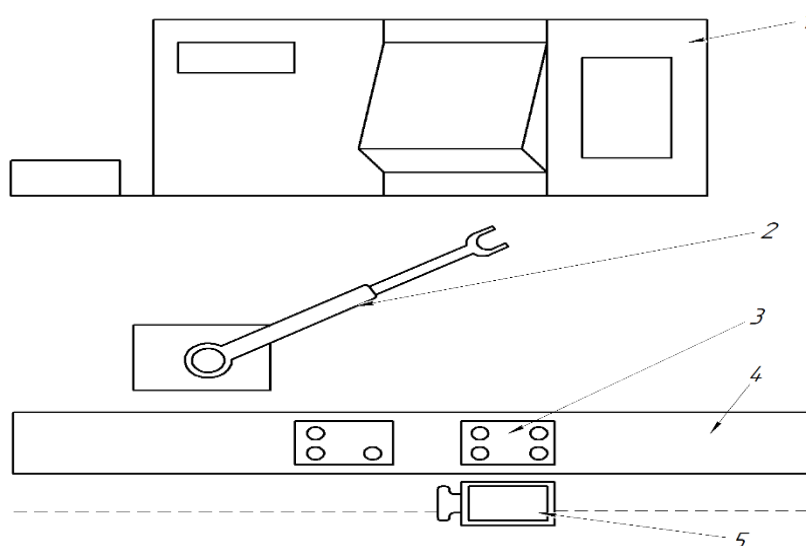


Рисунок 9.11 – ГВМ з промисловим роботом: 1 – верстат з ЧПК, 2 – ПР, 3 – касета з заготовками, 4 – конвеєр-накопичувач, 5 – робочар

Також у ГВС використовуються базові модулі на основі типових РТК (наприклад, верстат типу 16K20Ф3, ПР, тактові столи), які випускаються серійно. РТК можуть об'єднуватися в групи, що утворюють виробничу клітинку ГВС.

Для розширення можливостей ГВМ і збільшення їх автономної роботи вони оснащуються накопичувачами палет із заготовками і обробленими деталями. Так, наприклад, ГВМ зі стендовим (стаціонарним) накопичувачем віяльного типу характеризується тим, що число стендів-позицій накопичення заготовок може нарощуватися поступово, що дозволяє зменшити початкові витрати. Заготовки зі стендів на верстат перевантажуються за допомогою поворотного столу. Завантаження заготовок до накопичувача може здійснюватися роботом або робочим.

Такі ГВМ можуть бути забезпечені магазинами для інструментальних головок і пристроями для їх зміни. Для розміщення інструментів часто використовується барабан револьверного типу, в якому також передбачається вимірювальна позиція для контролю встановленого інструментального комплексу. Так, наприклад, ГВМ на рис. 9.12 складається з токарного верстата, промислового робота, тактового столу для установки заготовок і горизонтального барабанного магазину інструментальних головок. Головки по команді ЧПК замінюються в державках револьверної головки верстата промисловим роботом.

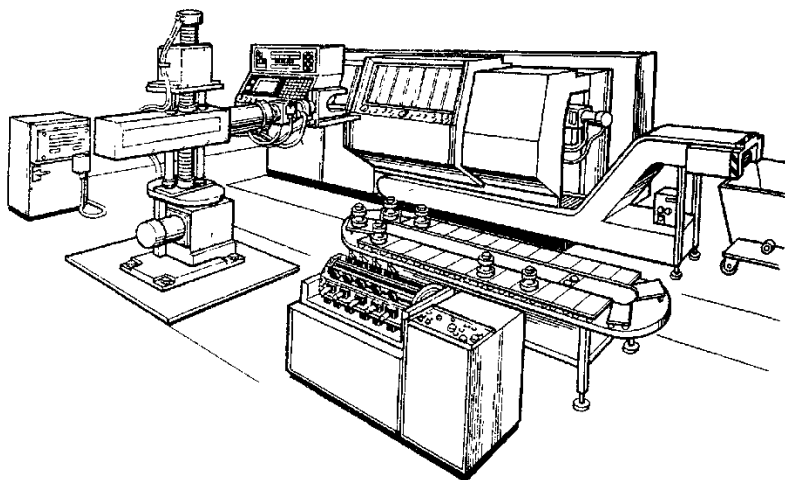


Рисунок 9.12 – Гнучкий виробничий модуль з пристроями для заміни інструментів

Використовувані сучасні пристрої ЧПК на базі мікро ЕОМ мають наявність інтерфейсу для зв'язку з ЕОМ більш високого рангу.

9.2.2 Автоматизовані транспортні, складські та накопичувальні системи

Відомо що для підприємств машинобудування з дрібно- і середньо-серійним типами виробництва (ГАВ, наперед за все, призначені саме для таких типів виробництв) час безпосередньої механічної обробки виробів становить трохи більше 10% від загального часу їх виготовлення. Решта часу посідають переміщення, зберігання виробів та їх складових частин, що знижує ефективність виробництва у цілому. У зв'язку з цим актуальним є завдання підвищення безперервності виробничого процесу. Його не можна вирішити без раціональної організації транспортно-накопичувальних та складських операцій на основі оптимально обраних схем транспортних зв'язків та технічних засобів, а саме автоматизованих транспортно-накопичувальних систем (АТНС), до структури яких входять автоматизовані транспортно-складські системи (АТСС).

Таким чином, мета створення АТНС полягає у забезпеченні ефективної роботи виробництва за рахунок раціональної організації та перетворення матеріальних потоків.

На рис. 9.13 наведена структурна схема АТНС.

Аналізуючи цю схему, можна сказати, що АТНС призначені для виконання наступних завдань:

- своєчасного та в достатніх обсягах забезпечення робочих місць та виробничих підрозділів предметами та засобами праці;
- забезпечення узгодженості, рівномірності та ритмічності виробничих процесів;
- зниження впливу збійних ситуацій та збільшення надійності функціонування виробничої системи;
- забезпечення заданих показників продуктивності та гнучкості виробничої системи.

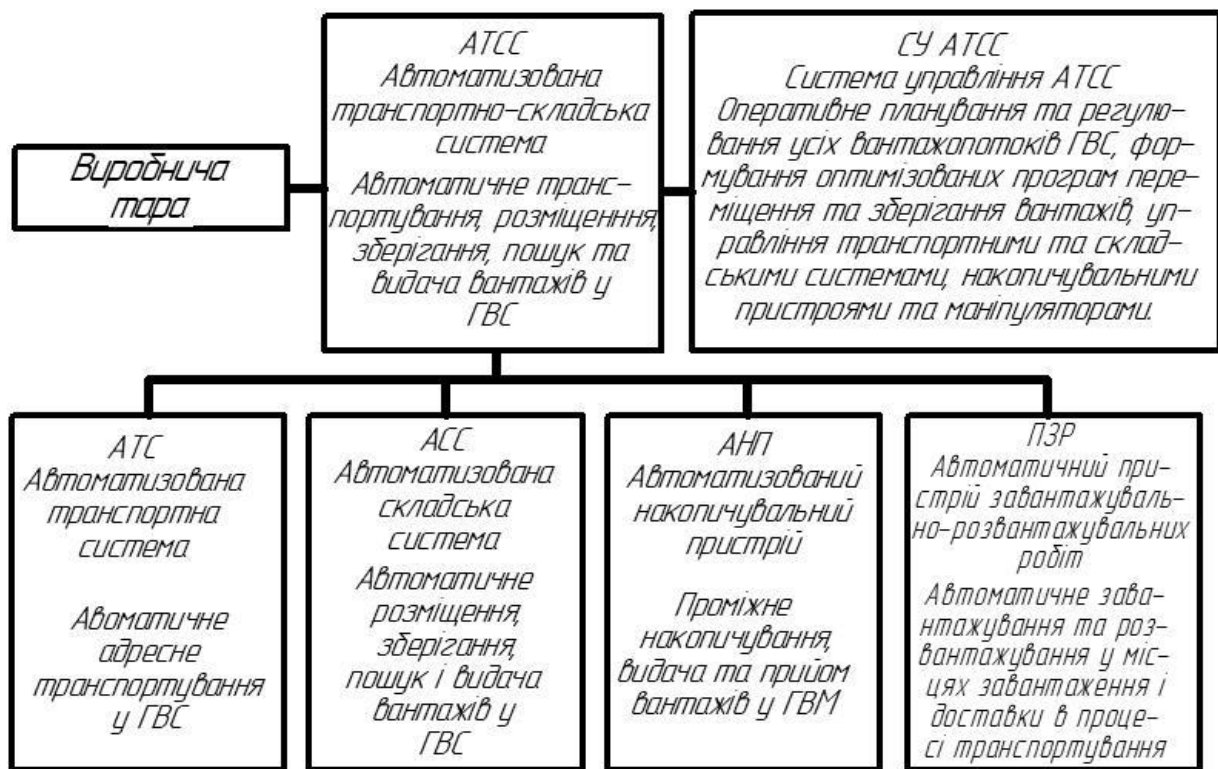


Рисунок 9.13 – Структурна схема АТНС

У залежності від характеру виробництва значимість виконання окремих завдань змінюється: для масового виробництва – це узгодженість і ритмічність; для серійного та дрібносерійного – це гнучкість. АТНС, будучи функціонально самостійною ланкою, також є елементом складної людино-машинної виробничої системи. Виконання перерахованих вище завдань неможливе без взаємодії з іншими елементами цієї системи: технологічного обладнання, АСУ тощо. Тому при створенні виробничої системи необхідно визначати параметри АТНС, виходячи із спільного розгляду функціонування засобів транспортування і накопичення вантажів та основного ТО в єдиному виробничому процесі.

У загальному вигляді в основі автоматизованого виробництва лежить завдання раціонального поєднання у просторі та часі основних та допоміжних процесів виробництва на основі раціональної побудови транспортно-складських систем.

Структура АТНС визначається роллю транспортно-накопичувальних систем при реалізації міжцехового, внутрішньо-цехового, дільничного, між-

операційного та внутрішньо-операційного переміщень предметів праці – заготовок і деталей, а також тарно-штучних вантажів.

На рис. 9.14 представлена структура обладнання АТСС. Її функціональне призначення може визначатися областю використання тих чи інших технічних засобів.

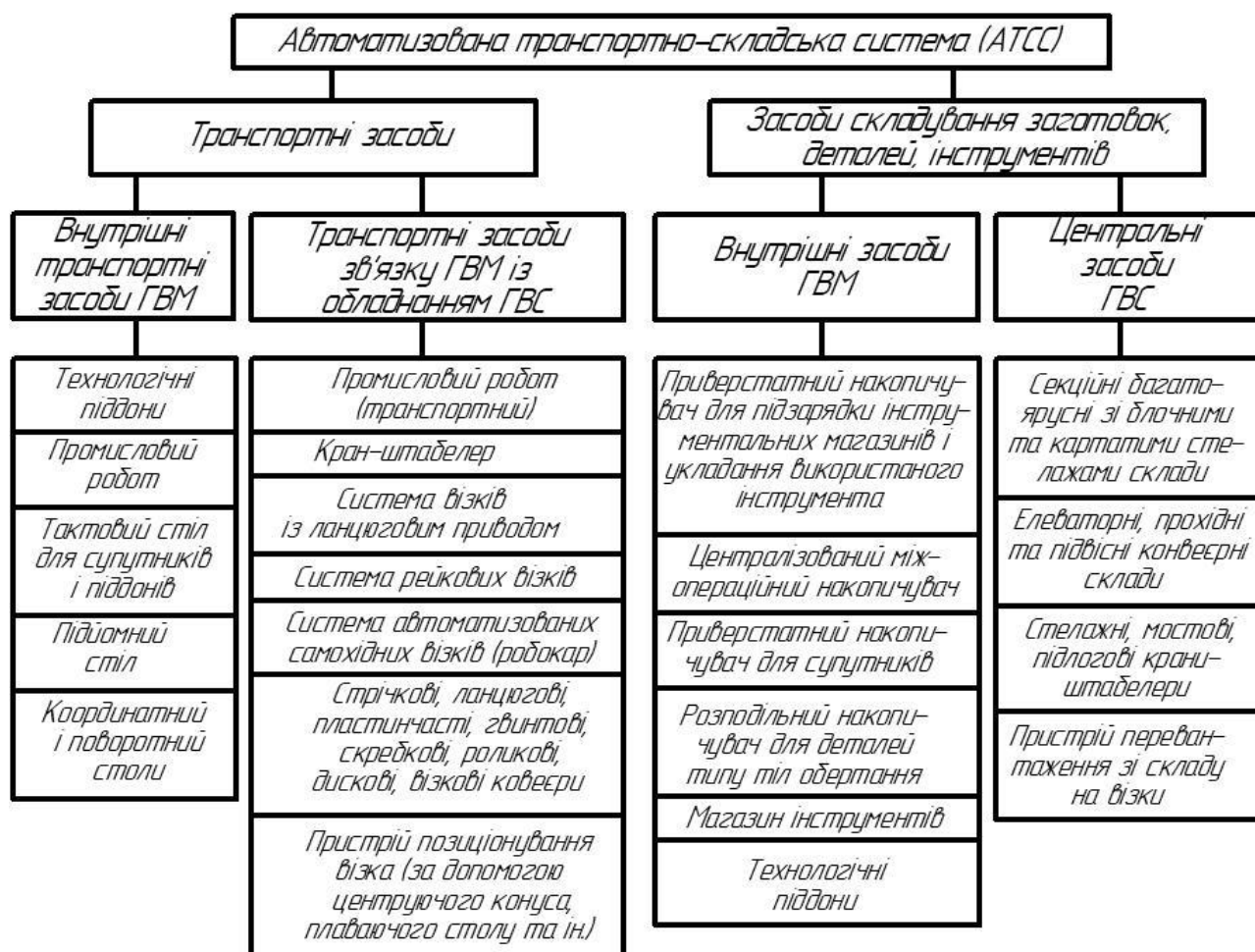


Рисунок 9.14 – Склад технічних засобів АТСС

Наявність автоматизованого виробництва та, відповідно, АТНС на рівні заводу, цеху, ділянки, лінії або модуля (одиниці автоматизованого ТО) визначає й ієрархію структури (рис. 9.15).

Якщо завдання міжцехового і міжділянкового транспорту полягає в переміщенні із однієї точки простору в іншу необхідної кількості вантажів за мінімальний час, то завдання міжопераційного транспорту значно ширші і структурно більш складніші.

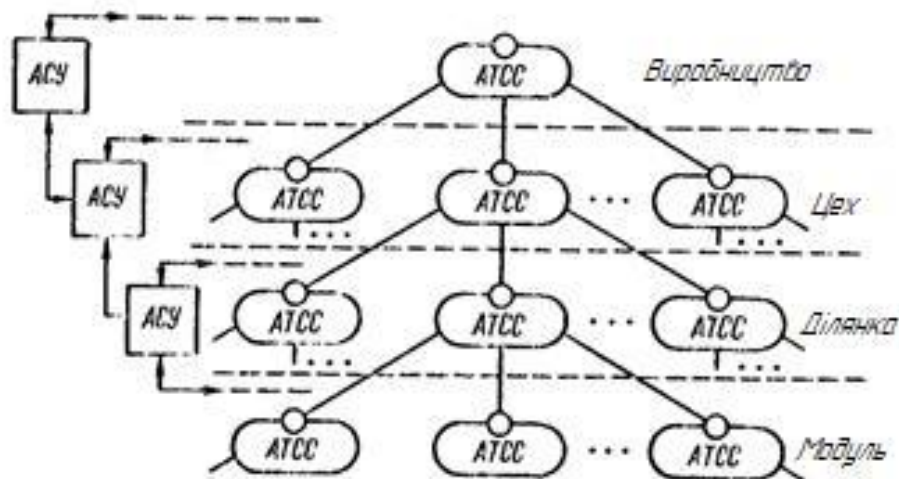


Рисунок 9.15 – Ієрархічна структура АТНС

Найбільш поширені АТНС, що включають центральний склад – накопичувач (зазвичай стелажного типу) і пристрої автоматичного пошуку вантажних одиниць і їх доставки до робочих позицій.

Автоматизовані складські накопичувальні підсистеми являють собою багаторівні одно- або багаторядні стелажні секції, що обслуговуються краном-штабелером, в комірках яких вантажі розміщені в тарі або на піддонах. До вантажних одиниць належать заготовки (деталі), палети, інструменти, інструментальні магазини, змінні багатошпиндельні головки і т. д.

Зображений на рис. 9.16 склад має чотирирівну однорядну стелажну секцію 5. Кран-штабелер 1 може обслуговувати будь-яку комірку складу за вказівками від підсистеми управління щодо номера комірки.

Кран переміщається вздовж стелажів складу, його каретка може піднятися на будь-який ярус, а телескопічна платформа 3 пристрою, що захоплює вантажі, висувається в обидві сторони, обслуговуючи комірки стелажної секції або позиції видачі 8 і завантаження складу 10. Якщо потрібно взяти вантаж з комірки, то телескопічна платформа 3 крана-штабелера виявляється трохи нижче днища тари 2 або піддону. Потім платформа піднімає вантаж, витягає його з комірки, кран-штабелер транспортує вантаж до позиції 8 видачі зі складу. Для здачі

вантажу платформа опускається трохи вниз; тара (або піддон) ніжками спирається на стелажну конструкцію осередку складу чи позиції видачі; платформа вільно виходить з-під днища.

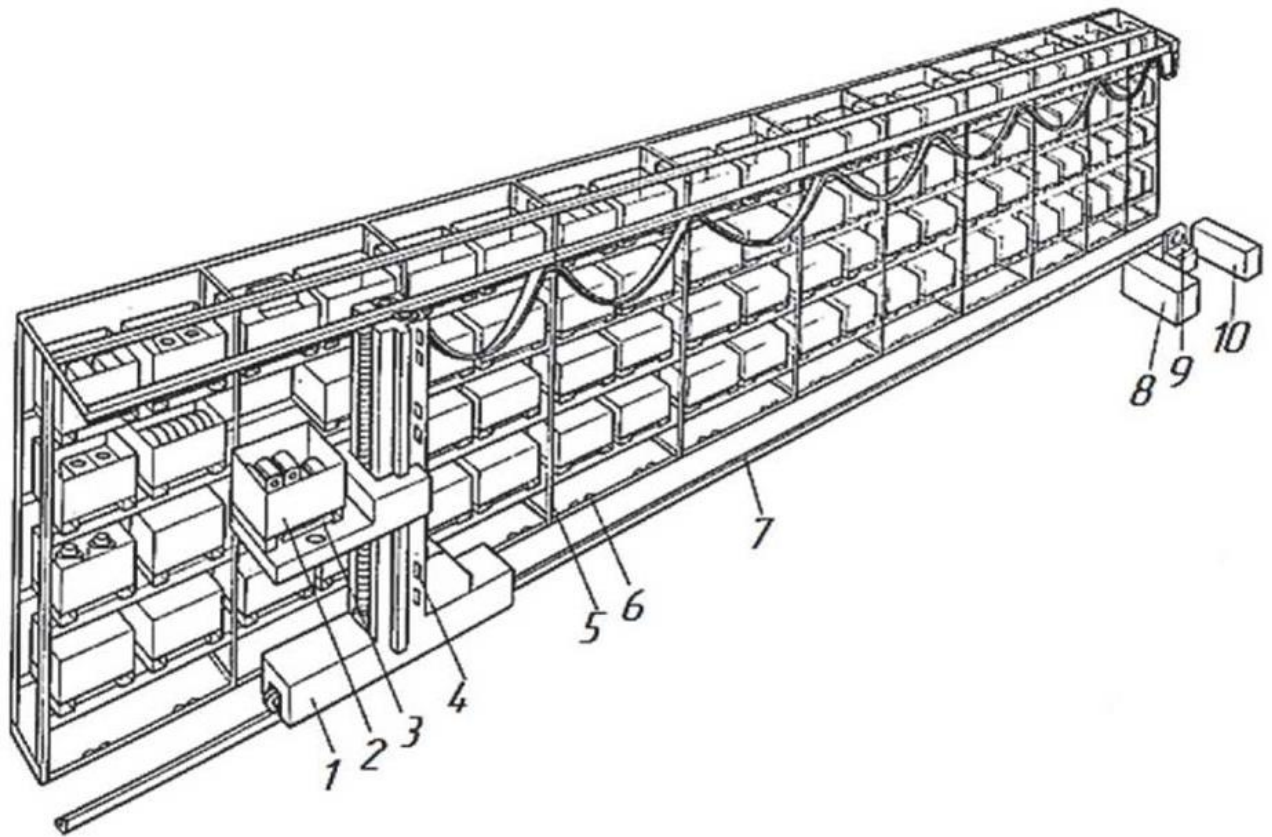


Рисунок 9.16 – Схема автоматизованого складу

Управління складом реалізують за допомогою програмованого контролера або мікро-ЕОМ. На складі (див. рис. 9.16) в районі позицій завантаження-видачі поміщений відеотермінал 9, через який у підсистему управління вводять інформацію про вантажні одиниці, що надійшли для завантаження в склад. При монтажі автоматизованого складу вивіряють прямолінійність траси руху 7 крана-штабелера по рейковому шляху. Стелажні секції повинні бути вивірені у вертикальному та горизонтальному напрямках, яруси стелажної секції повинні бути паралельні трасі руху штабелера.

Кожній комірці стелажної секції належать два прапорці 6, які взаємодіють з кінцевим вимикачем штабелера: один для зупинки при русі вправо, інший для зупинки при русі вліво. Штабелер повинен зупинитися так, щоб платформа його

пристрою для захоплення вантажів виявилася по осі симетрії комірки. Точну зупинку платформи штабелера по висоті складу забезпечують прапорці 4, розміщені на стойці штабелера.

У деяких ГВС склад поєднує у собі функції складської та транспортної підсистем. На рис. 9.17 зображено планування частини ГВС, в якій токарні верстати 3 для багатоцільової обробки розташовані вздовж однорядного багатоярусного складу 5.

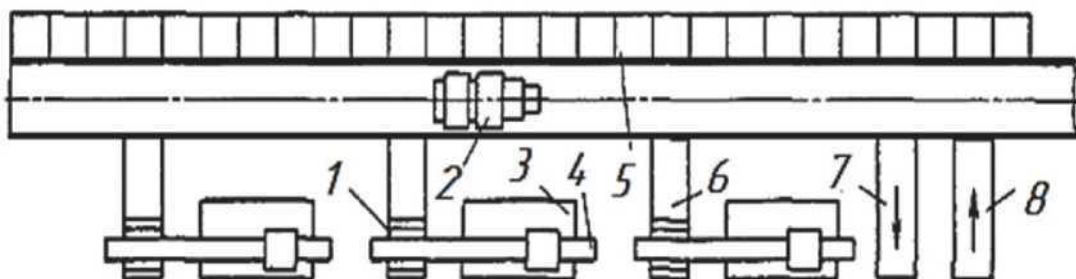


Рисунок 9.17 – Планування автоматизованої транспортно-складської системи у ГВС для токарної обробки

Кран-штабелер 2, зміщуючись по трасі, витягує з відповідних комірок складу 5 і встановлює на робочі позиції 6 касети 1 із заготовками. Касети автоматично зрушуються в зону дії порталного промислового робота 4. Склад забезпечений позиціями завантаження 8 та видачі 7.

Ємність автоматизованих складів, що входять до складу ГВС, як правило, менше, ніж у звичайних складів. Між верстатами і модулями ГВС можуть встановлюватися в деяких випадках буферні склади-накопичувачі.

9.2.3 Транспортні системи. Організація транспортних потоків у ГАВ

Комплексна автоматизація виробництва включає ГАВ з широким застосуванням: а) робототехнічних систем; б) автоматизованих засобів ведення та контролю ТП; в) комплексом машин та обладнання для складування та

транспортування вантажів та виробів між окремими технологічними агрегатами всередині цеху та між окремими цехами заводу.

Робота автоматичного транспорту, накопичення вантажів та розподіл їх потоків визначаються якісними характеристиками виробництва, його функціональною спрямованістю, послідовністю, просторовою орієнтацією та ін.

АТНС, що обслуговують ГАВ, можуть бути різного рівня (рис. 9.18).

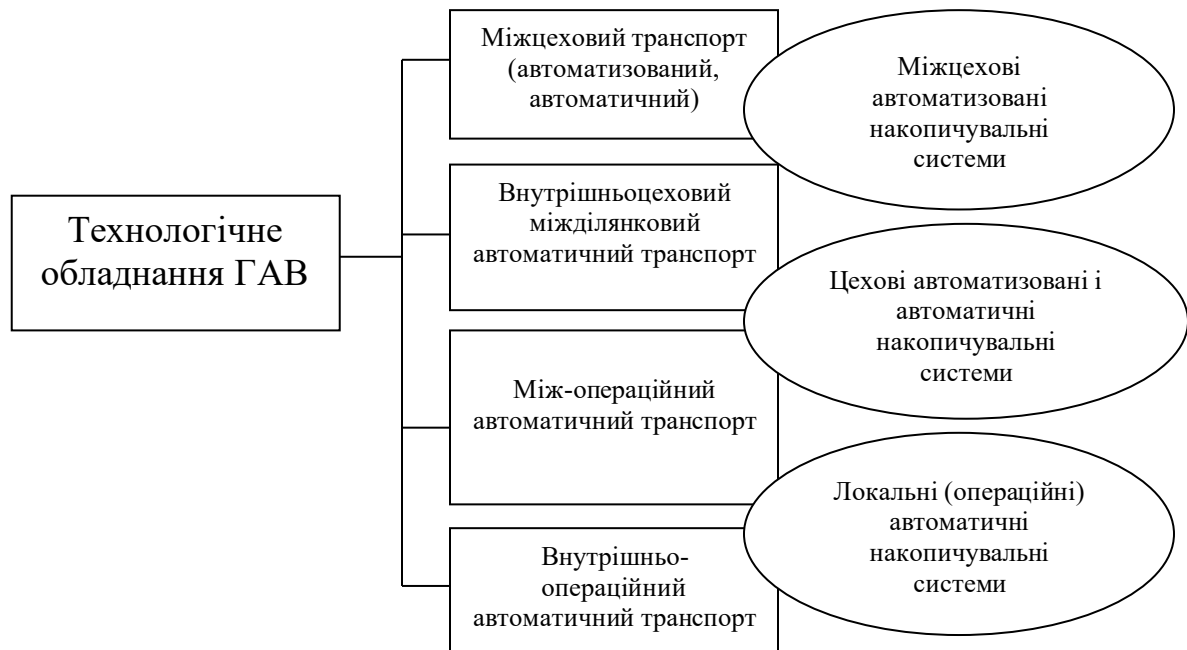


Рисунок 9.18 – Різновиди АТНС за рівнем

Вантажопотоки промислового підприємства можуть включати десятки зв'язків, які розгалужені та взаємно перетинаються. На рис. 9.19 представлені вантажопотоки обробної комірки ГАВ.

Режим роботи визначається багаторівневою системою управління ГАВ. Вантажопотоки, їх зв'язки та потужність визначаються з метою вибору транспортних засобів.

Транспортні системи. У ГВС застосовуються як конвеєрні системи, так і автоматичні автономно керовані візки. При збільшенні серійності виробництва прагнуть використовувати конвеєрні транспортні системи, а з її зменшенням – автономні візки. Візки можуть бути рейковими (для протяжних і прямолінійних потоків), самохідними (для потоків зі складною траєкторією). До складу

транспортних систем входять також тактові столи, робочари (автономні візки, на яких розміщено робот), роботи.

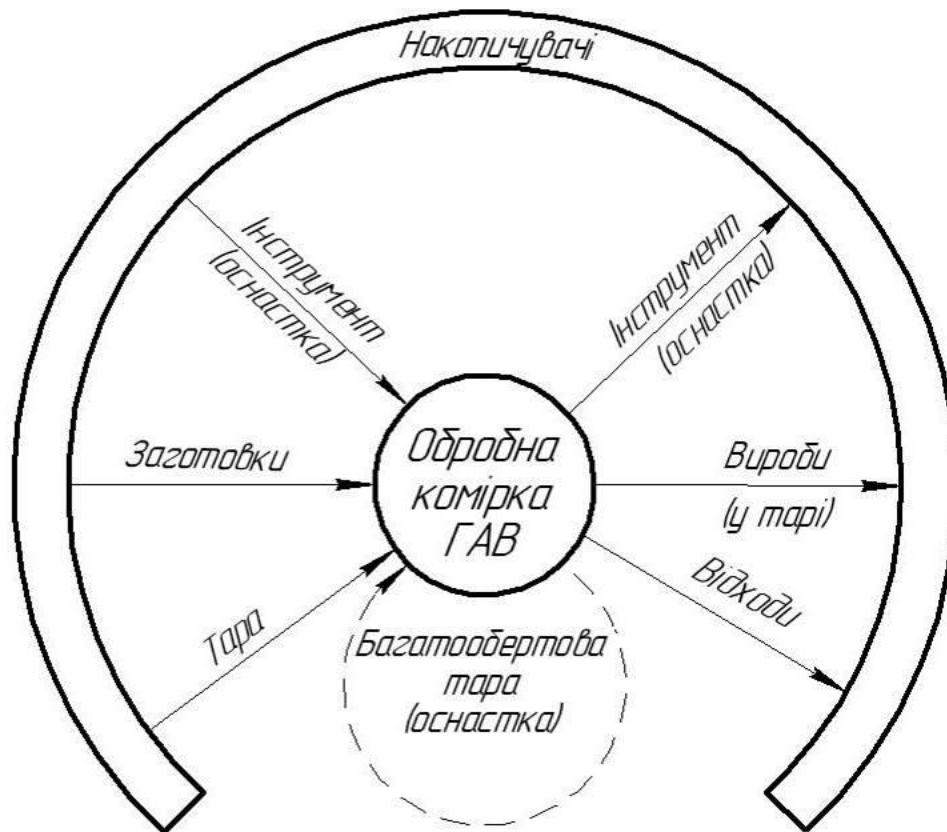


Рисунок 9.19 – Вантажопотоки обробної комірки ГВ

Автономні візки порівняно легко допускають подовження або звуження маршруту транспортування, забезпечуючи тим самим транспортне обслуговування та включення до складу ГВС додаткового обладнання. Принципи дії робочарних систем – індуктивне або оптичне (фотоелектричне) наведення при відпрацюванні маршруту переміщення. Робочара забезпечена бортовою мікро ЕОМ (до неї введені дані – коди точок всіх розгалужень траси та інша інформація про шлях прямування та потрібних діях). Вантажопідйомність робочар – до 16000 Н, швидкість $v=60/30/12$ м/хв.

Конвеєрні системи служать для переміщення заготовок (деталей), різальних інструментів, рідше стружки. З конвеєрних систем (частіше роликового типу) для заготовок (деталей) формують буферні завантажувальні накопичувачі або накопичувачі для робочих позицій.

Велике поширення одержали біляверстатні транспортні системи типу тактового столу, використовувані в якості пристроїв для переміщення палет з заготовками (детальми) або безпосередньо деталей (як правило, це деталі типу тіл обертання). Палетна транспортна система забезпечує виконання наступних функцій:

- завантаження-розвантаження з конвеєра-каруселі;
- входу-виходу в системі «карусельний накопичувач»;
- завантаження-розвантаження в системі ОЦ з ЧПК типу CNC;
- накопичувача;
- автоматичного блокування (розблокування) палет на ОЦ.

До елементів транспортних систем відносяться також поворотні столи, що встановлюються між конвеєрними лініями.

Питома вага автоматичних візків, як транспортних засобів, у сучасних ГВС набагато більша, ніж конвеєрів. Так, у Японії частка ГВС з конвеєрами не перевищує 25%.

Найбільша ефективність транспортного засобу ГВС забезпечується при переміщенні заготовок (деталей) у системі по найкоротшому шляху.

Промислові роботи (ПР). Встановлено, що при великих витратах на виробництво доцільно застосовувати ГВМ з ПР. Вбудовані до структури верстата ПР, в яких використовується той же керуючий комплекс, що і на верстатах, будуть набагато дешевше покупних, але мають найчастіше зайві ступені свободи.

Роботи, які розташовані перед верстатом, ускладнюють його обслуговування. У ГВМ на базі токарних верстатів рекомендується використовувати ПР портального типу з човникової кареткою і вертикальною ковзалкою з двома захоплюючими пристроями.

Роботи повинні легко програмуватися і вбудовуватися в ГВС, виконувати функції завантаження-вивантаження, затиску-розтиску, установки-зняття пристосувань, зміни інструментів і т. п. Вони повинні мати достатню кількість ступенів свободи (до шести), відповідний метод «навчання», високі точність

позиціонування і швидкодію, можливість управління від різних ЕОМ і роботи з різними верстатами, ефективні захвати, високу надійність.

Фрагмент компоновки ГВС із шести верстатів з ЧПК, що обслуговується трьома транспортними роботами з індукційною системою маршрутстеження, показано на рис. 9.20.

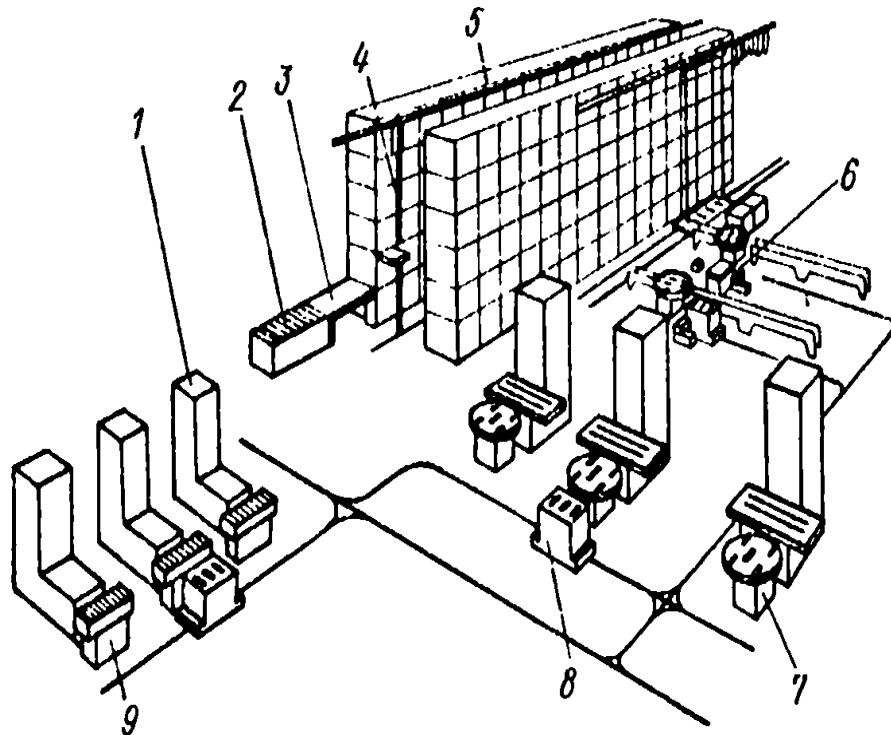


Рисунок 9.20 – Фрагмент компоновки АТСС ГВС з обслуговуванням ТО промисловими роботами

З автоматичного складу 5 робот-штабелер 4 передає заготовки на приймальний стіл 3 де вони кріпляться на уніфікованих палетах. У міру необхідності за допомогою транспортера 2 палети завантажуються на один з трьох автоматичних транспортних підлогових роботів 8, які обслуговують завантажувальні транспортери 9 обробних центрів 1 і завантажувальні поворотні столи 7 інших багатоцільових верстатів з ЧПК. Готові вироби транспортним роботом передаються на ділянку контролю 6 або іншу ділянку обробки.

Види транспортних потоків ГАВ. Транспортні потоки діляться на безперервні і перервні, кожен з яких може бути відгалуженими, прямоточними, поворотними або такими, яким притаманні як ті, так й інші ознаки.

Нижче наведені деякі приклади організації транспортних потоків.

Структура АТНС із прямою трасою обслуговування наведена на рис. 9.21.

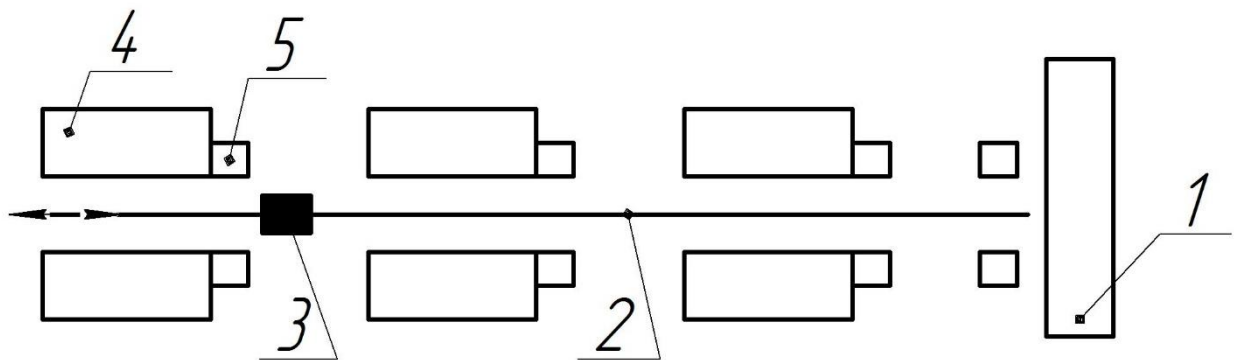


Рисунок 9.21 – АТНС з прямою трасою обслуговування

До структури цієї АТНС входять: 1 – накопичувач; 2 – траса; 3 – автоматичний візок; 4 – кілька одиниць технологічного обладнання; 5 – перевантажувальні пристрої.

Візок обслуговує по трасі кілька одиниць технологічного обладнання. Тут застосований транспортний зв'язок без розгалуження, із зворотним потоком перервного переміщення.

Залежно від регламенту роботи устаткування транспортна система може здійснювати послідовне або вибіркове обслуговування перевантажувальних пристроїв 5.

Розрізняють транспортні зв'язки з послідовною та паралельною багатOVERSTATНІСТЮ. БагатOVERSTATНІСТЬ – це ознака того, що технологічні ділянки ГАВ оснащені конкретною кількістю верстатів, на яких виконуються одна або група операцій.

Заділи можуть накопичуватися як у самому транспортному засобі, так і на локальних (операційних) накопичувачах у вигляді стелажів, спеціальних автоматичних пристосувань, координатних столів, бункерів чи касет.

На рис. 9.22 наведений приклад замкнутої траси транспортної системи, яка обслуговує чотири вантажопотоки: доставляє заготовки, тару для відходів, прибирає готові вироби та відходи.

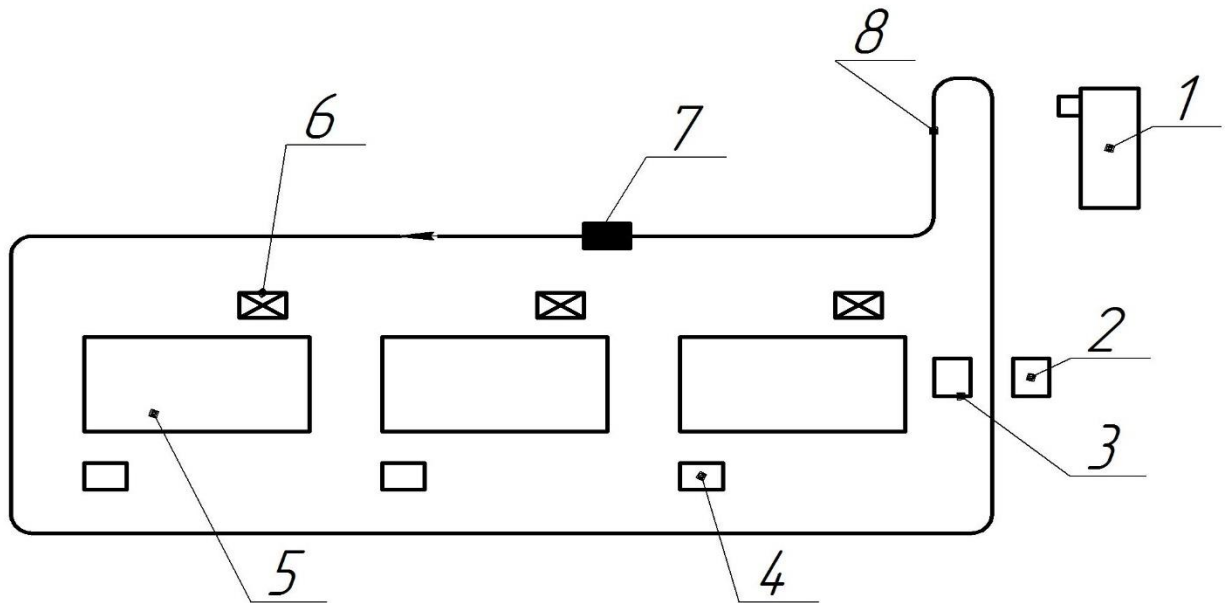


Рисунок 9.22 – АТНС із замкнутою трасою

На схемі представлені: 1 – накопичувальний склад; 2 – перевантажувальний стіл для виробів; 3 – перевантажувальний стіл для відходів; 4 – накопичувач відходів; 5 – технологічне обладнання; 6 – локальний накопичувач заготовок та виробів; 7 – автоматичний візок; 8 – траса транспортної системи.

Принцип роботи. Зі складу 1 заготовки автоматично візком 7 передаються на локальний накопичувач 6 у послідовності, що визначається ТП.

Після обробки на верстатах 5 вироби транспортуються на перевантажувальний стіл 2 для контролю та передачі на інші технологічні операції. Відходи, що збираються в тарі накопичувачів 4, автоматичним візком передаються на перевантажувальний стіл 3, призначений для збору відходів.

АТНС з розгалуженою трасою наведена рис. 9.23.

Структура траси: 1 – накопичувачі заготовок; 2 – пристрій контролю виробів; 3 – перевантажувальний стіл, який служить приймальною станцією транспортного робота; 4 – автоматичний склад; 5 – транспортний робот; 6 –

перевантажувальний стіл; 7 – стіл для збирання піддонів; 8 – столи прийому порожніх піддонів для стружки.

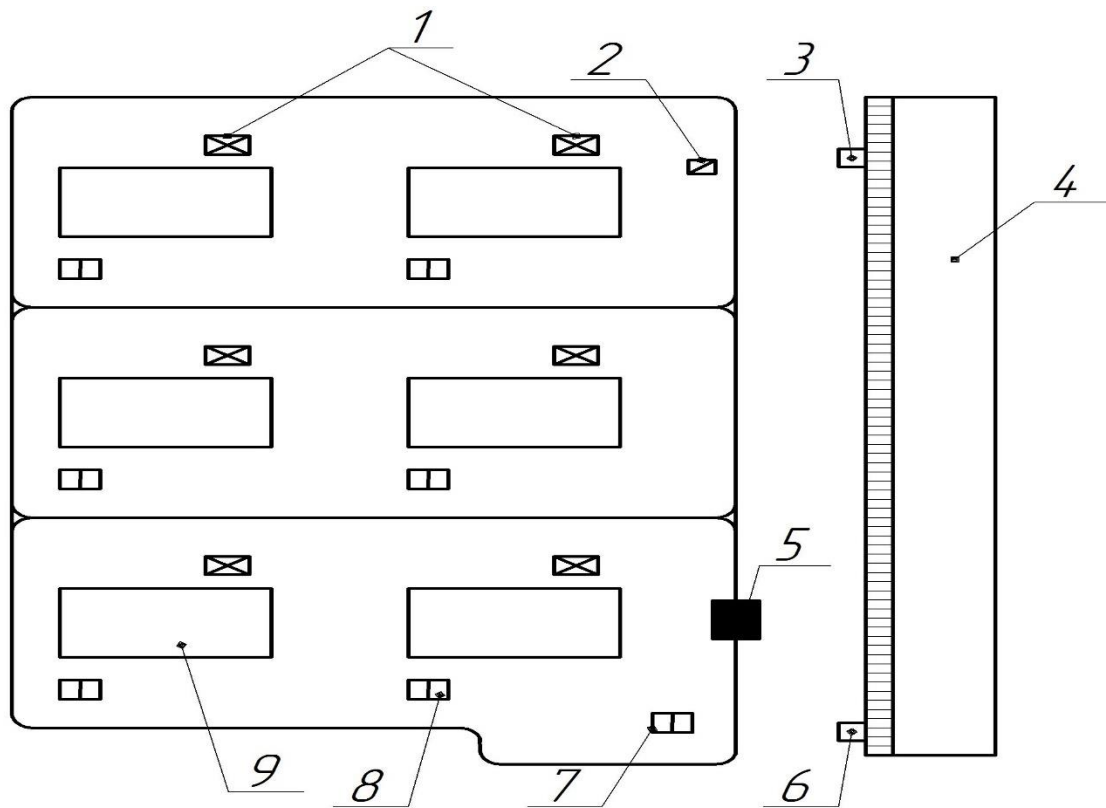


Рисунок 9.23 – АТНС із розгалуженою трасою

Така схема доцільна при багаторядному розташуванні обладнання та виконанні одним транспортним засобом декількох функцій. З автоматичного складу 4 заготовки в маркованій тарі подаються автоматичним штабелером на перевантажувальний стіл 3, який служить приймальною станцією транспортного робота 5, з пристроєм для завантаження і розвантаження. Робот передає заготовки на накопичувачі 1 і забирає готові вироби з них у будь-якій послідовності при необхідності та пріоритету в обслуговуванні.

З обладнання 9 деталі з контролем розмірів виробів пристроєм контролю 2 або без нього в тарі передаються на перевантажувальний стіл 6, звідки автоматичним штабелером завантажуються у вільні комірки складу. Один або два рази за зміну той же робот розвозить порожні піддони для стружки по столах

8 і збирає накопичені піддони на столі 7. Склад та локальні накопичувачі забезпечують оптимальний ритм усієї системи.

9.2.4 Системи інструментального забезпечення в ГАВ

Підвищення рівня автоматизації виробництва висуває нові вимоги до системи інструментального забезпечення основного обладнання. Це пов'язано з тим, що надійність роботи інструментів безпосередньо впливає на сталість роботи технологічного обладнання, а технічний рівень інструментального налагодження впливає на продуктивність і гнучкість системи, якість продукції.

Чим вище гнучкість виробничих систем і рівень їх автоматизації, тим вище вимоги до ефективності їх системи інструментального забезпечення як однієї з важливих допоміжних структур виробничих систем, що повинні забезпечувати їх безперебійну роботу.

Система інструментального забезпечення включає: проектування, виготовлення, випробування, налагодження, ремонт, утилізацію інструмента, його зберігання, доставку на верстат, що забезпечує виготовлення заданого виробу в установленому режимі роботи з отриманням необхідних якісних і кількісних показників.

Мета СІЗ – забезпечення безперебійного живлення робочих місць високоякісним різальним і допоміжним інструментом у потрібній кількості і асортименті при мінімальних витратах на його проектування, придбання (або виготовлення), зберігання, експлуатацію, ремонти, відновлення і утилізацію.

Ефективність організації СІЗ визначається: зниженням часу зміни інструментів на верстатах; зниженням часу і трудомісткості підготовки інструментальних налагоджень; збільшенням сумарної стійкості кожного інструменту; скороченням або повною ліквідацією простоїв верстатів з вини різального інструмента.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання: визначення потреби в інструменті; проектування і виготовлення інструментів; забезпечення безперебійного постачання виробництва інструментами; забезпечення безпечної

та ефективної експлуатації інструментів; інформаційне забезпечення інструментального господарства цеху; управління інструментальним господарством.

Перелік функцій, що покладаються на СІЗ, може бути звуженим або поширеним в залежності від конкретних умов завдань, які вирішуються (рис. 9.24).

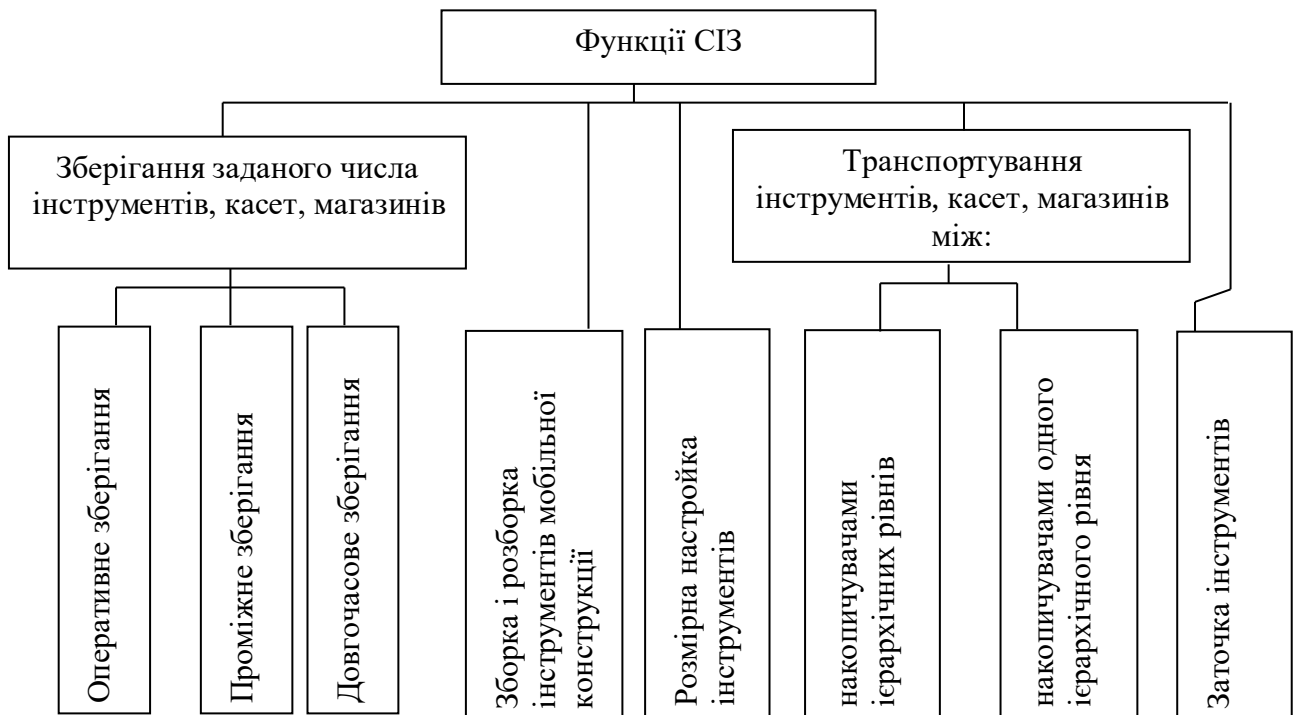


Рисунок 9.24 – Основні функції СІЗ

Залежно від рівня автоматизації виробництва може змінюватися не тільки режим виконання функцій (ручний або автоматичний), але і склад функцій і способи виконання тих з них, які пов'язані з використанням інструмента. Так СІЗ автоматизованих виробництв відрізняється від інструментального господарства неавтоматизованого виробництва наявністю автоматичних засобів управління системою, складування, переміщення інструментів, їх установки на верстати, ремонту та утилізації.

При високому рівні автоматизації частина функцій системи інструментального забезпечення може виконуватися в автоматичному режимі безпосередньо на верстаті.

Стосовно до ГВС домінуюче положення зайняли інструменти з механічним кріпленням непереточуваних різальних пластин з різних інструментальних матеріалів. У переважній більшості випадків інструменти розміщуються в інструментальних блоках, вони підлягають заміні разом з цими блоками або оправками. Можлива зміна інструментальних магазинів разом з усім комплектом інструментів.

Настроювання інструментів у найбільш складних ГВС здійснюється поза верстатом, а на верстаті виконуються остаточне підналагодження і його періодичний контроль. Можливе використання спеціальної транспортної системи для різальних інструментів. В умовах автоматизованого виробництва поширено використання ПР і автооператорів (АО) різних типів.

На рис. 9.25 представлена структурна схема застосування ПР та АО при автоматизації інструментального забезпечення.

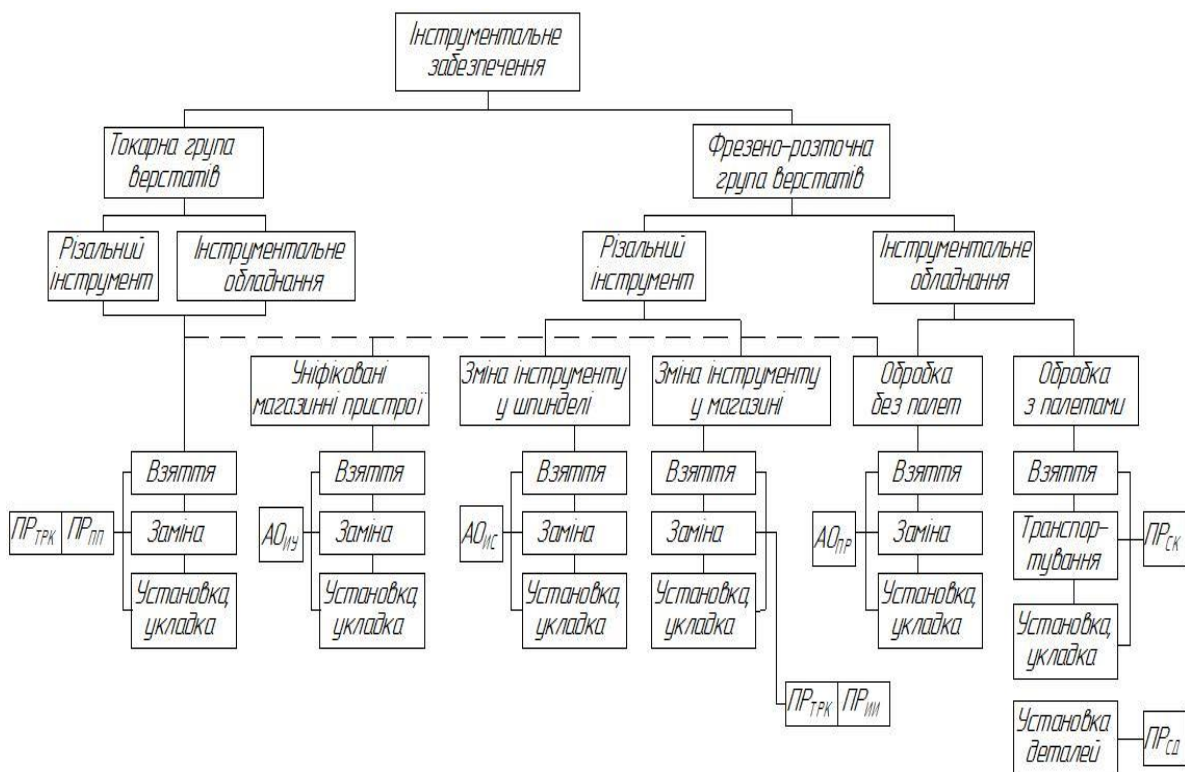


Рисунок 9.25 – Структурна схема операцій, які виконуються ПР в системах інструментального забезпечення

Згідно з функціями, які необхідно виконати (див. рис. 9.25), використовуються наступні варіанти конструкцій елементів транспортної системи інструментального забезпечення:

- промислових роботів: $ПР_{ТРК}$ – транспортні рухомі підлогові (робокари); $ПР_{ПП}$ – рухомі підвісні для обслуговування верстатів; $ПР_{ИИ}$ – для заміни інструментів у магазинах; $ПР_{СК}$ – складські; $ПР_{СД}$ – для установки заготовок на палетах;

- автооператорів: $АО_{ИУ}$ – для обслуговування уніфікованих магазинних пристроїв; $АО_{ИС}$ – для зміни інструмента в ОЦ; $АО_{ПР}$ – для подачі пристроїв.

У токарній групі верстатів інструмент встановлюється у спеціальних револьверних різцетримачах з вертикальною та горизонтальною осями обертання за допомогою спеціальних проміжних оправок. Поштучна зміна інструменту в різцетримачах із застосуванням ПР досить складна, тому в токарній групі верстатів доцільно замінювати не окремі різальні інструменти, а інструментальні блоки в цілому. На позицію прийому інструментальний блок надходить у тарі в строго фіксованому положенні. З тари ПР укладає його на проміжний стіл. Потім знімає з верстата і поміщає в тару інструментальний блок, що підлягає заміні. Після цього бере новий блок із проміжного столу та встановлює його на робоче місце.

Правильність становища закріпленого інструментального блоку контролюється. Вилучений із верстата блок вирушає у тарі на склад. Так само і в аналогічній послідовності відбувається зміна інструментального обладнання для кріплення в процесі обробки. Ці роботи можуть виконувати підвісні ПР та робокар з маніпуляторами.

Є приклади, коли для контролю настройки інструменту в одну з позицій його несучого вузла поміщається вимірювальний перетворювач, який періодично контролює настроювання на розмір. У цілому спостерігається тенденція до збільшення (не дивлячись на проведену уніфікацію) кількості інструментів на верстаті, що входить до ГВС. Уніфікація інструментів дозволяє

підвищити надійність обробки за рахунок застосування інструментів-дублерів, але веде до ускладнення траєкторії руху інструменту в процесі різання.

Повністю автоматизована зміна інструментів досить складна і багатовартісна, для прикладу, вона є лише в одній з 26 японських ГВС, обстежених англійськими фахівцями.

9.2.5 Системи контролю і діагностичні системи

Автоматичний контроль у механічній обробці є економічно ефективним. Ця економічна ефективність пов'язана в першу чергу з своєчасним виключенням бракованих виробів; підвищенням продуктивності обробки за рахунок скорочення холостих ходів; можливістю підтримки оптимальних режимів обробки; підвищенням якості оброблюваних деталей; скороченням тривалості механічної обробки у цілому. Основна задача автоматичного контролю – усунення впливу на оброблюваний розмір систематичних та імовірних факторів (похибок механічної обробки): зносу різального інструмента; температурних і пружних деформацій системи; вібрацій тощо.

Пристрій автоматичного контролю – це технічний засіб, за допомогою якого в результаті порівняння дійсного розміру із заданим виробляється сигнал у формі, необхідній для керування технологічним обладнанням. Для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручної для передачі, подальшого перетворення, обробки і збереження застосовуються різноманітні перетворювачі. Їх призначення у системі механічної обробки полягає у лінійному вимірі розміру деталі та перетворенні цього розміру у дискретний сигнал електричний, пневматичний або гідравлічний. Типова принципова схема пристрою автоматичного контролю представлена на рис. 9.26.

У функції контролю при механічній обробці входять вимірювання (точний контроль) і суб'єктивний контроль (наприклад, при прийманні). Вимірювання можуть виконуватися безпосередньо на верстаті, що дуже складно, але важливо з точки зору включення процесу вимірювань в автоматизоване виробництво, і поза його – за допомогою вимірювальних машин. В модулях, що входять до

структури ГВС, можливе застосування вимірювальних машин, рівень яких в останні роки істотно зріс і відповідає рівню верстатів з ЧПК типу CNC.

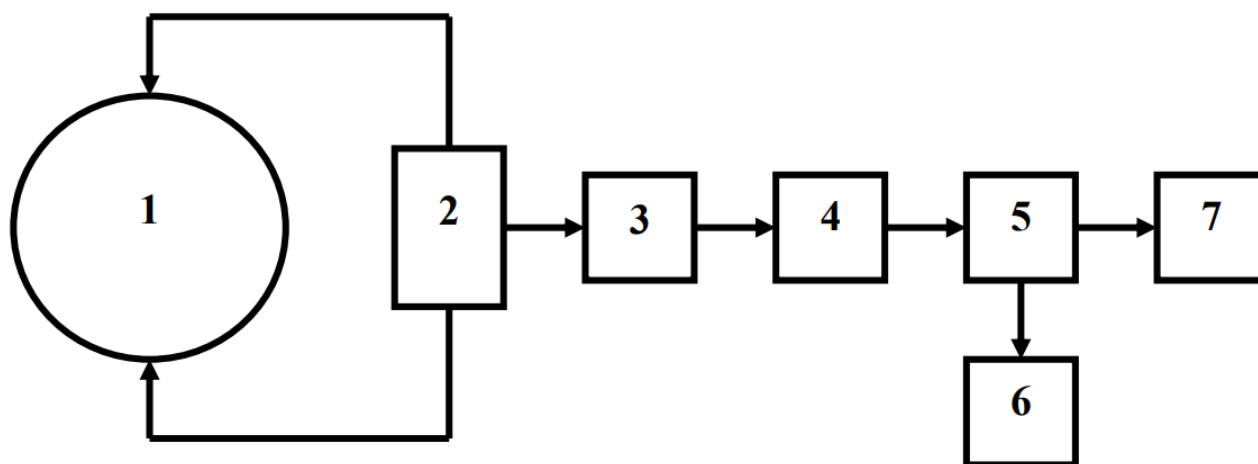


Рисунок 9.26 – Принципова схема пристрою автоматичного контролю: 1 – деталь; 2 – вимірювальний пристрій (скоби, призми, важелі); 3 – прилад індикації; 4 – перетворювач; 5 – підсилювач; 6 – блок індикації; 7 – блок комутації

Застосування відповідного апаратного та програмного забезпечення для вимірювань і введення корекцій дозволяє скоротити допоміжний час та підвищити точність деталей. Так використання змінних вимірювальних головок дозволяє здійснювати прямий контроль деталі безпосередньо на верстаті.

Головки можуть бути встановлені в інструментальному магазині і подаватися до шпинделя, як і інструмент. Головки забезпечують не тільки вимірювання розмірів отворів і контроль їх стану, але і контроль установки деталей, а також дають команду на введення корекції і здійснення діалогу з системою ЧПК.

Точність вимірювання залежить, головним чином, від точності кінематичного ланцюга верстатів. Для коригування систематичної помилки позиціонування під час вимірювального циклу необхідно визначити компоненти загальної помилки верстата. З цією метою може бути використаний лазерний інтерферометр.

Окремі сучасні ГВС мають позиції контролю отриманих розмірів. У деяких ГВС на верстатах для обробки деталей типу тіл обертання є елементи активного контролю в процесі обробки (це можуть бути автоматична корекція інструменту і системи адаптивного керування).

До ГВС повинна бути включена система автоматичного спостереження за роботою її елементів та сигналізації (моніторинг). Наприклад, у разі виходу одержуваних розмірів деталей з поля допуску, поломки інструменту повинна бути автоматично дана команда на зупинку верстата.

Нормальна робота верстата визначається, головним чином, за величиною струму електродвигуна шпинделя. ЕОМ порівнює величину сили струму, заміряної при роботі верстата в ручному режимі, з силою струму, заміряної при автоматичній роботі. При досягненні відповідної межової різниці струмів верстат зупиняється і «чекає» втручання оператора. Знос інструменту визначається за величиною стійкості шляхом порівняння часу його експлуатації з рівнем нормативної стійкості, попередньо оціненої експериментально.

З метою забезпечення нормальної роботи верстатів у ГВС повинні бути реалізовані наступні функції:

- адаптивний контроль для моніторингу запрограмованої величини режимних параметрів роботи верстата (наприклад, величини крутного моменту, сили різання, подачі) для різних інструментів (опосередковано – за даними сили струму);

- автоматичне вимірювання довжини або діаметра інструмента з метою визначення його зносу і можливої поломки;

- облік стійкості інструментів та введення в роботу інструментів-дублерів після вичерпання періоду номінальної стійкості (час роботи кожного інструмента повинний зберігатися в пам'яті ЕОМ, а по досягненні сумарного часу, що дорівнює періоду номінальної стійкості інструменту, повинна подаватися команда на заміну інструменту);

- визначення положення заготовки (деталі) на верстаті та величини необхідної корекції;

- вимірювання отриманих розмірів деталі і оцінка результатів.

Контроль робочого процесу, адаптивне керування процесом різання.

Оскільки основна ефективність застосування ГВС так чи інакше пов'язана з наближенням до концепції «безлюдної» технології (хоча б в одну зміну), завдання заміщення функцій оператора (в основному, втручатися в процес обробки через нестабільність робочого процесу або відмов інструменту) за рахунок автоматизації контролю робочого процесу є однією з найактуальніших завдань при реалізації ГВС. Це завдання стає тим актуальнішим, чим більше передбачуваний відносний період автономної від оператора роботи ГВС і чим менше серійність виробництва.

Для підтримання та контролю робочого процесу служать розроблювані системи і первинні перетворювачі адаптивного управління. Труднощі при цьому пов'язані з низькою інформативністю процесу різання. Відомо, що існуючі системи придатні здебільшого для виявлення порівняно грубих відмов інструменту, головним чином, в умовах чорнової обробки.

9.2.6 Програмне забезпечення та системи керування ГВС

Важливою проблемою для успішного використання ГВС для механічної обробки є розробка адаптивного програмного забезпечення (ПЗ) для децентралізованого виробничого керування і гнучкого потоку заготовок (деталей) і пристосувань для їх переміщення і закріплення.

Про важливість наявності ефективних ПЗ при експлуатації ГВС свідчить той факт, що для кожного із заводів-фірм Японії, на яких є ГВС, програмне забезпечення було спеціально створено самими фірмами або їх філіями. Вартість ПЗ і всього комплексу АСК становить 12-20% вартості всієї ГВС.

ПЗ загального призначення описує роботу ГВС. Воно може модернізуватися в залежності від виробничого процесу і відповідних банків даних підприємства. У цьому випадку отримуються наступні переваги:

- можливість зменшення витрат на створення нових ГВС;
- можливість використання при переході до нових виробничих завдань;

- функціональна надійність.

Розвиток ГВС залежить від вдалого створення узагальнених моделей, які можуть допомогти прийняттю конструктивних рішень на стадії розробки, а також при перевірці алгоритмів, використовуваних для управління ними. Пропонуються методики оцінки стратегій завантаження виробництва і управління ним, які можуть бути застосовані до будь якої ГВС. На основі аналізу спектра реальних деталей формуються так звані гіпотетичні системи, призначені для вивчення залежності характеристик системи від стратегії завантаження і керування.

Розвиток програмного забезпечення при проектуванні та експлуатації ГВС неможливий без удосконалення математичного забезпечення (МЗ), яке отримало найбільший розвиток при вирішенні тактичних завдань, пов'язаних з оцінкою ефективності ГВС, вибору обладнання, макетування, моделювання роботи для прийняття замовником рішення про можливість впровадження ГВС і т. д.

Паралельно розвивається МЗ, що забезпечує розширення кола вирішуваних завдань, досягнення універсальності. МЗ стандартизується і уніфікується за функціями і програмами. Розвиток МЗ забезпечує:

- оптимізацію ієрархії управління;
- підвищення надійності всієї системи;
- розвиток додаткових функцій (наприклад, діагностики, локалізації відмов в системі, поточного контролю інструменту тощо);
- спрощення обслуговування апаратної частини і підвищення рівня захищеності систем керування від поміх;
- зниження вартості електронних компонентів керування.

Вдосконалення МЗ стосовно поточного контролю розвиненою ГВС передбачає умови раціонального використання такої ГВС, до якої входять:

- компоновки досконалих і технічно складних металорізальних верстатів, завантажувального і транспортного устаткування;
- відсутність або мала чисельність операторів, пов'язаних безпосередньо з обладнанням;

- висока продуктивність і/або значний період безперервної роботи виробництва.

У таких випадках інформаційно-керуюча система здійснює функції:

- збору (від відповідного джерела) та передачі необхідних даних, фільтрації даних, що не стосуються справи або перешкод;
- інтерпретації або аналізу істотних даних;
- подання проаналізованої інформації на заздалегідь оціненому рівні узагальнення або деталізації;
- передачі оціночних повідомлень про стан системи персоналу;
- зберігання важливих даних для подальшого використання.

Керування ГВС повинно бути розділене на три рівня: керування плануванням, випуском і операційним контролем.

У СК необхідно передбачити «стратегічне планування» та кошти (у тому числі на електронні пристрої обробки інформації) для вибору складових (верстатів тощо) та розробки структури всієї системи. Застосування ЕОМ дозволяє здійснити з меншим ризиком технічне планування капіталовкладень на впровадження ГВС, а також моделювання робочих циклів для ГВМ.

На стадії проектування ГВС необхідний аналіз всієї системи. Це можливо завдяки застосуванню системи автоматичного проектування типу CAD (САПР), для чого розроблено моделі, що дозволяють передбачити потік деталей, і моделі для аналізу системи інструментального забезпечення. Використання ефективного пакету програм дає можливість оцінити значення найважливіших параметрів – машинного часу, машинного пріоритету, що дозволяють моделювати на дисплеях поопераційну динаміку ГВМ. Розробляються пакети програм, призначених для моделювання конфліктних ситуацій.

У систему керування з ієрархічною структурою зазвичай включена мікро ЕОМ двох рівнів. МЗ побудовано за модульним принципом, що дозволяє вибирати необхідні функції. З метою пристосування до зміни календарного плану виробництва і підвищення коефіцієнта використання верстатів система

здатна здійснювати введення інструкцій у процесі роботи, контроль якості та діагностики неполадок.

Можливі два варіанти структури гнучкого керування ГВС:

- структура з керуванням на одному рівні і об'єднанням різного керуючого обладнання (систем ЧПК типу CNC та ін.) з однією або кількома центральними ЕОМ;
- структура з керуванням на багатьох рівнях і використанням мікро-і міні-ЕОМ і зв'язків між ЕОМ і обладнанням.

Використання модульного принципу побудови ієрархічної структури СК дозволяє модернізувати ГВС без істотної зміни МЗ центральної ЕОМ і інтерфейсів.

9.3 Питання для самоконтролю за дев'ятою темою

1. Наведіть характеристики сучасного виробництва.
2. В чому основа концепції гнучкого виробництва?
3. Поняття гнучкості виробництва. Окреслите доцільність та сфери застосування ГВС.
4. Опишіть особливості конструкції верстатного обладнання як елемента структури ГВС.
5. Автоматизовані транспортні, складські та накопичувальні системи в структурі ГВС. В чому їхні особливості?
6. Система інструментального забезпечення як елемент структури ГВС.
7. Діагностичні системи і системи контролю в структурі ГВС, яким чином вони реалізуються?
8. Програмне забезпечення та системи керування ГВС, їх особливості.
9. Назвіть особливості перерахованих елементів структури ГВС.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Сучасний етап науково-технічної революції у машинобудуванні характеризується корінним переглядом традиційних форм виробничої діяльності, створенням більш гнучких технологій та всілякою інтенсифікацією промислового виробництва. При чому проблеми, що виникають, здебільшого вирішуються за новим принципом, який полягає в заміні людини з властивими їй психофізіологічними обмеженнями роботами та системами штучного інтелекту. Це дозволяє у багато разів підвищити продуктивність праці та якість продукції.

Стратегічна лінія подальшого розвитку комплексної автоматизації промисловості, в тому числі ГАВ, зводиться до об'єднання окремих автоматизованих систем – систем автоматизованого проектування, автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва, безпосередньо системи автоматизованого виробництва і автоматизованої системи управління підприємством – в єдину комплексну систему проектування та виробництва, яка є основою сучасних ГАВ. Кожна із перерахованих вище систем є людино-машинною, в якій найбільш трудомісткі функції реалізуються ЕОМ, які входять до складу систем, а творчі функції покладені на конструкторів, технологів та організаторів виробництва, працюючих на автоматизованих робочих місцях.

Створення сучасних ГАВ і ГВС, як елементів ГАВ, базується на таких основних положеннях:

- переозброєння виробництва та перегляд існуючих технологій;
- створення нових технологій на основі останніх наукових досягнень та вимог виробництва;
- комплексна автоматизація;
- економічна ефективність та стійкість до морального старіння обладнання і науково-технічних рішень;
- перегляд організаційно-економічних принципів при мінімальних циклах створення нових виробів і витратах на технологічне переоснащення виробництва;

– високий рівень надійності систем та їх гнучкість, під якою розуміється здатність системи перебудовуватися на випуск нової продукції в межах загальних конструктивно-технологічних властивостей та продовжувати випуск продукції при виході з ладу окремих елементів системи;

– можливість взаємодії з автоматизованими системами управління та технологічною підготовкою виробництва.

У майбутньому автоматизовані верстатні комплекси продовжуватимуть відігравати ключову роль у промисловості, оскільки вони сприяють підвищенню ефективності, якості та конкурентоспроможності виробництва.

Наведемо декілька з тенденцій розвитку АВК, які можна очікувати.

1. Інтеграція АВК з хмарними технологіями, що дозволить моніторити та керувати виробничими процесами віддалено, а також збирати та аналізувати великі обсяги даних для оптимізації роботи комплексів.

2. Розвиток робототехніки. Роботи будуть відігравати все більш активну роль у структурі автоматизованих верстатних комплексів, виконуючи складні операції у взаємодії з операторами та іншими роботами, а також адаптуючись до умов виробництва, що змінюються.

3. Збільшення гнучкості. Майбутні автоматизовані системи проектуватимуться з урахуванням більшої гнучкості, дозволяючи швидко переключатися на рішення багатопланових завдань під час випуску різних типів продукції.

4. Штучний інтелект відіграватиме важливу роль в автоматизації, дозволяючи системам аналізувати дані, приймати рішення, оптимізувати процеси і навіть навчатися і опановувати новими знаннями. Застосування штучного інтелекту при проектуванні та використанні АВК підвищить рівень автономності систем та сприятиме їх адаптації до різноманітних умов.

5. Впровадження машинного навчання та нейронних мереж. Ці технології дозволять системам навчатись на основі досвіду та, за рахунок цього, самостійно покращувати виробничі процеси.

6. Методи і технології розширеної реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) можуть бути використані для навчання операторів, візуалізації процесів та симуляції операцій на верстатах.

7. Розвиток безпілотних та автономних систем дозволить верстатним комплексам працювати більш самостійно та адаптуватися до змін у реальному часі завдяки оснащенню їх різноманітними сенсорами, що дозволять їм сприймати довкілля, уникати перешкод та взаємодіяти з іншими об'єктами.

8. АВК як автономні системи володітимуть здатністю самонавчання та адаптації до нових завдань та ситуацій, що дозволить їм ефективно виконувати різноманітні операції.

9. Роботи: автономні роботи будуть використовуватися для виконання небезпечних, трудомістких чи далеких завдань, звільняючи людей від монотонної та ризикованої роботи.

10. Мережева взаємодія: АВК як автономні системи будуть здатні взаємодіяти між собою, координуючи свої дії для виконання складних завдань та оптимізації виробничих процесів.

У майбутньому АВК, побудовані за принципами автономних систем, відіграватимуть все більш важливу роль у підвищенні продуктивності, оптимізації ресурсів та зниженні ризиків у промисловості. Однак слід пам'ятати, що успішне впровадження цих технологій потребує комплексного підходу, адаптації до специфіки виробництва та безперервного навчання персоналу: інженерів, техніків, робітників та керівного складу підприємств. Потрібні абсолютно нові категорії працівників з новим технічним мисленням як у цехах, так і в конструкторських та технологічних підрозділах. Для цього випускники технічних закладів повинні бути знайомі з принципами побудови ГАВ і мати необхідні знання в галузі технології, процесів механічної обробки матеріалів, обчислювальної техніки та робототехніки з точки зору їх можливостей і використання на виробництві.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація виробничих процесів : навч. посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Я. І. Проць, В. Б. Савків, О. К. Шкодзінський, О. Л. Ляшук. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 344 с.
2. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. – К. : Вид. Ліра-К, 2017. – 378 с.
3. Бочков В. М. Обладнання автоматизованого виробництва : навч. посібник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін. – Львів : Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. – 380 с.
4. Волчков Л. И. Автоматизация производственных процессов : учебное пособие / Л. И. Волчков. – М. : Машиностроение, 2007. – 380 с.
5. Гавриш А. П. Роботизированные механообрабатывающие комплексы машиностроительного производства / А. П. Гавриш, Б. М. Воронец. – К. : Техніка, 1984. – 198 с.
6. Дудюк Д. Л. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : навч. посібник / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, М. М. Мисик. – Львів : «Магнолія 2006», 2015. – 278 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних комплексів» для студентів денної і заочної форм навчання освітнього ступеню «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / укладач : Л. П. Калафатова. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2022. – 122 с.
8. Конспект лекцій з дисципліни: «Обладнання автоматизованого виробництва» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування / укладач : В. Ф. Молчанов. – Кам'янське : ДДТУ, 2017. – 63 с.
9. Конспект лекцій з курсу : «Компонування і моделювання верстатних систем» (для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка) / укладач О. В. Мірошніченко. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2019. – 142 с.
10. Конспект лекцій з курсу: «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні» (для студентів спеціальності «Технологія машинобудування») [Електронний ресурс] / укладачі : В. Т. Саункін, С. Л. Міранцов, В. І. Тулупов. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – 100 с. – Режим доступу : http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/tiup/metod/nm2020/%D0%90%D0%92%D0%9F_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf. – Назва з екрана.

11. Костюк В. И. Промышленные роботы / В. И. Костюк, А. П. Гавриш, П. С. Ямпольский. – К. : Вища школа, 1985. – 360 с.
12. Костюк Е. Г. Характеристика роботизированных технологических комплексов / Е. Г. Костюк. – Харьков : ХНУР, 2010. – 39 с.
13. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПК та верстатні комплекси : навчальний посібник / Ю. М. Кузнецов. – К. : ТОВ «Замок»; Тернопіль, 2001. – Т. 1 – 198 с.
14. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПК та верстатні комплекси : навчальний посібник / Ю. М. Кузнецов. – К. : ТОВ «Замок»; Тернопіль, 2001. – Т. 2 – 298 с.
15. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних комплексів» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, денної та заочної форм навчання / укладач : Л. П. Калафатова. – Покровськ : ДВНЗ ДонНТУ, 2017. – 42 с.
16. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних комплексів» для студентів денної і заочної форм навчання освітнього ступеню «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / укладач : Л. П. Калафатова. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2019. – 72 с.
17. Модульное оборудование для ГПС механообработки : справочник / Р. С. Сафраган, Г. А. Кривов, В. Н. Татаренко и др. ; под ред. Р. С. Сафрагана. – К. : Техника, 1989. – 175 с.
18. Панин О. М. Моделирование гибких производственных систем. / О. М. Панин, С. Л. Ямпольский, Л. В. Песков. – К. : Техніка, 1991. – 180 с.
19. Пелевін Л. Є. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні : підручник / Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко. – К. : ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2016. – 258 с.
20. Петраков Ю. В. Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки : навч. посібник для студентів / Ю. В. Петраков, П. П. Мельничук. – Житомир : ЖДТУ, 2001. – 194 с.
21. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв [та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.
22. Проць Я. І. Автоматизація неперервних технологічних процесів : навч. посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Я. І. Проць, О. А. Данилюк, Т. Б. Лобур. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2008. – 239 с.
23. Пуховский Е. С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства : учебное пособие для

машиностроительных. специальностей вузов / Е. С. Пуховский. – К. : Вища школа, 1989. – 238 с.

24. Пуховский Е. С. Технология гибкого автоматизированного производства / Е. С. Пуховский, Н. Н. Мясников. – К. : Техніка, 1989. – 207 с.

25. Спыну Г. А. Промышленные роботы, конструирование и применение / Г. А. Спыну. – К. : Вища школа, 1991. – 331 с.

26. Схиртладзе А. Г. Металлорежущие станки с программным управлением и подготовка программ / А. Г. Схиртладзе, В. И. Соколов, В. А. Фадеев. – Харьков : Высшая школа, 1992. – 234 с.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Навчальний посібник з дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих комплексів» для студентів денної і заочної форм навчання освітнього ступеню «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Комп'ютерний набір і верстка: Калафатова Л.П., Бабенко М.О.

.

Укладачі: Калафатова Л.П.,
Вірич С.О.,
Бабенко М.О.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2;
44000, м. Луцьк, вул. Софії Ковалевської, 29