

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**А. Я. Карвацький, А. О. Чемерис**

# **ПРОЄКТУВАННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ**

## **Конспект лекцій**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів степеня магістра  
за освітньою програмою «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2024

УДК 621.7(075.8)

К21

Укладачі: *Карвацький Антон Янович*, д-р техн. наук, проф., с.н.с.

*Чемерис Андрій Олегович*, канд. техн. наук, доц.

Рецензент *Коржик М. В.*, к-т техн. наук, доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор

*Сокольський О. Л.*, д-р техн. наук, доц.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 7 від 09.05.2024 р.)  
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету  
(протокол № 4 від 29.04.2024 р.)*

**Карвацький А. Я.**

К21 Проектування поточних ліній. [Електронний ресурс] : конспект лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Інжиніринг паковань та пакувального обладнання» спец. 131 «Прикладна механіка» / А. Я. Карвацький, А. О. Чемерис ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 3-тє вид. переробл. та доп. – Електрон. текст. дані (1 файл: 3,95 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 194 с.

Викладено теоретичні основи проектування поточних ліній (ПЛ). Розглянуто основні етапи проектування різних типів ПЛ. Приділено увагу розрахунку основних показників роботи ПЛ, плануванню обладнання ПЛ, перевагам поточної форми організації виробництва, аналізу продуктивності робочих машин ПЛ, побудові циклових та синхронних діаграм робочих машин, принципам побудови багатопозиційних машин-автоматів і автоматичних ліній, типовим механізмам ПЛ та основам їх розрахунку. Наведено приклади розрахунку основних характеристик роботоздатності машин ПЛ, розробки циклових діаграм автоматів тощо.

Призначений для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», буде також корисним для спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

УДК 621.7(075.8)

Реєстр. № НП 23/24-478. Обсяг 6,3 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056

<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© А. Я. Карвацький, А. О. Чемерис, 2024

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

**ЗМІСТ**

<b>СПИСОК СКОРОЧЕНЬ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1 ПОТОЧНА ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА. ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОЄКТУВАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ</b> .....	10
<b>ТЕМА 1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ. БАЗОВІ ВИЗНАЧЕННЯ</b> .....	10
Лекція 1.1 (1) Основні поняття і терміни. Характеристика поточної форми організації виробництва .....	10
<b>ТЕМА 2 ПРОЄКТУВАННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ (ПЛ) ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ</b> .....	18
Лекція 2.1 (2) Основні етапи проектування. Однопредметна і багатопредметна поточні лінії. Проектування режиму роботи лінії. Коефіцієнт змінності. Змінне завантаження поточної лінії. .	18
<b>ТЕМА 3 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПЕРЕРВНО-ПОТОЧНОЇ ЛІНІЇ</b> .....	24
Лекція 3.1 (3) Порядок розрахунку основних показників роботи перервно-поточної лінії .....	24
<b>ТЕМА 4 ПОБУДОВА РЕГЛАМЕНТУ ПЕРЕРВНОЇ ПОТОЧНОЇ ЛІНІЇ</b> .....	29
Лекція 4.1 (4) Побудова регламенту перервної поточної лінії . . . .	29
<b>ТЕМА 5 ПЛАНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ НА ПОТОЧНІЙ ЛІНІЇ</b> .....	37
Лекція 5.1 (5) Варіанти планування поточних ліній. Типи конвеєрів. Довжина робочої частини конвеєра .....	37
<b>ТЕМА 6 ПЕРЕВАГИ ПОТОЧНОЇ ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА</b> .....	40
Лекція 6.1 (6) Розрахунок економічного ефекту від впровадження ПЛ. Методика розрахунку економічної ефективності проекту на базі чистої приведеної вартості проекту. Чиста приведена вартість проекту .....	40
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ</b> .....	45
<b>ТЕМА 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ МАШИНИ І ПОТОКОВІ ЛІНІЇ</b> .....	45
Лекція 1.1 (7) Технологічний процес (ТП) – основа проектування	

технологічного обладнання. Апаратний та машинний ТП, машинна технологія. Робочі і допоміжні органи машин . . . . .	45
Лекція 1.2 (8) Основні поняття і визначення знарядь виробництва ПЛ. Структура автоматичної робочої машини. Машина, робочий та неробочий ходи. Виробничий, технологічний, робочий, кінематичний, динамічний, енергетичний цикли машин ПЛ. Ступінь автоматизації машини. Напівавтомат, автомат, автоматична лінія . . . . .	49
Лекція 1.3 (9) Структура автоматичної лінії, цеху. Класифікація машин за характером переміщення об'єкта обробки. Загальні етапи процесу проектування машини ПЛ. Спільність машин- автоматів і автоматичних ліній різного технологічного призначення . . . . .	53
<b>ТЕМА 2 ПРОДУКТИВНІСТЬ РОБОЧИХ МАШИН ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ . . . . .</b>	<b>64</b>
Лекція 2.1 (10) Основні положення теорії продуктивності машин і праці. Технологічна і циклова продуктивність. Фактична продуктивність. Коефіцієнт використання машини. Види позациклових втрат. Сумарні позациклові втрати. Власні та організаційно-технічні втрати. Баланс продуктивності машини . .	64
Лекція 2.2 (11) Методика розрахунку і аналізу продуктивності робочих машин в умовах експлуатації. Затрати планового фонду часу машини. Приклади розрахунку основних характеристик роботоздатності машин ПЛ . . . . .	74
<b>ТЕМА 3 ЦИКЛОВІ ТА СИНХРОННІ ДІАГРАМИ РОБОЧИХ МАШИН ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ . . . . .</b>	<b>87</b>
Лекція 3.1 (12) Поняття про циклову діаграму машини. Кругова, прямокутна і лінійна циклограми. Поняття про синхронну діаграму машини. Приклад розробки циклової діаграми машини .	87
<b>ТЕМА 4 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ . .</b>	<b>102</b>
Лекція 4.1 (13) Особливості технологічних процесів автоматизованого виробництва. Принцип диференціації ТП. Принцип концентрації операцій . . . . .	102
Лекція 4.2 (14) Вибір оптимального ступеня диференціації і концентрації ТП. Розрахунок кількості позицій багатопозиційних машин послідовної дії. Приклади автоматів і ліній послідовно- паралельної дії . . . . .	113
Лекція 4.3 (15) Автомати паралельної дії. Автомати і лінії послідовно-паралельної дії. Роторні та конвеєрно-роторні машини. Основні поняття та визначення. Роторний автомат (РА).	

Автоматична роторна лінія (АРЛ) . . . . .	125
Лекція 4.4 (16) Схема типової роторної машини. Технологічний (робочий) ротор. Технологічні ротори для обробки інструментом. Технологічні ротори для апаратної обробки . . . . .	138
Лекція 4.5 (17) Транспортні ротори. Типові схеми роторних та роторно-конвеєрних машин. Приводи роторних машин. Інструментальні блоки. Визначення параметрів роторних та роторно-конвеєрних машин . . . . .	145
<b>ТЕМА 5 ТИПОВІ МЕХАНІЗМИ ПОТОЧНІ ЛІНІЇ І ОСНОВИ ЇХ РОЗРАХУНКУ . . . . .</b>	<b>170</b>
Лекція 5.1 (18) Класифікація, функції та характеристики механізмів. Класифікація кулачкових механізмів. Проектування кінематичної схеми . . . . .	170
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ . . . . .</b>	<b>173</b>
<b>ДОДАТОК А Питання для самоконтролю . . . . .</b>	<b>176</b>
<b>ДОДАТОК Б Приклади застосування FreeCAD для проектування деталей і вузлів ПЛ . . . . .</b>	<b>182</b>

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

$F_d$ –	ефективний фонд часу роботи лінії у плановий період, хв;
$F_{зм}$ –	тривалість зміни з врахуванням регламентованих перерв, хв;
$h$ –	крокова відстань між об'єктами обробки, м;
$k_{зм}$ –	коефіцієнт змінності;
$K_{відх}$ –	норматив відходів на виробничо-технічні потреби, %;
$K_{синх}$ –	ступінь синхронізації поточної лінії;
$K$ –	технологічна продуктивність, од./с;
$l_k$ –	крок конвеєра або відстань між осями суміжних виробів або партій, рівномірно розташованих на конвеєрі, м;
$l_v$ –	відстань між транспортними партіями на конвеєрі, м;
$L_{тех}$ –	величина технологічного переміщення, м;
$L_{пер}$ –	величина транспортного переміщення, м;
$n$ –	число операцій на поточній лінії, шт.;
$n_{тр}$ –	величина транспортної партії, од.;
$N_{лін}$ –	планова річна продуктивність лінії, облікових од.;
$N_{пл}$ –	виробнича програма за той же період, облікових од.;
$N_{тир}$ –	об'єм виробництва в натуральному вимірі по даному заказу, од.вим.;
$p$ –	кількість робочих позицій, шт.;
$q$ –	кількість робочих позицій, шт.;
$Q_{ц}$ –	циклова продуктивність машини, од./с;
$Q_{ф}$ –	фактична продуктивність машини, од./с;
$r$ –	такт лінії;
$R$ –	визначається ритм поточної лінії;
$t_j$ –	планові витрати часу на обробку одного виробу виду $j$ по всім операціям поточної лінії, од. часу;
$t_p$ –	тривалість робочого ходу машини, с;
$t_{пер}$ –	час переміщення транспортера між позиціями, с;
$t_x$ –	тривалість неробочого ходу машини, с;
$T_{во}$ –	час проходження на лінії першої партії виробів по випускній операції, год;
$T_{нал}$ –	термін наладки обладнання поточної лінії, год;
$T$ –	тривалість робочого циклу, с;
$T_k$ –	тривалість кінематичного циклу, с;

$v_k$ –	установлена швидкість руху конвеєра, м/хв.;
$V_{\text{тех}}$ –	швидкість технологічного руху механізму, м/с;
$V_{\text{пер}}$ –	швидкість транспортного руху механізму, м/с;
$w_i$ –	число робочих місць на $i$ -й операції;
$w_{\text{лін}}$ –	число робочих місць на лінії;
$Z_T$ –	технологічний заділ;
$\eta$ –	коефіцієнт продуктивності;
$\eta_b$ –	коефіцієнт використання машини;
$\eta_3$ –	коефіцієнт завантаження машини;
$\eta_{\text{тех}}$ –	коефіцієнт технічного використання машини;
$\sum c_i$ –	втрата одного комплекту інструментів, с.

Основні індекси:

зм –	відноситься до зміни;
ін	відноситься до інструменту;
лін	відноситься до лінії;
н –	відноситься до номінального значення;
об –	відноситься до оборотного заділу;
пер –	відноситься до перерви;
р –	відноситься до ритму до ремонту;
т –	відноситься до технології;
тр –	відноситься до транспорту;
ц –	відноситься до циклу виготовлення.

Основні скорочення:

АПЛ –	автоматичні поточні лінії;
АРКЛ –	автоматична роторно-конвеєрна лінія;
АРЛ –	автоматична роторна лінія;
АТП –	апаратний технологічний процес;
АФРК –	автомат формування ребристих катодів;
ВНР –	внутрішня норма рентабельності;
ВМ –	виконавчий механізм;
ІІ –	індекс прибутковості;
МТП –	машинний технологічний процес;
ПЛ –	поточна лінія;
ППЛ –	проектування поточних ліній;
РА –	роторний автомат;
РО –	робочий орган;
ТМ –	технологічна машина;
ТП –	технологічний процес;
ЧДП –	чистий дисконтний прибуток.

## ВСТУП

Дисципліна «Проектування поточних ліній» є найважливішою ланкою навчального процесу, яка об'єднує в логічно єдину систему CAD-технології, фундаментальні та загально-інженерні дисципліни, носить практичне спрямування при навчанні фахівців, що спеціалізуються в галузі інженерної механіки.

Предметом навчальної дисципліни «Проектування поточних ліній» є методи та засоби проектування поточних ліній з виробництва матеріалів для виготовлення упаковки, фасування готової продукції та її пакування.

Метою навчальної дисципліни є посилення процесу формування комплексу знань у студентів щодо методів та засобів проектування поточних ліній з виробництва матеріалів для виготовлення упаковки, фасування готової продукції та її пакування.

Відповідно до мети підготовка магістрів за даною спеціальністю вимагає посилення формування таких компетентностей:

Інтегральну компетентність:

– Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальні компетентності:

- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК 2);
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК 3);
- Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями (ЗК 6);
- Здатність до абстрактного мислення (ЗК 9).

Фахові компетентності:

- Здатність до освоєння нових видів техніки і технології у галузі пакування та споріднених галузях (ФК 8);
- Здатність здійснювати конструкторську діяльність в сфері пакувального обладнання (ФК 11);

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни «Проектування поточних ліній», студенти після її засвоєння мають продемонструвати такі посилені програмні результати навчання:

- Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань (ПРН 1);

- Знання принципів і методів конструювання основного пакувального і допоміжного обладнання (ПРН 14);
- Знання способів пакування різних видів продукції і обладнання пакування (ПРН 15);
- Знання процесів пакування та загальних принципів проектування ліній пакування (ПРН 16);
- Вміти обирати, визначати процеси і обладнання для пакування продукції у споживчу тару, для групового пакування, скріплення, транспортування, розформування (ПРН 19);
- Вибирати тип та раціональну конструкцію пакувального обладнання та його вузлів на базі аналізу особливостей технологічного процесу пакування та продукту пакування (ПРН 24).

Вивчення дисципліни «Проектування поточних ліній» також дозволить студентам посилити здатність виконувати дослідження поточних ліній та їх вузлів з використанням сучасних САД-САЕ-технологій – систем проектування та числового аналізу, обробляти та аналізувати отримані результати.

# РОЗДІЛ 1 ПОТОЧНА ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА. ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОЄКТУВАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ

## ТЕМА 1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ. БАЗОВІ ВИЗНАЧЕННЯ

**Лекція 1.1 (1) Основні поняття і терміни. Характеристика поточної форми організації виробництва**

*Характеристика поточної форми організації виробництва. Класифікація поточних ліній.*

В умовах постійно змінюючогося нестабільного ринку важливою задачею є підвищення гнучкості (багатофункціональності) автоматизованого виробництва. Для того щоб максимально задовольнити вимоги, нестатки і запити споживачів, швидше і з мінімальними витратами необхідно освоювати випуск нової продукції. Методи підвищення гнучкості автоматизованих виробничих систем такі:

- використання автоматизованих систем технічної підготовки виробництва;
- застосування автоматичних поточних ліній, які швидко переналагоджуються;
- застосування універсальних промислових маніпуляторів з програмним управлінням;
- стандартизація застосовуваного інструменту і знарядь технологічного оснащення;
- застосування в автоматичних лініях обладнання, яке автоматично переналагоджується (на базі мікропроцесорної техніки);
- застосування транспортно-складських і накопичувальних систем, які швидко переналагоджуються та ін.

Однак слід зазначити, що будь-яка універсалізація потребує значних додаткових витрат і при її застосуванні необхідно використовувати зважений економічний підхід на базі маркетингової інформації та досліджень.

Автоматичні поточні лінії (АПЛ) ефективні у масовому виробництві. Склад автоматичної поточної лінії такий:

- автоматичне обладнання (станки, агрегати, установки і т. ін.) для виконання технологічних операцій;
- механізми для орієнтації, установки і закріплення виробів на обладнанні;

- пристрій для транспортування виробів по операціях;
- контрольні машини і прилади (для контролю якості і автоматичного підналагодження обладнання);
- знаряддя завантаження і розвантаження ліній (заготовок і готових деталей);
- апаратура і прилади системи управління АПЛ;
- пристрої зміни інструменту і оснастки;
- пристрої видалення відходів;
- пристрої забезпечення необхідними видами енергії (електрична енергія, водяна пара, інертні гази, стиснуте повітря, вода, каналізаційні системи);
- пристрої забезпечення мастильно-охолоджувальними рідинами та їх видалення та ін.

До складу автоматичних ліній останнього покоління також включено електронні пристрої:

1. "Розумні супервізори" з моніторами на кожній одиниці обладнання і на центральному пульті управління. Їх призначення — завчасно попереджувати персонал про хід процесів, які проходять в окремих агрегатах і в системі в цілому і давати інструкції про необхідність дій персоналу (текст на моніторі). Наприклад:

- негативна тенденція технічного параметра агрегату;
- інформація про заділи і кількості заготовок;
- про брак та його причини та ін.

2. Статистичні аналізатори з плотерами, які призначені для статистичної обробки різноманітних параметрів роботи АПЛ:

- час роботи та простоїв (причини простоїв);
- кількість продукції, що випускається (всього, рівень браку);
- статистична обробка кожного параметра виробу, який обробляється на кожній автоматично контрольованій операції;
- статистична обробка виходу з ладу (поломка, збій) систем кожної одиниці обладнання та лінії у цілому та ін.

3. Діалогові системи селективної зборки (тобто підбір параметрів відносно грубо (неточно) оброблених деталей, які входять у складальну одиницю, сполучення яких забезпечує високоякісні параметри складальної одиниці).

Резюмуючи сказане можна відмітити, що розвиток предметної форми спеціалізації цехів (ділянок) приводить до створення поточного виробництва – найбільш прогресивної та ефективної форми організації виробничих процесів, яка базується на ритмічній повторюваності погоджених за часом основних та допоміжних операцій. Його реальна організація проявляється у вигляді поточних ліній (табл. 1.1).

Табл. 1.1. Класифікація поточних ліній

Ознака класифікації	Характеристика виробництва	Види поточних ліній
1. Ступінь спеціалізації	Номенклатура вузька, прямує до одиниці	Однопредметна
	Номенклатура різноманітна	Багатопредметна
2. Формування завантаження	Повне завантаження одним виробом	Постійна
	Повна загрузка різними конструктивно і технологічно однорідними виробами	Перемінна
3. Ступінь переривчастості руху (синхронність)	Рівність і кратність штучних часів такту, однакова продуктивність операцій. Безперервний рівномірний рух виробів по операціях	Безперервно-поточна (синхронна)
	Некратність штучних часів такту, неоднакова продуктивність операцій. Рух виробів з затримками і перервами	Перервно-поточна (синхронна)
4. Спосіб підтримки ритму	Ритм підтримується автоматично діючим конвеєром	З примусовим ритмом
	Ритм підтримується взаємодією суміжних операцій	З довільним ритмом
5. Вид транспортних знарядь	Зв'язок між операціями і регулювання передачі виробів здійснюється конвеєром	Конвеєризowana
	Передача продукції не зв'язана з тактом за допомогою різних транспортних знарядь	З використанням різних транспортних знарядь
6. Рівень механізації	Виконання основних операцій на машинах-автоматах, транспортування виробів автоматизовано	Автоматизована (АПЛ)
	Виконання основних і допоміжних операцій на машинах за участю робочого	Механізована
	Виконання частини основних і допоміжних операцій вручну	Немеханізована

**Поточна лінія** – відокремлений підрозділ цеху, спеціалізований на виготовленні одного або декількох видів виробів по одній технології. Поточне виробництво базується на використанні принципів прямоточності, спеціалізації, безперервності, паралельності, пропорційності та ритмічності. Види поточних ліній приведені на рис. 1.1.

**Принцип прямоточності** передбачає розміщення обладнання і робочих місць в порядку проходження операцій технологічного процесу.

Прямоточність забезпечує найкоротший шлях руху виробів на виробництві.

**Принцип спеціалізації** втілюється у створенні спеціалізованих поточних ліній, які призначені для обробки одного або декількох технологічно споріднених виробів. Виробничий процес виготовлення продукції підрозділяється на операції, які закріплені за окремими робочими місцями або за групою однакових робочих місць.

**Принцип безперервності** проявляється у виді безперервного (без міжопераційної затримки) руху виробів по операціях при безперервній роботі робочих і обладнання. Подібні лінії називаються безперервно-поточними. Безперервність є прямим наслідком принципу пропорційності, тобто однакової продуктивності на всіх операціях ліній. Якщо такої рівності немає, то лінія називається перервно-поточною або прямоточною.

**Принцип паралельності** передбачає поштучну передачу виробів по операціях або невеликими транспортними партіями.

**Принцип ритмічності** характеризується ритмічним випуском продукції з лінії та ритмічним повторенням всіх операцій на кожному робочому місці. На безперервно-поточних лініях з поштучною передачею випуск (запуск) кожного виробу здійснюється через один і той же інтервал часу, який називають тактом лінії (або поштучним ритмом). Такт лінії строго узгоджений з виробничою програмою і розраховується по формулі

$$r = \frac{F_d}{N_{пл}}$$

де  $F_d$  – ефективний фонд часу роботи лінії у плановий період, хв;

$N_{пл}$  – виробнича програма за той же період, облікових од.

При передачі виробів транспортними партіями (по декілька штук, екземплярів) ритмічність роботи безперервної поточної лінії характеризується ритмом.

**Ритм лінії** – це інтервал часу, який визначає випуск (запуск) однієї партії виробів від наступної за нею, і розраховується по формулі

$$r_p = m_{тр}$$

де  $n_{\text{тр}}$  – величина транспортної партії, од.

Строге дотримання режиму характерно для **синхронних поточних ліній**, а також ліній з регламентованим ритмом. В цьому випадку зберігається рівність

$$rw_i - t_{\text{шт. } i} = 0,$$

де  $w_i$  – кратність штучних часів  $t_{\text{шт. } i}$  такту лінії по кожній  $i$ -й операції (тобто  $w_i$  – число робочих місць на  $i$ -й операції).

**Умовою безперервності** руху виробів на поточній лінії є синхронність. **Організаційні форми поточних ліній** вельми різноманітні, тому доцільно ділити їх на групи по класифікаційним ознакам.

- По ступеню спеціалізації розрізняють **одно-** і **багатопредметні** поточні лінії.
- По формуванню завантаження виділяють лінії з **постійним** і **змінним** завантаженням.

На **однопредметній лінії** повне завантаження на протязі тривалого часу забезпечується одним виробом. Такі лінії називаються також постійними. Перехід на обробку іншого виробу пов'язаний з реконструкцією лінії (заміна обладнання, зміна кількості робочих місць на операціях тощо).

На **багатопредметній лінії** обробляється поперемінно декілька виробів, близьких по конструктивним і технологічним особливостям. Така лінія називається також перемінною.

**При переході** з обробки одного виробу на інший необхідно переналагодження обладнання та зміна режиму роботи лінії. При формуванні загрузки лінії вироби підбираються таким чином, щоб скоротити час на переналадку та забезпечити найбільш повне завантаження.

- По досягненні **ступеня безперервності** руху розрізняють безперервно-поточне виробництво або синхронний потік та перервно-поточне виробництво або несинхронний потік.

На **безперервно-поточних лініях** предмети праці з операції на операцію безперервно передаються поштучно або невеликими партіями за допомогою механізованих або автоматизованих транспортних засобів (конвеєрів) через однаковий проміжок часу, який дорівнює такту або ритму потоку. При цьому час виконання всіх операцій технологічного процесу на даному робочому місці повинен бути рівний або кратний такту (ритму). Такий технологічний процес прийнято називати синхронізованим. Для безперервно-поточного виробництва характерна однаковість продуктивності операцій, що забезпечує передачу виробів по операціях в установленому ритмі без перерв, безперервну роботу обладнання і робочих.

**Перервно-поточному виробництву** властива нерівність продуктивності операцій, що обумовлена нерівністю й некратністю обробки одиниці виробу по операціях. В технологічному потоці виникають затримки в передачі виробів по операціях. Для підтримки безперервності процесу на найбільш трудомістких операціях створюються міжопераційні оборотні заділи.

- По способу підтримки ритму, такту поточної лінії розрізняють лінії з регламентованим та вільним тактом.

Лінії з **регламентованим тактом** характерні для неперервно-поточного виробництва. Тут режим підтримується за допомогою конвеєрів, які переміщують предмети праці з визначеною швидкістю.

Лінії з **вільним тактом** не мають технічних засобів, строго регламентуючих ритм роботи. Такі лінії застосовуються при будь-яких формах потоку (безперервний і перервний), і дотримання ритму в цьому випадку покладається безпосередньо на робітників даної лінії.

- По виду **транспортних засобів** розрізняють лінії зі знаряддями безперервної дії (конвеєрами) та з різними транспортними засобами дискретної дії.

Лінії з транспортними засобами безперервної дії в залежності від функцій, які виконуються цими засобами, підрозділяються на лінії з **транспортним конвеєром**, лінії з **робочим конвеєром** та лінії з **розподільним конвеєром**.

**Транспортні конвеєри поточних ліній** (стрічкові, пластинчасті, ціпкові, підвісні та ін.) призначені для транспортування предметів праці і підтримки заданого ритму роботи лінії.

**Робочі конвеєри** поточних ліній представляють собою систему робочих місць, на яких здійснюються технологічні операції без зняття предметів праці.

**Розподільчі конвеєри** застосовуються на поточних лініях з виконанням операцій на стаціонарних робочих місцях і з різним числом робочих місць, коли для підтримки ритмічності необхідно забезпечити чітке адресування предметів праці по робочих місцях.

Залежно від **рівня механізації** поточні лінії можуть бути автоматизованими, механізованими та немеханізованими.

На **автоматизованій поточній лінії** всі операції повністю синхронізовані і виконуються по єдиному такту; обробка виробів, контроль і передача їх з операції на операцію виконується в автоматичному режимі.

**Механізовані поточні лінії** передбачають використання машин і агрегатів, які виконують основну технологічну операцію; подачу виробів в робочу зону машини і вивід їх з робочої зони здійснюють вручну. Для механізованих поточних ліній характерна несинхронність виконання ряду операцій. Підприємства проводять організаційно-технічні заходи по синхронізації роботи обладнання поточних ліній для переводу їх по можливості на АПЛ.

На **немеханізованих поточних лініях** основні і допоміжні операції можуть виконуватись вручну. Для підтримки ритму в ряді випадків використовується конвеєр.

Слід відмітити, що найбільш перспективним напрямком розвитку поточних ліній є **автоматичні поточні лінії**. При проектуванні таких ліній враховані всі позитивні характеристики поточного виробництва. Автоматична поточна лінія може складатись з окремих машин-автоматів або агрегатів, які виконують в автоматичному режимі технологічні операції з обробки виробів. Передача виробів від операції до операції і подача виробів в робочу зону машини здійснюється автоматичними транспортними засобами.

На **автоматичній поточній лінії** технологічні операції виконуються синхронно, тому міжопераційні оборотні заділи не утворюються. На таких лініях створюються тільки технологічні і транспортні заділи.



Рис.1.1. Види поточних ліній

## ТЕМА 2 ПРОЄКТУВАННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ (ПЛ) ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

**Лекція 2.1 (2) Основні етапи проектування. Однопредметна і багатопредметна поточні лінії. Проектування режиму роботи лінії. Коефіцієнт змінності. Змінне завантаження поточної лінії**

### *Проектування поточних ліній та їх ефективність*

При проектуванні поточних ліній виконується ряд розрахунків, які пов'язані з синхронізацією операцій, розробкою і визначенням регламенту роботи лінії і т. ін. Аналогічні розрахунки виконуються при перебудові роботи лінії у зв'язку зі зміною виду продукції або технологічного процесу.

Основні етапи проектування і розрахунку поточної лінії:

- підбір продукції для виготовлення або обробки на поточній лінії, визначення річної виробничої програми;
- проектування режиму роботи поточної лінії, розрахунок такту та ритму, величини транспортної партії;
- синхронізація операцій, розрахунок числа робочих місць, розробка регламенту роботи лінії, визначення числа робочих;
- розрахунок величини заділів;
- планування ліній, проектування транспортних засобів;
- розрахунок показників економічної ефективності.

**Однопредметну поточну лінію** доцільно створювати, якщо підприємство має велику кількість заказів, однорідних по технологічним параметрам, і з'являється можливість зайнятості обладнання їх обробкою у продовж тривалого часу.

Річна **виробнича програма** однопредметної поточної лінії повинна наближатися до її річної виробничої потужності. У тих випадках, коли підприємство має об'єм виробництва певного виду продукції, який перевищує річну виробничу потужність лінії, можна створювати декілька однопредметних ліній для випуску продукції.

Для **багатопредметної поточної лінії** підбирають конструктивно і технологічно однорідні вироби з однаковими технологічними параметрами обробки. Єдиний для всіх виробів технологічний процес забезпечує найбільшу безперервність виробництва і краще використання обладнання.

При формуванні загрузки багатопредметної поточної лінії необхідно забезпечити найбільш повне завантаження обладнання і безперервність виробничого маршруту. У тих випадках, коли річне завантаження продукцією з однорідними технологічними параметрами перевищує річну виробничу потужність поточної лінії, можна створювати декілька однопредметних поточних ліній для обробки цієї продукції.

На **багатопредметній поточній лінії** може бути вибрано як **послідовний**, так і **паралельний** вид руху виробів в залежності від конкретних вимог організації виробництва.

**Послідовне** проходження виробів передбачає, що кожний наступний вид виробів починають обробляти після проходження виробів попереднього виду по всіх операціях поточної лінії.

Можлива така організація роботи поточної лінії, коли на окремих операціях **паралельно** обробляються два види виробів. Це необхідно для забезпечення повного завантаження основного обладнання. Вироби, які обробляються на лінії паралельно, повинні мати розпізнавальні мітки (знаки).

**Багатопредметна поточна лінія** при послідовній обробці різних заказів в період виготовлення виробів однієї партії працює як однопредметна.

При визначенні **об'єму виробництва** на поточній лінії необхідно ув'язати його з річною плановою продуктивністю лінії або основного обладнання. Важливе значення має вибір обладнання, яке входить в поточну лінію. Необхідно мати можливість вирівнювання продуктивності операцій. Операції повинні виконуватись синхронно, виробничий процес протікати безперервно, завантаження лінії відповідати її річній продуктивності.

При **проектуванні режиму роботи лінії** визначаються такі параметри її роботи:

- коефіцієнт **змінності**  $k_{зм}$  ;
- річний або місячний **фонд часу** основної роботи  $F_d$  , год;
- **тривалість зміни** з врахуванням регламентованих перерв  $F_{зм}$  , хв;
- **тривалість обробки** окремих видів виробів на багатопредметній лінії  $F_j$  .

**Коефіцієнт змінності** роботи поточної лінії  $k_{зм}$  визначається по формулі

$$k_{зм} = \frac{N_p}{N_{лін}}$$

де  $N_p$  – плановий річний об'єм виробництва, обл.од.;  $N_{лін}$  – планова річна продуктивність лінії, обл.од.

Річний або місячний **фонд часу** основної роботи поточної лінії  $F_{д(р)}$  визначається по формулі

$$F_{д} = F_{н} - (f_p + f_{оп} + f_{технол} + f_{нал}),$$

де  $F_{н}$  – номінальний фонд часу роботи, який залежить від режиму роботи підприємства (лінії) у продовж року або місяця, год;  $f_p$  – час простою лінії при проведенні планового ремонту, год;  $f_{оп}$  – тривалість простою при проведенні періодичних оглядів, год;  $f_{технол}$  – тривалість технологічних зупинок, год;  $f_{нал}$  – тривалість переналадок лінії, яка не враховується технологічними зупинками, год.

**Тривалість переналадок** повинна бути врахована при організації роботи багатопредметної лінії. Вона може бути визначена виходячи із часу на одну переналадку і числа переналадок на протязі періоду, який розглядається. Слід враховувати, що по окремим видам обладнання час на переналадку може бути враховано нормативами часу на технологічні зупинки.

**Добовий дійсний фонд** часу роботи однопредметної безперервно-поточної лінії  $F_{дн}$ , год, визначається по формулі:

$$F_{дн} = F_{зм} k_{зм} = (F_{зм.к} + f_{пер}) k_{зм},$$

де  $F_{зм}$  – тривалість зміни з врахуванням регламентованих перерв, год;  $F_{зм.к}$  – календарний фонд часу роботи у зміну, який визначається режимом роботи підприємства, год;  $f_{пер}$  – час регламентованих перерв, год;  $k_{зм}$  – коефіцієнт змінності роботи лінії (див. вище).

При розрахунках **змінних поточних ліній** необхідно вирішити питання про розподіл річного і місячного фондів часу основної роботи обладнання між усіма заказами, які заплановані до виробництва в зазначений період часу.

Також потребують визначення такі величини, як **змінне завантаження поточної лінії** виробами кожного виду, такт роботи поточної лінії по кожному виду виробів. Тривалість обробки виробів виду  $j$  (однієї партії) на **багатопредметній поточній лінії** можна визначити по одному із варіантів.

Варіант 1. Визначення часу обробки виробів  $j$ -го виду  $F_j$ , од.часу, на **багатопредметній поточній лінії**:

$$F_j = \frac{F_d N_j \sum_{j=1}^n t_{ji}}{\sum_{j=1}^k N_j \sum_{i=1}^n t_{ji}},$$

де  $F_d$  – річний або місячний фонд часу основної роботи поточної лінії, од.часу;  $N_j$  – річний або місячний плановий об'єм роботи по виробам виду  $j$ . од. вим.;  $k$  – число окремих виробів або видів груп виробів;  $t_{ij}$  – планові витрати часу на обробку одного виробу виду  $j$  на кожній операції поточної лінії, од.часу;  $n$  – число операцій на поточній лінії.

Розглянута формула може бути записана інакше, що не змінює її змісту:

$$F_j = \frac{F_d t_j N_j}{\sum_{j=1}^k (t_j N_j)},$$

де  $t_j$  – планові витрати часу на обробку одного виробу виду  $j$  по всім операціям поточної лінії, од.часу.

**Змінна програма** по кожному виробу  $N_{зм j}$ , од.вим., визначається по формулі

$$N_{зм j} = \frac{N_j F_{зм}}{F_j}.$$

Варіант 2. **Час обробки виробів**  $j$ -го виду може бути визначено виходячи з планового часу або змінної тривалості роботи лінії  $\Pi_{лін j}$  при обробці кожного виробу:

$$F_j = \frac{N_j}{\Pi_{лін j}}.$$

В цьому випадку змінна програма дорівнює змінній продуктивності лінії.

Розрахунок **такту** (ритму) поточної лінії:

$$r = \frac{F_{\text{зм}}}{N_{\text{зм. зап}}},$$

де  $r$  – такт роботи поточної лінії, од. часу;  $F_{\text{зм}}$  – тривалість зміни з врахуванням регламентованих перерв, од. часу;  $N_{\text{зм. зап}}$  – змінна програма запуску виробів на поточну лінію, одиниць вимірів.

Розрахунок **такту** виконується по змінному фонду часу, так як саме в межах цього часу вирішуються багато питань організації роботи лінії. Програма запуску відрізняється від програми випуску на величину запланованих відходів на виробничо-технічні потреби. Ці відходи обумовлені виконанням технологічного процесу і регламентуються галузевими інструкціями.

**Змінна програма запуску**  $N_{\text{зм. зап}}$  визначається по змінній програмі випуску  $N_{\text{зм. вип}}$

$$N_{\text{зм. зап}} = N_{\text{зм. вип}} \left( 1 + \frac{K_{\text{відх}}}{100} \right),$$

де  $K_{\text{відх}}$  – норматив відходів на виробничо-технічні потреби, %.

На **безперервно-поточній лінії** (несинхронний потік) **такт лінії** може бути визначено по провідній операції:

$$r = \frac{t_{\text{шт. } i}}{w_i},$$

де  $t_{\text{шт. } i}$  – час на обробку одного виробу (штучний час) на провідній операції, од. часу;  $w_i$  – число робочих місць на провідній операції, од.

Цей метод розрахунку застосовується при умові встановлення програми лінії по плановій продуктивності основного обладнання.

На **багатопредметній поточній лінії** необхідно розрахувати частинний такт для кожного виробу. Він може бути визначений по плановому штучному часу основного обладнання або розрахований виходячи із

змінної програми запуску. Змінна програма визначається з врахуванням трудомісткості обробки кожного найменування.

При передачі виробів з операції на операцію партіями необхідно установити розмір транспортної партії (партійний рух). Він залежить від характеру продукції, яка обробляється на лінії, особливостей транспортування і т.д.

**Розмір транспортної партії**  $n_{\text{тр}}$ , од., на конвеєрі з безперервним рухом може бути визначено по формулі

$$n_{\text{тр}} = \frac{l_{\text{к}}}{v_{\text{к}}},$$

де  $l_{\text{к}}$  – крок конвеєра або відстань між осями суміжних виробів або партій, рівномірно розташованих на конвеєрі, м;  $v_{\text{к}}$  – установлена швидкість руху конвеєра, м/хв.

При партійному русі виробів визначається ритм лінії  $R$ , од. часу:

$$R = m_{\text{тр}}.$$

## ТЕМА 3 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПЕРЕРВНО-ПОТОЧНОЇ ЛІНІЇ

### Лекція 3.1 (3) Порядок розрахунку основних показників роботи перервно-поточної лінії

*Порядок розрахунку основних показників роботи перервно-поточної лінії*

Розглянемо порядок розрахунку основних показників роботи перервно-поточної лінії за даними табл. 3.1, 3.2.

Необхідно визначити:

- час обробки виробів  $j$ -го виду на поточній лінії  $F_j$  ;
- змінну програму по кожному виду виробів  $N_{змj}$  ;
- такт роботи поточної лінії по кожному виду виробів  $r_j$  .

**Табл. 3.1. Вихідні дані для розрахунку перервно-поточної лінії**

Найменування параметра	Позначення	Величина
Місячний фонд часу основної роботи поточної лінії	$F_d$	196 год
Тривалість зміни за відрахуванням регламентованих перерв	$F_{зм}$	8 год
Число видів виробів (заказів)	$j$	10
Число операцій на поточній лінії	$n$	5

**Табл. 3.2. Планові витрати часу на обробку одиниці виробу на операції**

№ заказу	Місячна планова загрузка $N_j$ , од. вим.	Планові витрати часу на обробку одиниці виробу на операції $t_{ji}$ , с				
		$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
1	7000	2,0	18,0	2,0	2,5	1,8
2	10000	2,0	20,0	2,0	2,4	1,8
3	5000	2,0	22,0	2,0	2,4	1,8
4	3000	2,0	20,0	2,2	2,4	1,8
5	10000	2,0	18,0	2,5	2,2	1,6
6	5000	2,0	16,0	2,0	2,2	1,8
7	8000	2,0	20,0	2,2	2,0	1,6
8	2000	2,0	22,2	2,0	2,5	1,6
9	10000	2,0	20,0	2,5	2,4	1,8
10	2500	2,0	16,0	2,4	2,2	1,6
Разом:	62500	20,0	92,0	21,8	23,2	17,2

Результати розрахунків зведено в табл. 3.3.

Приклад розрахунку виконано для першого виду виробів,  $j = 1$ .

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n t_{1,i} &= t_{1,1} + t_{1,2} + t_{1,3} + t_{1,4} + t_{1,5} = \text{ю} \\ &= 2,0 + 18,0 + 2,0 + 2,5 + 1,8 = 26,3 \text{ с}\end{aligned}$$

По всіх інших видах виробів виконують аналогічні розрахунків, результати записуються в табл. 3.3, графа 2.

$$t_{\text{н-год. } j} = N_1 \sum_{i=1}^n t_{1,i} = 7000 \frac{26,3}{60 \cdot 60} = 51,1 \text{ н-год.}$$

**Трудомісткість**  $t_{\text{н-год. } j}$  визначають по кожному виду виробів, результати записують у відповідні строки табл. 3.3, графа 3.

**Сумарна трудомісткість** виготовлення всіх видів виробів може бути визначена як сума всіх строк графи 3 в табл. 3.3 або визначена по формулі

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^k N_j \sum_{i=1}^n t_{ji} &= 62500 \cdot \frac{26,3 + 28,2 + 30,2 + 28,4 + 26,3 + 24 + 27,8 + 30,1 + 28,7 + 24,2}{60 \cdot 60} = \\ &= 4760,4 \text{ н-год}\end{aligned}$$

Час обробки виробів  $j$ -го виду  $F_j$ , год

$$F_1 = \frac{F_{\text{д}} N_1 \sum_{i=1}^n t_{1,i}}{\sum_{j=1}^k N_j \sum_{i=1}^n t_{j,i}} = \frac{F_{\text{д}} t_{\text{н-год. } j}}{\sum_{j=1}^k N_j \sum_{i=1}^n t_{j,i}} = \frac{196 \cdot 51,1}{4760,4} = 2,1 \text{ год. (графа 4).}$$

**Змінна програма** виробів  $j$ -го виду  $N_{\text{зм}j}$ , од. вим.

$$N_{\text{зм.1}} = \frac{N_1 F_{\text{зм}}}{F_1} = \frac{7000 \cdot 8}{2,1} = 26667 \text{ вироб. (графа 5).}$$

**Такт роботи поточної лінії**  $r_j$ , с

$$r_1 = \frac{F_{\text{зм}}}{N_{\text{зм.1}}} = \frac{8 \cdot 60 \cdot 60}{26667} = 1,09 \text{ с (графа 6).}$$

Величини  $F$ ,  $N$ ,  $r$  визначають по всім видам виробів, які заплановано до виробництва в даному календарному періоді, і записуються у відповідні строки граф 4, 5, 6 табл. 3.3.

Табл. 3.3. Результати розрахунку поточної лінії

№ заказу	Планові затрати часу на обробку $j$ -го виду виробів по всім операціям, с	Трудомісткість $j$ -го виду виробів, н-год	Час обробки виробів $j$ -го виду $F_j$ , год	Змінна програма виробів $j$ -го виду $N_{змj}$ , од. вим.	Такт роботи поточної лінії $r_j$ , с
1	26,3	51,1	2,1	26667	1,09
2	28,2	78,3	32,2	3810	7,6
3	30,2	41,9	17,2	2326	12,4
4	28,4	23,7	9,73	2474	11,6
5	26,3	73,1	0,01	2667	10,8
6	24,0	33,3	3,72	2899	9,9
7	27,8	61,8	5,4	2500	11,5
8	30,1	16,7	6,9	2319	12,4
9	28,7	79,7	32,8	2439	11,8
10	24,2	16,8	6,9	2899	9,9
Разом:	274,2	476,4	196,0	26 975	108,8

*Місячний фонд часу; число видів виробів; число операцій. Термін обробки виробів. Змінна програма*

Процес погодження планового штучного часу з тактом поточної лінії називається синхронізацією. Мета проведення синхронізації - вирівнювання продуктивності технологічних операцій, які виконуються на поточній лінії. В період проектування поточної лінії проводиться попередня синхронізація. Вона полягає в підборі обладнання, проектуванні технологічного процесу і режиму виконання операцій, передбачається структура і метод виконання окремих операцій.

При остаточній **синхронізації** уточнюється технологічний режим (наприклад, швидкість роботи обладнання на окремих операціях), створюється спеціальна оснастка, застосовуються знаряддя малої механізації, удосконалюється розподіл праці, проектується раціональна організація робочого місця, покращується його обслуговування і т.д.

Весь комплекс технологічних і організаційних заходів дозволяє забезпечити рівність продуктивності різних операцій.

Якщо тривалість кожної операції дорівнює такту (при поштучній передачі) або ритму (при передачі партіями), то на кожній операції створюється одне робоче місце, і вироби через один і той же інтервал часу будуть передаватися з попередньої операції на наступну. Якщо ж продуктивність кратна такту, то на паралельно працюючих місцях кожної операції буде оброблятися декілька виробів, які поступають в певній послідовності.

**Число робочих місць** на кожній операції поточної лінії  $w_i$  залежить від планового штучного часу  $t_{шт.i}$ , який витрачається на обробку одного виробу (партії виробів) і такту (або ритму) роботи поточної лінії:

$$w_i = \frac{t_{шт.i}}{r}.$$

Число робочих місць на багатопредметній поточній лінії розраховується для кожного виду виробів, тому що кожному виду виробів відповідають свої величини поопераційної трудомісткості і такту.

Якщо вироби обробляються на поточній лінії послідовно, то робочі місця визначаються по найбільшому значенню їх розрахункової кількості. При паралельній обробці – це є сума робочих місць, які отримано із розрахунку.

При розрахунку синхронних неперервно-поточних ліній кількість робочих місць є цілим числом, тому що штучні часи рівні або кратні такту.

У перервному потоці, де відсутня синхронність, розрахункова кількість робочих місць є не цілим числом. При розрахунку поточної лінії встановлюється прийняте (ціле) число робочих місць: воно визначається по найближчому більшому.

**Ступінь синхронізації**  $K_{синх}$  може бути визначена відношенням розрахованого числа робочих  $w_{розр.i}$  до прийнятого  $w_{прин.i}$  за формулами:

$$- \text{ для операції } K_{синх} = \frac{w_{розр.i}}{w_{прин.i}};$$

$$- \text{ для лінії } K_{\text{синх.лін}} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{\text{розр.}i}}{\sum_{i=1}^n W_{\text{прин.}i}},$$

де  $n$  – число операцій на поточній лінії.

В перервному, несинхронному потоці на операції, після обробки кожного виробу, виникає перерва, тривалість якої  $t_{\text{пер.}i}$  визначається по формулі

$$t_{\text{пер}i} = r \frac{t_{\text{шт.}i}}{W_{\text{прин.}i}}.$$

Щоб уникнути частих перерв в роботі обладнання і робочих після обробки кожного виробу, доцільно проводити безперервну обробку певної кількості виробів, а перерви робити більш тривалими. З цією метою розробляється регламент роботи поточної лінії.

**Регламентом роботи поточної лінії** називається розпорядок роботи обладнання і робочих на перервній поточній лінії, який забезпечує мінімальні оборотні заділи на операціях й найкраще використання робочого часу.

Всі розрахунки перервної поточної лінії повинні привести до визначення оптимального регламенту її роботи. **Оптимальний регламент** повинен задовольняти таким умовам:

- всі робочі місця на кожній операції повинні працювати одночасно і паралельно, створюючи рівномірне завантаження обладнання;
- перерви повинні бути сконцентровані на одному робочому місці операції, а вся решта місць повинна мати повне завантаження;
- необхідно забезпечити краще використання робочого часу робочих, виявляючи можливості суміщення професій;
- проведення мінімізації величини міжопераційних оборотних заділів шляхом створення умов для їх рівномірного напрацювання і спрацьовування.

Щоб отримати оптимальний регламент роботи поточної лінії, розробляється декілька його варіантів, кожний із яких послідовно задовольняє вищенаведеним вимогам.

## ТЕМА 4 ПОБУДОВА РЕГЛАМЕНТУ ПЕРЕРВНОЇ ПОТОЧНОЇ ЛІНІЇ

### Лекція 4.1 (4) Побудова регламенту перервної поточної лінії

*Варіанти регламенту поточної лінії. Запаси поточної лінії: технологічний, транспортний, страховий або резервний, оборотний, міжопераційний оборотний.*

Вихідні дані до приклада побудови регламенту перервної поточної лінії (табл. 4.1):

- змінна програма  $N_{зм.зап} = 14400$  екз.;
- тривалість зміни  $F_{зм} = 480$  хв.

Тоді такт  $r = F_{зм} / N_{зм.зап} = 480 \times 60 / 14400 = 2$  с.

Табл. 4.1. Кількість робочих місць

№ операції	Плановий час на виріб, с	Кількість робочих місць	
		розраховане	прийняте
1	1,2	0,6	1
2	10,4	5,2	6
3	1,4	0,7	1
4	3,6	1,2	2
5	2,0	1	1

Перший варіант регламенту (рис. 4.1) передбачає одночасну і паралельну роботу всіх робочих місць на кожній операції, всі робочі місця завантажені рівномірно, перерва на всіх робочих місцях передбачена після закінчення розрахованого часу зайнятості кожного робочого місця.

Час зайнятості одиниці обладнання на кожній операції  $F_{3i}$  визначається по формулі

$$F_{3i} = \frac{t_{шт.i} N_{зм.зап}}{w_{принi}};$$

$$F_{31} = 1,2 \times 14400 / (1 \times 60) = 288 \text{ хв};$$

$$F_{32} = 10,4 \times 14400 / (6 \times 60) = 416 \text{ хв};$$

$$F_{33} = 1,4 \times 14400 / (1 \times 60) = 336 \text{ хв};$$

$$F_{34} = 3,6 \times 14400 / (2 \times 60) = 432 \text{ хв};$$

$$F_{3,5} = 2 \times 14400 / (1 \times 60) = 480 \text{ хв.}$$

Перший варіант регламенту роботи поточної лінії може бути покращено за рахунок проведення сконцентрованих перерв.

Другий варіант (рис. 4.2) розробляється для умов, коли перерви в роботі обладнання передбачені тільки для одного із робочих місць операції, а всі інші робочі місця цієї операції мають повне завантаження і працюють цілу зміну.

Час зайнятості робочого місця, яке має перерву  $F'_{3i}$ , розраховується по формулі

$$F'_{3i} = t_{шт.i} N_{зм.зап} - F_{зм} (w_{прин.i} - 1);$$

$$F'_{31} = 1,2 \times 14400 / 60 - 480 \times (1 - 1) = 288 \text{ хв};$$

$$F'_{32} = 10,4 \times 14400 / 60 - 480 \times (6 - 1) = 96 \text{ хв};$$

$$F'_{33} = 1,4 \times 14400 / 60 - 480 \times (1 - 1) = 336 \text{ хв};$$

$$F'_{34} = 3,6 \times 14400 / 60 - 480 \times (2 - 1) = 384 \text{ хв};$$

$$F'_{35} = 2 \times 14400 / 60 - 480 \times (1 - 1) = 480 \text{ хв.}$$

Третій варіант регламенту можливий при суміщенні професій робочими, які обслуговують операції поточної лінії.

В розглянутому прикладі можливе переміщення робочого з шостої машини другої операції, яке вивільнюється через 96 хв, на другу машину четвертої операції. Регламент потоку повинен встановлювати послідовність і періодичність переходу робочих з операції на операцію. На третьому варіанті регламенту перехід робочих з другої операції на четверту позначено пунктиром.

Четвертий варіант регламенту розроблявся для скорочення величини оборотних заділів. Для цього тривалість зміни в нашому прикладі розбивається на дві напів зміни, і в кожній напівзміні створюються однакові умови по завантаженню обладнання.

Враховуючи конкретні вимоги організації виробництва, можна при розробці регламенту встановлювати різні величини періоду обороту. Період обороту - це період часу, по закінченні якого робота перервної

поточної лінії повторюється. Чим менше період обороту, тим менше розмір оборотних заділів і час пролежування виробів. Надмірне дроблення змінного фонду часу і зменшення періоду обороту не завжди доцільно, тому що це може бути пов'язано з частими переходами робочих з операції на операцію.

**Кількість робочих** на неперервній поточній лінії визначається в залежності від штату бригади, норми обслуговування і числа робочих місць. Число робочих на перервній поточній лінії визначається на основі регламенту, яким передбачено суміщення професій.

На всіх видах поточних ліній створюється різного виду заділи, тобто необхідні запаси виробів. Як на неперервних, так і на перервно-поточних (несинхронних) лініях створюються заділи: технологічний, транспортний і страховий.

Особливістю перервно-поточних ліній є створення **оборотного заділу**.

**Технологічний заділ**  $Z_T$  представляє собою вироби, які одночасно знаходяться в обробці на всіх робочих місцях поточної лінії, і визначається по формулі

$$Z_T = n_{\text{тр}} \sum_{i=1}^k w_i,$$

де  $Z_T$  – величина технологічного заділа, од.вим.;  $n_{\text{тр}}$  – розмір транспортної партії, од.вим.;  $k$  – число операцій на поточній лінії.

**Транспортний заділ**  $Z_{\text{тр}}$  включає в себе всі вироби, які знаходяться на лінії між операціями в процесі транспортування. він може бути визначений по формулі

$$Z_{\text{тр}} = n_{\text{тр}} \frac{l_k}{l_B},$$

де  $l_k$  – довжина транспортера поточної лінії, м;  $l_B$  – відстань між транспортними партіями на конвеєрі, м.

Заділ перед лінією  $Z_{\text{тр.лін}}$  включає в себе необхідну кількість напівфабрикатів, які доставляються до першої операції поточної лінії і, які забезпечують постійне завантаження першої операції у відповідності з тактом роботи поточної лінії:

$$Z_{\text{тр.лін}} = \frac{F_{\text{дост}}}{r},$$

де  $F_{\text{дост}}$  - інтервал часу між двома суміжними доставками, од. часу.

**Страховий або резервний заділ**  $Z_{\text{стр}}$  утворюється перед лінією і між операціями поточної лінії. Перед лінією страховий заділ необхідний для компенсації несвоєчасної доставки напівфабрикатів, що може відбуватися із-за організаційно-технічних недоліків на операціях, які передують даній поточній лінії. Запас виробів на окремих операціях необхідний по наступним причинам:

- для організації безперебійної роботи поточної лінії, якщо обладнання на окремих операціях потребує регулювання, усунення дрібних несправностей і т.д.;
- для вирівнювання продуктивності операцій, якщо мало місце коливання швидкості роботи обладнання і т. ін.

**Страховий заділ** створюється заздалегідь шляхом обробки додаткової кількості виробів. Величина цього заділу визначається на основі статичних даних обліку і аналізу роботи поточної лінії, які стосуються простоїв і втрат, які підлягають компенсації.

**Оборотний заділ** перед лінією визначається як різниця продуктивності операції, що подає і поточної лінії за визначений відрізок часу – доба, зміна та ін.

Важливішою особливістю перервно-поточних ліній (несинхронних) є нерівність і некратність штучних часів такту. Наслідком цього є різна продуктивність операцій і нерівність завантаження обладнання на різних операціях. З більш продуктивних операцій за певний період часу буде подаватися більше виробів на менш продуктивні, чим наступні можуть за той же час обробити, і навпаки.

Це приводить до виникнення на суміжних операціях або надлишку міжопераційних напівфабрикатів, які подано з попередньої більш продуктивної операції на дану, або до нестачі напівфабрикатів на більш продуктивних операціях, чим операції, які їх живлять.

**Міжопераційний оборотний заділ**  $Z_{\text{об}}$  – це кількість напівфабрикатів, які призначено для вирівнювання продуктивності на суміжних операціях і знаходиться на робочих місцях в черзі процесу обробки. Оборотні заділи

дозволяють організувати неперервну роботу на робочих місцях впродовж більш або менш тривалого часу. Характерною рисою оборотних заділів є зміна їх величини за період обороту від нуля до максимальної величини.

Розрахунок післяопераційних оборотних заділів виконується між двома суміжними операціями. Для цього в періоді обороту виділяються окремі часові відрізки, які характеризуються незмінним числом працюючих одиниць обладнання на суміжних операціях. Розмір оборотного заділу між двома суміжними операціями на кожному частинному часовому відрізку (часу незмінних умов роботи) визначається по формулі

$$Z_{об\ i,i+1} = \frac{F_{ну} w_i}{t_i} - \frac{F_{ну} w_{i+1}}{t_{i+1}},$$

де  $Z_{об\ i,i+1}$  – величина міжопераційного оборотного заділу за період часу незмінних умов роботи, який утворюється між даною  $i$ -ю і наступною  $i + 1$ -ю операціями, од.вим.;  $F_{ну}$  – період часу незмінних умов роботи, впродовж якого на двох суміжних операціях співвідношення числа робочих місць і продуктивності операцій стабільно, хв;  $t_i, t_{i+1}$  – планові витрати часу на обробку одиниці виробу на даній  $i$ -й операції і наступній  $i + 1$ , хв;  $w_i, w_{i+1}$  – число робочих місць на суміжних операціях, на яких працюють в період часу  $F_{ну}$ .

Розрахункова величина  $Z_{об}$  може бути позитивною або негативною. Позитивна величина заділу свідчить про його збільшення (заділ не спрацьовується) за період часу  $F_{ну}$ , негативна – говорить про зменшення (заділ спрацьовується).

Сума позитивних величин оборотних заділів на суміжних операціях за період обороту повинна бути рівна сумі негативних величин по абсолютному значенню.

Розрахунок міжопераційних оборотних заділів представлено в табл. 4.2.

№ операції	Кіль-сть робочих місць	Варіант регламенту	Графік виконання операції
1	1	1	← $F_{см} = 480 \text{ хв}$ → 288
2	6		416
3	1		336
4	2		432
5	1		
1	1	2	288
2	6		96
3	1		336
4	2		384
5	1		

Рис. 4.1. Варіанти регламенту роботи поточної лінії

№ операції	Кіль-сть робочих місць	Варіант регламенту	Графік виконання операції
1	1	3	_____288
2	6		_____
3	1		_____96  _____336
4	2		_____96  _____
5	1		_____
1	1	4	← 240 <sub>XB</sub>   _____144   _____384 →
2	6		_____
3	1		_____48   _____168   _____288   _____408
4	2		_____48   _____288
5	1		_____

Рис. 4.2. Варіанти регламенту роботи поточної лінії

Табл. 4.2. Розрахунок міжопераційних оборотних заділів

Період незмінних умов роботи $F_w$	Тривалість незмінних умов роботи	Розрахунок виличини $Z_{об}$ , од. вим.
Між 1-ю і 2-ю операціями		
$F'_w$	48	$Z'_{12} = \frac{48 \cdot 1 \cdot 60}{1,2} - \frac{48 \cdot 6 \cdot 60}{10,4} = +738$
$F''_w$	96	$Z''_{12} = \frac{96 \cdot 1 \cdot 60}{1,2} - \frac{96 \cdot 5 \cdot 60}{10,4} = +2030$
$F'''_w$	96	$Z'''_{12} = -\frac{96 \cdot 5 \cdot 60}{10,4} = -2769$
Між 2-ю і 3-ю операціями		
$F'_w$	48	$Z'_{23} = \frac{48 \cdot 6 \cdot 60}{10,4} - \frac{48 \cdot 1 \cdot 60}{1,4} = -396$
$F''_w$	120	$Z''_{23} = \frac{120 \cdot 5 \cdot 60}{10,4} - \frac{120 \cdot 1 \cdot 60}{1,4} = -1681$
$F'''_w$	72	$Z'''_{23} = \frac{72 \cdot 5 \cdot 60}{10,4} = +2077$
Між 3-ю і 4-ю операціями		
$F'_w$	48	$Z'_{34} = \frac{48 \cdot 1 \cdot 60}{1,4} - \frac{48 \cdot 1 \cdot 60}{3,6} = +1257$
$F''_w$	120	$Z''_{34} = \frac{120 \cdot 1 \cdot 60}{1,4} - \frac{120 \cdot 2 \cdot 60}{3,6} = +1143$
$F'''_w$	72	$Z'''_{34} = -\frac{72 \cdot 2 \cdot 60}{3,6} = -2400$
Між 4-ю і 5-ю операціями		
$F'_w$	48	$Z'_{45} = \frac{48 \cdot 1 \cdot 60}{3,6} - \frac{48 \cdot 1 \cdot 60}{2,0} = -640$
$F''_w$	192	$Z''_{45} = \frac{192 \cdot 2 \cdot 60}{3,6} - \frac{192 \cdot 1 \cdot 60}{2,0} = +640$

## ТЕМА 5 ПЛАНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ НА ПОТОЧНІЙ ЛІНІЇ

### Лекція 5.1 (5) Варіанти планування поточних ліній. Типи конвеєрів. Довжина робочої частини конвеєра

*Варіанти планування обладнання на поточній лінії.*

**Планування обладнання** на поточній лінії повинно забезпечувати:

- прямоточність руху виробів;
- можливість територіального зближення робочих місць, які обслуговуються одним робочим.

Варіанти планувань поточних ліній можуть бути самими різноманітними (прямолінійними,  $F$ -подібна, прямокутними, круговими та ін.). Вони визначаються габаритними характеристиками обладнання, розмірами і конфігурацією виробничих площ, вимогами норм техніки безпеки і т.д. Деякі підприємства можуть розміщатися в будівлях, побудованих не для виробництва, що також відображається на плануванні поточних ліній. Обладнання лінії може розміщатись на одному або більше поверхах.

При рішенні питання про планування поточної лінії проводиться вибір транспортних засобів. В багатьох випадках перевага віддається конвеєрам, тому що вони забезпечують необхідну швидкість руху виробів і регламентують ритм роботи лінії. Довжина робочої частини конвеєра  $l_k$  визначається по формулі

$$l_k = l_{pm}(w_{лін} - 1),$$

де  $l_{pm}$  – відстань між суміжними і робочими місцями, м;  $w_{лін}$  – число робочих місць на лінії.

Наведена формула застосовується при розташуванні робочих місць по одну сторону. При двосторонньому розташуванні робочих місць  $l_k$  визначається

$$l_k = l_{pm} \left( \frac{1}{2} w_{лін} - 1 \right).$$

Загальна довжина конвеєра  $l_{кз}$  може визначатися:

$$l_{кз} = 2l_{pm} + l_{нр},$$

де  $l_{\text{нр}}$  – довжина неробочої частини конвеєра, де розміщено привід і натяжне устаткування, м.

На поточних лініях можуть бути використані конвеєри стрічкові, пластинчасті і підвісні. В перервно-поточному виробництві можуть використовуватися і без привідні транспортні засоби – рольганги, скати, спуски та ін.

**Розподільний конвеєр** може використовуватися для регламентації ритмічності подачі виробів до робочих місць. Стрічка конвеєра має жорстку розмітку, напівфабрикати устанавлюються у строгій відповідності з розміткою. Для проведення розмітки устанавлюється число періоду розподільного конвеєра. Період конвеєра – це відрізок часу, впродовж якого на всіх операціях обробляється однакова кількість виробів. Число періоду конвеєра це кількість виробів, які підлягають обробці за цей період при повному завантаженні всіх робочих місць. Воно повинно бути рівним найменшому кратному від числа робочих місць на кожній операції лінії.

**Розмітка стрічки конвеєра** виконується в межах цього кратного. Кожний поділ відповідає одному виробу або транспортній партії виробів. Розмітка конвеєра закріплюються за робочими місцями. Так, якщо на лінії закріплені 4 операції з числом робочих місць 1, 2, 3, 2, то число поділів конвеєра становить 6. Робочий першої операції знімає з конвеєра і обробляє вироби зі всіх поділів. За першим робочим місцем другої і четвертої операції закріплюються 1, 3 і 5 поділи конвеєра, відмічені розмітковим знаком. За другим робочим місцем цих же операцій закріплюються 2, 4 і 6 поділи. На першому робочому місці третьої операції обробляються вироби з 1 і 4 поділів, на другому - з 2 і 5 поділів і на третьому - з 3 і 6 поділів.

При роботі на лінії зі зняттям виробів з конвеєра швидкість роботи конвеєра повинна бути погоджена з тактом роботи лінії і забезпечити задану продуктивність, зручність і безпеку роботи.

На багатопредметній поточній лінії, де обробляються вироби різної трудомісткості, швидкість роботи конвеєра підтримується постійною за рахунок зміни розміру партії та кроку конвеєра.

Конвеєр з неперервним рухом без зняття виробів називається робочим. Рух такого конвеєра може бути періодичним або пульсуючим. Операція виконується під час зупинки конвеєра без зняття виробу. Можлива обробка виробів робочим по ходу їх руху разом з конвеєром. По закінченні обробки

одного виробу робочий повертається на своє початкове місце до моменту надходження туди наступного виробу.

Деякі підприємства використовують на поточних лініях спеціальні транспортні засоби, які застосовуються і в технологічних цехах. Довжина транспортера і швидкість його руху повинні забезпечити виконання технологічної операції у відповідності з заданим режимом.

Поточні лінії обслуговуються **комплексними бригадами** робочих. В таких бригадах використовується суміщення професій і функцій. Робочі мають можливість підвищувати свою кваліфікацію і опановувати суміжними професіями. В склад бригади можуть входити як основні, так і допоміжні робочі, які обслуговують поточну лінію.

У відповідності з вимогами наукової організації праці на неперервно-поточній лінії 2 рази у зміну встановлюється регламентовані перерви для відпочинку всіх робочих (до 10 хв). Час на відпочинок і власні потреби кожний робочий може використовувати під час роботи обладнання, тому що на короткий час його функції можуть виконувати інші члени бригади.

На поточних лініях норма вироблення встановлюється по головній, тобто найбільш продуктивній операції поточної лінії.

Виробництво виробів на поточній лінії і суміжних з нею виробництв піддається строгому оперативному-календарному плануванню. Розробляється календарний графік, який відображає черговість проходження заказів, тривалість їх виготовлення і термін запуску-випуску.

Всі складові деталі оброблюваного на поточній лінії виробу повинні бути заздалегідь виготовлені або можуть виготовлятися паралельно у відповідності з продуктивністю поточної лінії. Подача напівфабрикатів на поточну лінію здійснюється неперервно, у відповідності з ритмом її роботи, або з певною періодичністю.

Якщо в цьому є необхідність, заздалегідь розраховується величина необхідних заділів: перед лінією, транспортного, технологічного і т.д. У відповідності з регламентом роботи лінії здійснюється подача матеріалів, які використовуються при виготовленні виробів.

**Технічне обслуговування** обладнання поточної лінії виконується в неробочий час. Стосовно до обладнання поточних ліній широко використовується вузловий метод ремонту.

## ТЕМА 6 ПЕРЕВАГИ ПОТОЧНОЇ ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Лекція 6.1 (6) **Розрахунок економічного ефекту від впровадження ПЛ. Методика розрахунку економічної ефективності проєкту на базі чистої приведеної вартості проєкту. Чиста приведена вартість проєкту**

*Переваги поточної форми організації виробництва.*

Широке застосування поточних методів організації виробництва пояснюється їх високою ефективністю. **Переваги поточного виробництва** визначаються такими чинниками:

- широким застосуванням високопродуктивного спеціалізованого обладнання;
- високим рівнем механізації і автоматизації основних транспортних операцій, а також найбільш повним використанням обладнання, матеріалів та інших виробничих ресурсів.

**Ефективність поточних методів** виражається у підвищенні продуктивності праці, збільшенні випуску продукції, скороченні тривалості виробничого циклу, покращенні використання виробничих площ, скороченні числа цехових комірок, економії матеріалів, зниженні собівартості продукції тощо.

На **підвищення продуктивності** праці при поточному виробництві впливає ряд факторів, серед яких можна виділити такі:

- ліквідація важкої фізичної праці і вивільнення чисельності робочих на транспортних операціях, тому що доставка на робочі місця напівфабрикатів і подальше їх переміщення здійснюється за допомогою спеціальних транспортних засобів;
- скорочення простоїв робочих із-за переналадок обладнання, нерівномірної загрузки, непропорційності потужності робочих місць;
- удосконалення робочими професійних навичок внаслідок того, що вони на протязі довгого часу виконують одну і ту ж операцію або частину її;
- зниження трудомісткості процесів виробництва за рахунок застосування в потоці сучасної техніки і технології та оптимальних режимів роботи обладнання.

На **зниження собівартості** впливають такі фактори:

- скорочення заробітної платні на одиницю виробу в результаті підвищення продуктивності праці і зниження трудомісткості продукції;
- зменшення витрат на основні матеріали і напівфабрикати в результаті скорочення випуску бракованої продукції, тому що створюються оптимальні умови для контролю якості напівфабрикатів;
- найбільш повне використання обладнання, будівель і споруд завдяки оптимальному плануванню обладнання, неперервності і ритмічності процесів виробництва, пропорціональності потужності, скорочення простоїв обладнання;
- скорочення браку в результаті ретельної розробки технологічного процесу і режимів роботи, підвищення кваліфікації робочих.

Показником, який найбільш просто характеризує переваги поточної організації виробництва, є скорочення тривалості виробничого циклу обробки одного виробу або транспортної партії.

**Тривалість виробничого циклу** виготовлення виробу на поточній лінії ( $T_{ц}$ ) може бути визначена по формулі

$$T_{ц} = T_{нал} + T_{во} + N_{тип} r,$$

де  $T_{нал}$  – термін наладки обладнання поточної лінії, год;  $T_{во}$  – час проходження на лінії першої партії виробів по випускній операції, год;  $N_{тип}$  – об'єм виробництва в натуральному вимірі по даному заказу, од.вим.;  $r$  – такт лінії, год.

В неперервному (синхронному) потоці операційний період циклу першої партії виробів ( $T_{во}$ ) можна визначити по формулах:

$$T_{во} = r w_{лін} \text{ або } T_{во} = r_p w_{лін},$$

де  $r_p$  – ритм лінії;  $w_{лін}$  – число робочих місць на лінії, од.

На перервній поточній лінії (несинхронний потік) операційний цикл виготовлення партії виробів визначається по формулі

$$T_{во} = t n_{тр},$$

де  $t$  – сума планових витрат часу на одиницю продукції по всіх операціях поточної лінії, год

$$t = \sum_{i=1}^k t_i,$$

де  $t_i$  – плановий час на одиницю продукції на  $i$ -й операції, год;  $k$  – число операцій на поточній лінії.

**Ефективність поточної організації виробництва** визначається на етапі проектування поточної лінії і оцінюється низкою показників.

Економічне обґрунтування виконується методом порівняння варіантів. По порівнюваних варіантах визначається річна виробнича потужність, капітальні вкладення з врахуванням витрат на монтаж, транспортування і додаткові виробничі площі, повна собівартість виготовлення продукції, приріст прибутку, термін окупності додаткових капітальних вкладень. Узагальнюючим показником є річний економічний ефект.

*Розрахунок економічного ефекту від впровадження ПЛ включає такі етапи:*

- 1) Вибір і обґрунтування базового варіанту для порівняння з проектним варіантом.
- 2) Розрахунок продуктивності технологічного обладнання по варіантах.
- 3) Визначення капітальних вкладень по варіантах (базовому і проектному):  $K_1$  – до впровадження поточного виробництва (базовий варіант) і  $K_2$  – після впровадження (проектний варіант).

В загальний об'єм капітальних вкладень по варіантах, як правило, включаються: витрати на технологічне обладнання ( $K_{об}$ ), коштовний інструмент і технологічну оснастку ( $K_i$ ); витрати на доставку, монтаж і пусконаладжувальні роботи технологічного обладнання і оснастки ( $K_m$ ); витрати на використання виробничої площі, яку займає обладнання ( $K_{пл}$ ); витрати на транспорт по доставці обладнання до місця призначення ( $K_{тр}$ ); витрати на запобігання забрудненню доквілля ( $K_d$ ) і на створення певних умов для робочих-операторів ( $K_{ум}$ ).

Крім того, до складу капітальних вкладень по проектному варіанту ( $K_2$ ) входять: витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи ( $K_{ниокр}$ ) з врахуванням фактора часу; збитки від списання недоамортизованої базової техніки ( $K_{сп}$ ); витрати на поповнення (зменшення) оборотних засобів ( $\pm \Delta ОБЗ$ ).

- 1) Розрахунок собівартості продукції, що випускається за допомогою обладнання базового варіанту ( $C_1$ ) і за допомогою поточної лінії ( $C_2$ ).
- 2) Оцінка об'єму випуску продукції в базовому і проектному варіантах.
- 3) Розрахунок величини чистого дисконтного прибутку (ЧДП) або

інтегрального ефекту від впровадження проектного варіанту.

- 4) Оцінка індексу прибутковості (ІП).
- 5) Розрахунок внутрішньої норми рентабельності (ВНР).
- 6) Оцінка терміну окупності від реалізації даного проекту.

При використанні показників для порівняння різних інвестиційних проектів (варіантів проекту) вони повинні бути приведені до порівняльного виду.

*Методика розрахунку економічної ефективності проекту на базі чистої приведенної вартості проекту.*

1) Чиста приведена вартість проекту (NPV- Net Present Value)<sup>1</sup>

*Поточна вартість майбутніх грошових потоків інвестованого проекту, яка розраховується з врахуванням дисконтування, за відрахуванням інвестицій.*

$$NPV = \sum_{i=1}^N \frac{NCF_i}{(1+r)^i} - Inv,$$

де  $N$  – кількість періодів проекту (кількість років експлуатації поточної лінії);  $NCF_i$  – (Net Cash Flow, NCF) чистий грошовий потік для  $i$ -о періоду (року експлуатації), грн.;  $r$  – ставка дисконтування в десятковому виразі (вартість капіталу, залученого для інвестиційного проекту);  $Inv$  – початкові інвестиції в проект, грн.

2) Чистий грошовий потік NCF (Net Cash Flow) включає в себе тільки різниці поточних надходжень і витрат, пов'язаних з реалізацією проекту (*сумарний грошовий потік інвестиційного проекту без обліку платежів, пов'язаних з його фінансуванням*). В загальному випадку NCF за кожний рік експлуатації поточної лінії буде визначатись за формулою

$$NCF = A_{Nvar} \Delta C,$$

де  $A_{Nvar}$  – щорічний випуск продукції, од./рік;  $\Delta C$  – прибуток від продажу готової продукції, грн/од.

3) Індекс прибутковості проекту (Profitability Index, PI) розраховується як *відношення приведених доходів, які очікуються від інвестиції, до суми інвестиційного капіталу*

<sup>1</sup> Сайт: Інтернет-портал для управлінців. – Режим доступу:

<http://www.management.com.ua/finance/fin006.html> – Оцінка комплексних показників ефективності інвестицій.

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{NCF_i}{(1+r)^i}}{Inv}.$$

4) Термін окупності проєкту (Pay-Back Period, PBP) (*Час, який необхідний для покриття початкових інвестицій за рахунок чистого грошового потоку, який генерується інвестиціями з врахуванням дисконтування*). Звичайно визначається графічно  $NPV=f$  (терміну проєкту) при  $NPV=0$ . Для позначення PBP також використовується скорочення DPBP (Discounted Pay-Back Period) або DPB (Discounted Pay-Back).

5) Внутрішня норма рентабельності проєкту (Internal Rate of Return, IRR). (*Ставка дисконтування, при якій сумарна приведена вартість прибутків від здійснених інвестицій дорівнює вартості цих інвестицій*). IRR визначається за формулою (простим підбором)

$$-Inv + \sum_{i=1}^N \frac{NCF_i}{(1+IRR)^i} = 0.$$

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ

### ТЕМА 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ МАШИНИ І ПОТОКОВІ ЛІНІЇ

Лекція 1.1 (7) **Технологічний процес (ТП) – основа проектування технологічного обладнання. Апаратний та машинний ТП, машинна технологія. Робочі і допоміжні органи машин**

*Технологічний процес як основа проектування технологічного обладнання.*

**Технологічним процесом (ТП)** називається процес обробки матеріалів і напівфабрикатів для надання об'єкту певних заданих властивостей. Сутність обробки може бути різноманітна, включаючи всі існуючі методи дії речовин і предметів на інші. ТП може бути здійснений тільки при затраті і перетворенні енергії. ТП підрозділяються на апаратні і машинні.

Технологія, яка здійснюється за рахунок силових полів (теплового, електричного, магнітного, звукового), де відбуваються теплообмінні, масообмінні, фізико-хімічні, біологічні та інші процеси, називається **апаратним технологічним процесом (АТП)**. В результаті такого процесу відбувається зміна фізико-хімічних властивостей або агрегатного стану об'єкта обробки. АТП протікають у спеціальному технологічному обладнанні, яке називається апаратами. Характерно ознакою апарата є наявність реакторного простору або робочої камери.

ТП, який здійснюється за рахунок затрати і перетворення механічної енергії, називається **машинним технологічним процесом (МТП)** або **машинною технологією**. Результатом МТП є зміна форми, розмірів, положення і часткова зміна фізичних властивостей об'єкта обробки. Знаряддям виробництва при виконанні МТП є машина.

Існують також змішані машинно-апаратні ТП, в яких, наприклад, механічна обробка пов'язана з нагріванням (охолодженням) або електрохімічними реакціями.

Обробка об'єктів у машині здійснюється за допомогою виконавчих органів, які поділяються на робочі і допоміжні. **Робочі органи** призначені для безпосередньої обробки об'єкта, **допоміжні** – для подачі, закріплення, транспортування заготовок і для знімання об'єкта після обробки. Робочі органи, як і об'єкти обробки, можуть бути рухомими і нерухомими, але взаємодія між ними при виконанні ТП може бути здійснена тільки при наявності їх відносного руху. Крім того, процес обробки здійснюється за

умови, коли з боку робочих органів діятимуть зусилля, які здатні подолати технологічний опір матеріалу, що обробляється. Таким чином, в МТП взаємодія між робочими органами і об'єктами обробки характеризується кінематичними і силовими параметрами.

МТП складається з окремих операцій, які можна розділити на основні і допоміжні. До основних відносяться операції безпосередньої обробки об'єкта, які дають технологічні результати. Допоміжні операції забезпечують виконання основних – це установочно-знімальні, транспортні, контрольно-вимірювальні і операції керування. Операції керування забезпечують послідовність спрацювання робочих органів машин згідно до заданої програми.

Складовими частинами основних і допоміжних операцій є переходи або елементи рухів виконавчих органів. В основних операціях такі переходи – елементарні види обробки, що виконуються окремими робочими органами. Як технологічні операції, так і переходи можуть виконуватися послідовно, паралельно або так, що в подальшому визначить вид агрегування елементів майбутньої машини. Подальше ділення операцій на елементарні рухи дає змогу звести технологічне завдання до кінематичної задачі.

МТП поділяються на неперервні і перервні. До неперервних відносяться процеси, при яких робочі операції виконуються при неперервному переміщенні об'єкта обробки, а допоміжні – збігаються в часі з робочими. При перервних процесах робочі операції виконуються періодично, у перерві яких, як правило, виконуються допоміжні операції. Такий розподіл є умовним, оскільки це характерно тільки для однопозиційних машин. У багатопозиційних машинах об'єкт обробки періодично переміщається з однієї робочої позиції в іншу, а допоміжні операції можуть збігатися з робочими. Перервні ТП характерні для виготовлення штучної продукції.

За характером дії обробляючого інструмента на об'єкт обробки ТП можна розділити на 4 класи за просторовим співвідношенням між інструментом і об'єктом обробки: точковий, лінійний, поверхневий і об'ємний.

До **1-го класу** відносяться ТП, в яких технологічний результат процесу визначається дією однієї ефективної точки інструмента, яка послідовно вступає у взаємодію з усіма точками поверхні, що обробляється (рис. 1.1, а). Оскільки точка є елементарним і одночасно універсальним геометричним елементом, то інструмент, що діє точкою, здатний обробляти поверхню будь-якої форми. Прикладами ТП 1-го класу можуть бути точіння прохідним токарним різцем, шиття голкою, контроль лінійних розмірів індикатором тощо.

Для ТП **2-го класу** характерна лінійна взаємодія між інструментом і об'єктом обробки (рис. 1.1, б), при якій технологічний результат забезпечується дією робочої лінії інструмента. Прикладами ТП 2-го класу є точіння фасонним різцем, обробка шліців протяжкою, волочіння дроту, фарбування поверхні валиком тощо.

До **3-го класу** відносяться ТП, в яких технологічний результат визначається безпосередньо дією всієї поверхні інструмента на об'єкт обробки (рис. 1.1, в). Ефективними в цьому випадку є всі точки робочої поверхні інструмента. Прикладами можуть бути об'ємне штампування, чеканка, виготовлення деталей пресуванням.

ТП **4-го класу** характеризуються тим, що результат процесу визначається дією всього об'єму робочого середовища на об'єкт обробки (рис. 1.1, г). Ефективними і рівноцінними є всі точки, які є в об'ємі робочого середовища. Будь-яка точка робочого середовища може діяти на будь-яку точку об'єкта обробки. Прикладами можуть бути такі процеси, як сушіння, просочування, термічна обробка у печах СВЧ, вирощування штучних кристалів з розчинів.

При визначенні класу ТП необхідно мати на увазі те, що взаємодія між інструментом і об'єктом обробки не є абсолютною властивістю інструмента, а тільки дає його відносну характеристику. Тому інструмент, який розглядається окремо від об'єкта обробки, взагалі не визначає виду ТП. Наприклад, при виготовленні заклепки пуансон, що формує головку заклепки, буде інструментом, що діє поверхнею, а сам ТП відноситиметься до 3-го класу. При клепанні якоїсь просторової конструкції (наприклад, крила літака) той самий інструмент вважається таким, що діє точкою, а ТП відноситиметься до 1-го класу, оскільки результат процесу (отримання крила) буде визначатися послідовною взаємодією інструмента з усіма необхідними точками поверхні предмета обробки. Розуміння цього положення допоможе уникнути помилок при аналізі ефективності ТП з огляду можливості їх автоматизації.

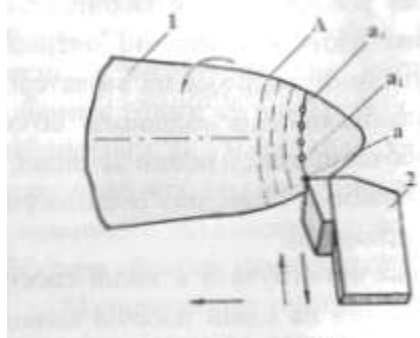
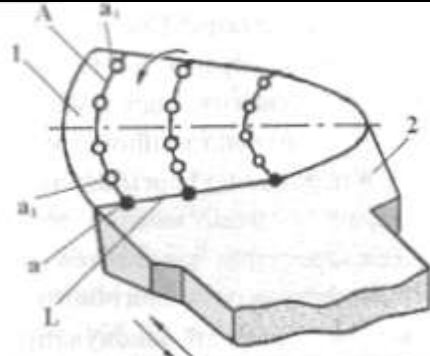
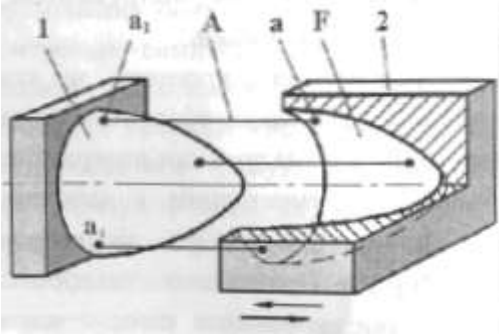
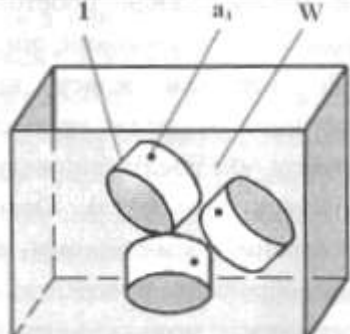
	
<p>1 – об’єкт обробки; 2 – інструмент; А – траєкторія руху робочої точки інструмента відносно об’єкта обробки; а – робоча точка інструмента; <math>a_1 \dots a_i</math> – послідовні положення робочої точки інструмента</p> <p style="text-align: center;"><b>Перший клас</b> <i>a</i></p>	<p>1 – об’єкт обробки; 2 – інструмент; L – робоча лінія інструмента; А – траєкторія руху однієї точки робочої лінії інструмента відносно об’єкта обробки; а – точки робочої лінії інструмента; <math>a_1 \dots a_i</math> – послідовні положення відповідних точок робочої лінії інструмента</p> <p style="text-align: center;"><b>Другий клас</b> <i>б</i></p>
	
<p>1 – об’єкт обробки; 2 – інструмент; F – робоча поверхня інструмента; А – траєкторія руху однієї точки робочої поверхні інструмента відносно об’єкта обробки; а – точки робочої поверхні інструмента; <math>a_1 \dots a_i</math> – точки поверхні об’єкта обробки</p> <p style="text-align: center;"><b>Третій клас</b> <i>в</i></p>	<p>1 – об’єкт обробки; W – робоче середовище; <math>a_i</math> – будь-які точки об’єкта обробки</p> <p style="text-align: center;"><b>Четвертий клас</b> <i>г</i></p>

Рис. 1.1. Класифікація ТП за характеристикою дії обробляючого інструмента на об’єкт обробки

**Лекція 1.2 (8) Основні поняття і визначення знарядь виробництва ПЛ. Структура автоматичної робочої машини. Машина, робочий та неробочий ходи. Виробничий, технологічний, робочий, кінематичний, динамічний, енергетичний цикли машин ПЛ. Ступінь автоматизації машини. Напівавтомат, автомат, автоматична лінія**

*Основні поняття і визначення знарядь виробництва.*

**Машина.** Машиною називається система технологічних пристроїв, призначених для перетворення енергії або інформації, а також для виконання корисної роботи з метою полегшення фізичної або розумової праці.

Залежно від функціонального призначення (який вид перетворення переважає) виділяють три типи машин: машини-перетворювачі енергії (генератори і двигуни), обчислювальні машини (перетворювачі інформації) і машини-знаряддя, або технологічні (робочі) машини (ТМ), призначені для виконання корисної роботи. За допомогою ТМ можна змінювати форму, властивості і стан об'єктів переробки. До ТМ відносяться верстати, вантажопідйомні машини, механічні транспортні засоби всіх видів і будь-який технічний засіб, що перетворює механічну енергію у конкретну корисну роботу.

Будь-яка ТМ складається з двигуна, механічної передачі (трансмисії) і виконавчого механізму (ВМ) (рис. 1.2). ВМ складається з механізмів робочих і неробочих ходів.

Робочий хід – це така дія машини, при якій відбувається безпосередня обробка матеріалу. Неробочий хід – це допоміжна дія машини, що створює умови для здійснення робочого ходу. Деякі неробочі ходи можуть суміщатися в часі з робочими.

Механізм робочих ходів визначає функціональне призначення і назву машини (наприклад, токарно-гвинторізний верстат, зварювально-відкачна машина, напівавтомат пакування виробів, роторний автомат для розфасування тощо). Крім того, механізм робочих ходів визначає технологічні можливості і ступінь універсальності машини. Механізми робочих і неробочих ходів, які виконують окремі елементи робочого циклу, називають цільовими механізмами.

Для машин, що випускають штучну продукцію, властива циклічність в роботі, тобто періодичне повторення окремих дій чи рухів. Спостерігається чергування робочих рухів, в процесі яких обробка не проводиться безпосередньо, але підготовляються умови для неї.

Так, після пуску машини спочатку відбуваються допоміжні рухи: подача і затискування заготовки, підведення інструмента тощо тривалістю  $t_{x1}$ . Відтак проводиться обробка тривалістю  $t_p$ , а далі відведення,

розкріплення заготовки і знімання виробу, тобто відбувається неробочий хід тривалістю  $t_{x2}$  (рис. 1.3).

Загалом машинні ТП виконуються в машинах періодично і характеризуються такими основними циклами: виробничим, технологічним, робочим, кінематичним, динамічним і енергетичним.

**Виробничий цикл** роботи машини складається із сукупності всіх дій і операцій машини і обслуговуючого машину персоналу, скерованих на виконання виробничого завдання, тобто на виготовлення машиною необхідного обсягу продукції заданої якості. Тривалість виробничого циклу визначається часом, необхідним для виконання вказаної сукупності дій. Це є оперативний час виконання завдання без врахування часу простоїв машини з організаційних причин.

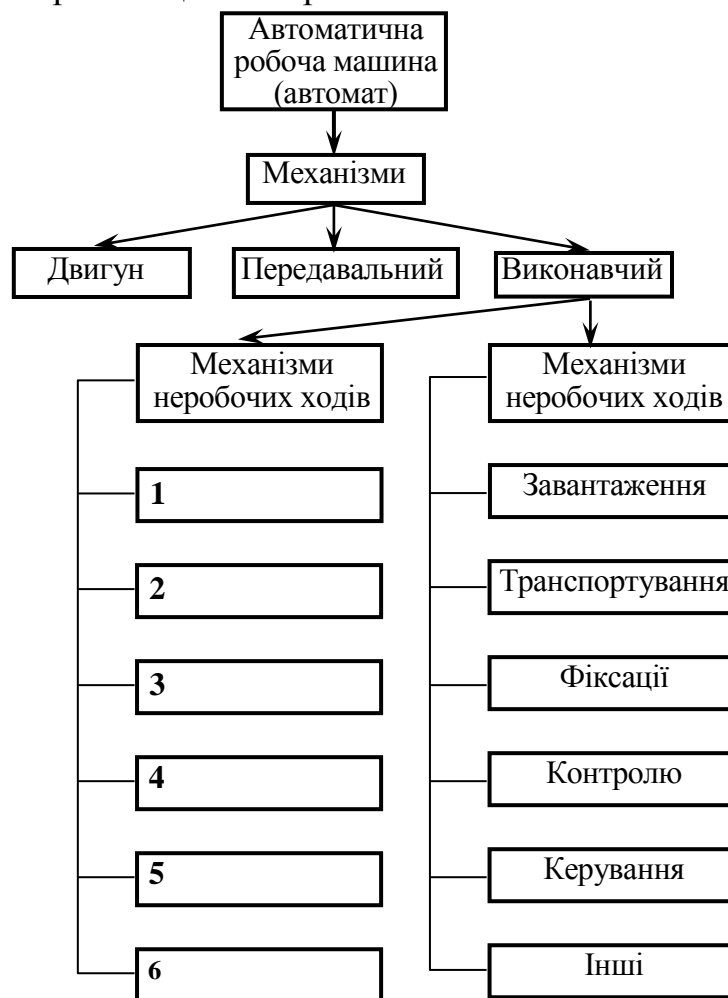


Рис. 1.2. Структура автоматичної робочої машини

**Технологічний цикл** роботи машини – це тривалість дій і операцій машини і персоналу, що періодично повторюється при виготовленні одиниці готової продукції. Упродовж технологічного циклу об’єкт

обробки знаходиться в машині з моменту його надходження у вигляді напівфабрикату до моменту виходу з машини у вигляді готової продукції.

**Робочий цикл** визначається періодом часу, після проходження якого машина може розпочати обробку наступного об'єкта, або період часу між двома суміжними моментами виходу з машини готових виробів. Робочий цикл можна зобразити у вигляді графіка (рис. 1.3).

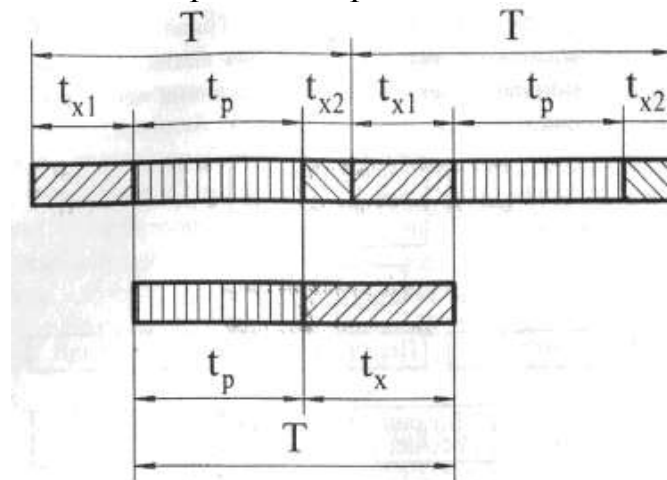
Тривалість робочого циклу:

$$T = t_{x1} + t_p + t_{x2} = t_p + t_x.$$

За час робочого циклу  $T$  машина видає один виріб або порцію, тобто кожний механізм за час  $T$  при обробці одного виробу або порції спрацьовує один раз. Графічно взаємна координація і послідовність виконання всіх елементів робочого циклу ілюструють циклограмою.

В однопозиційних машинах технологічний цикл збігається з робочим.

**Кінематичний цикл** машини являє собою сукупність всіх переміщень і простоїв виконавчих органів, по завершенні яких всі виконавчі органи повертаються у відповідне початкове положення. Визначається кінематичний цикл періодом часу між двома послідовними початковими положеннями робочих органів.



$t_{x1}, t_{x2}$  – тривалість неробочих ходів;  $t_p$  – тривалість робочого ходу;

$T$  – тривалість робочого циклу

Рис. 1.3. Складові робочого циклу машини

**Динамічний цикл** – це період часу до повторення динамічних навантажень в машині, що виникають переважно за рахунок інерційних сил. В робочих машинах динамічний цикл переважно збігається в часі з кінематичним.

**Енергетичний цикл** – це період часу до повторення закону зміни потужності, що споживається машиною. Енергетичний і динамічний цикли

необхідні при аналізі і синтезі механізмів приводу та проведенні розрахунків на міцність.

Основною й достатньою умовою для робочої машини є самостійне виконання робочих ходів, а значить наявність механізмів робочих ходів. Якщо ж машина, крім того, виконує самостійно і неробочі ходи, то вона є машиною автоматом.

Автомат – це машина, яка при виконанні ТП самостійно виконує всі робочі й неробочі ходи і вимагає лише контролю й наладки.

Отже конструктивною ознакою автомата є наявність повного комплексу механізмів робочих і неробочих ходів, які виконують всі рухи робочого циклу, і механізмів керування, які координують їх роботу.

Так наприклад, машина вакуумної обробки (відкачка машина) має такі механізми: 1 вакуумні насоси; 2 – механізми прогрівання приладу і знегажування; 3 – механізми відпалювання; 4 – механізми установки і орієнтації приладу в гнізді; 5 – механізми затиску; 6 – механізми повороту стола; 7 – механізми фіксації стола; 8 – механізми видалення залишків штенгеля; 9 – розподільчий вал; 10 – механізми контролю геометричності відкачного приладу.

Ступінь автоматизації машини можна підвищити впровадженням автоматичних пристроїв і механізмів для регулювання й стабілізації процесів обробки, контролю якості виробів, зміни й підналадки інструментів тощо. Якщо робота цих механізмів не пов'язана безпосередньо з робочим циклом, то їх називають позацикловими.

**Напівавтомат** – це машина, яка працює в автоматичному циклі, але для його поновлення потрібне втручання оператора.

Однією з основних і визначальних ознак сучасних автоматів і напівавтоматів є тип системи автоматичного керування, яка реалізує задану програму роботи, координує роботу всіх механізмів машини протягом робочого циклу і може виконувати багато додаткових функцій.

**Автоматична (поточна) лінія.** Автоматичною лінією називають автоматично діючу систему машин, розміщених в технологічній послідовності і об'єднаних спільними засобами транспортування, керування, нагромадження запасів, видалення відходів тощо.

### Лекція 1.3 (9) Структура автоматичної лінії, цеху. Класифікація машин за характером переміщення об'єкта обробки. Загальні етапи процесу проектування машини ПЛ. Спільність машин-автоматів і автоматичних ліній різного технологічного призначення

#### *Структура автоматичної лінії, цеху.*

На рис. 1.4 зображена структурна схема автоматичної лінії, з якої видно, що вона має спільність зі структурою автомата, тільки досконалішого за неї, з більш розвинутими виконавчими механізмами. Окремі автомати, встановлені в лінію, є конструктивними елементами, які виконують робочі ходи, необхідні для процесу обробки, контролю, складання, тобто виконують ті функції, що й механізми робочих ходів в окремих автоматах. Неробочі ходи в автоматичній лінії виконують механізми між верстатного транспортування, зміни орієнтацій, нагромадження запасів, видалення відходів тощо.



Рис. 1.4. Структура автоматичної лінії

**Система керування лінії** також виконує дещо складніші функції, ніж в окремому автоматі, – не тільки координацію роботи окремих машин, механізмів, пристроїв при виконанні робочого циклу лінії, але і взаємоблокування, відшукування несправностей, сигналізації тощо.

**Автоматичний цех.** Автоматичним цехом називають цех, в якому основні виробничі процеси виконуються на автоматичних лініях. Він є наступним, вищим ступенем розвитку робочої машини, в якій елементи, які виконують робочі ходи, є вже окремими автоматичними лініями.

Функції механізмів неробочих ходів виконують системи міжлінійного, міжверстатного і міждільничного транспорту заготовок, оброблених виробів і готових вузлів, системи автоматичного складування. Функції керування автоматичним цехом виконуються вже за допомогою автоматичних систем керування виробництвом на базі обчислювальної техніки. На рис. 1.5 зображена структурна схема автоматичного цеху.

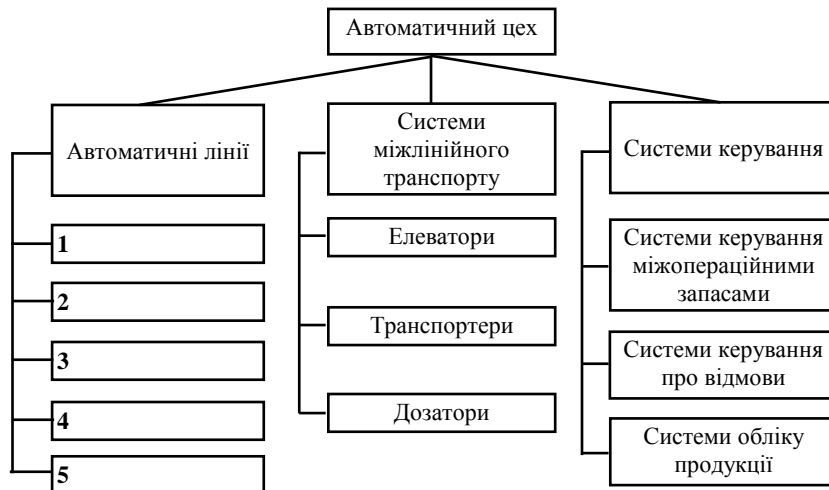


Рис. 1.5. Структура автоматичного цеху

Створення і впровадження автоматичних цехів є передумовою переходу до вищої форми робочої машини – автоматичного заводу з комплексною автоматизацією всіх виробничих процесів випуску найскладнішої продукції.

*Класифікація машин за характером переміщення об'єкта обробки.*

В процесі роботи машини спостерігаються два основних рухи:

- технологічний рух, що забезпечує процес обробки;
- транспортний рух, що забезпечує переміщення об'єкта на робочу позицію машини і видалення його з позиції після обробки.

В основу цієї класифікації, запропонованої Л. Н. Кошкіним, покладено характер співвідношення технологічного і транспортного рухів.

За цим критерієм всі машини розділені на чотири класи.

**До 1-го класу** відносяться машини, в яких позачергово здійснюються транспортний і технологічний рухи, тобто один рух переривається іншим (рис. 1.6, а). Це – машини дискретної дії. До них відносяться більшість існуючих верстатів, що випускають дискретну продукцію.

**Продуктивність** машин 1-го класу визначається тривалістю всього технологічного циклу, що містить у собі тривалість як технологічного, так

і транспортного рухів. Оскільки величини транспортного і технологічного переміщень безпосередньо визначаються розмірами заготовок об'єкта обробки і інструментів, то скорочення часу переміщень може бути досягнуто завдяки підвищенню відповідних швидкостей. Підвищення транспортної швидкості обмежується допустимими значеннями прискорень руху виконавчих органів машини, а підвищення технологічної швидкості – її допустимими значеннями, що визначаються характером конкретної технологічної операції. Це протиріччя і є основним гальмом у підвищенні продуктивності машин цього класу.

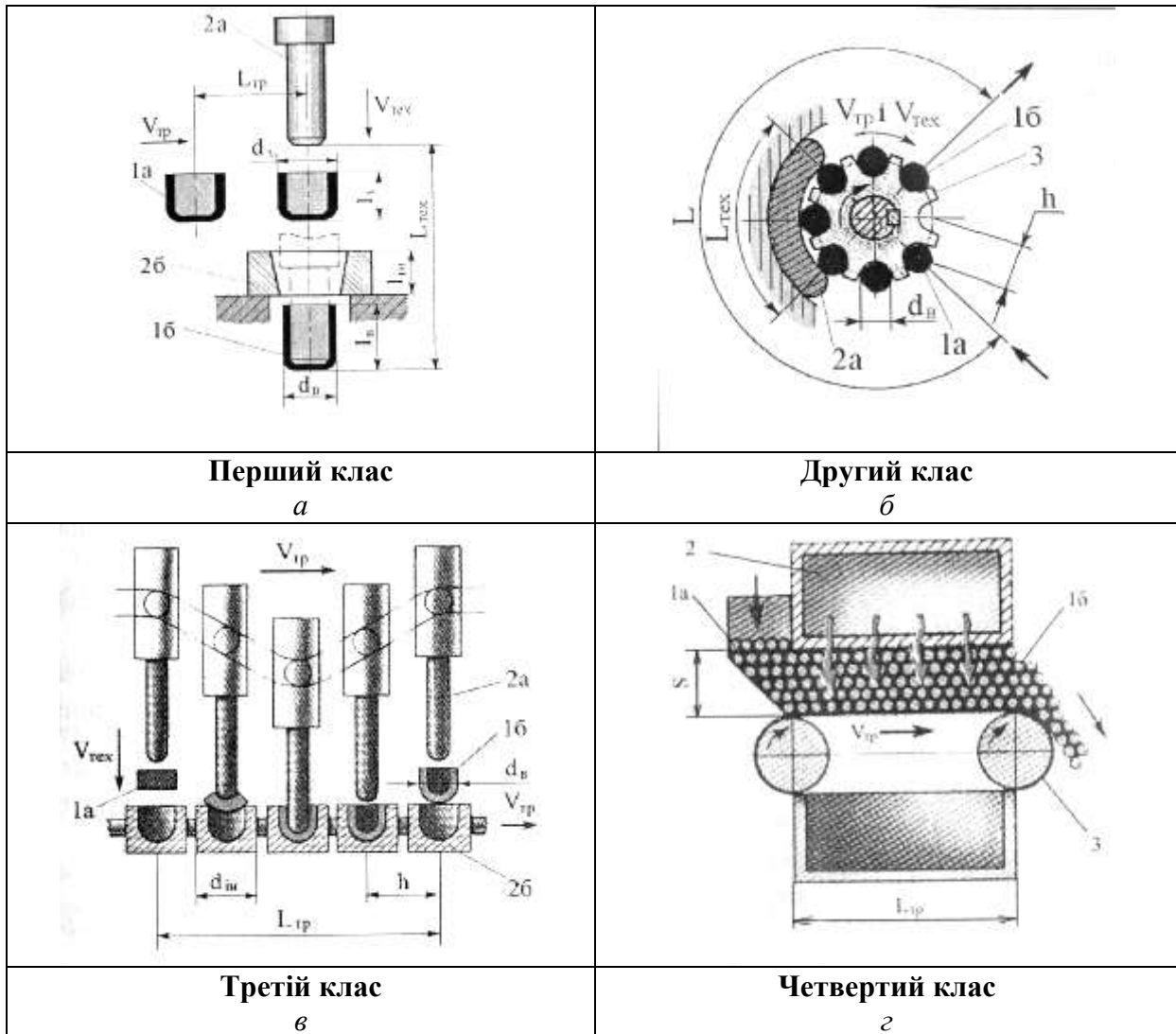
**Для машин 2-го класу** характерний збіг у часі транспортного і технологічного рухів (рис. 1.6, б), причому транспортний рух є безперервним, а технологічна і транспортна швидкості однакові за величиною. Прикладом є верстати без центрального шліфування та машини для накатування рифлення на монетах. Продуктивність машин другого класу визначається відношення транспортної швидкості до крокової відстані між об'єктами обробки. Крок обмежується розмірами об'єкта обробки і геометричними розмірами транспортного органа машини. Тому при створенні машин другого класу підвищення їх продуктивності вимагає підвищення транспортної швидкості. Оскільки транспортна швидкість дорівнює технологічній, то підвищення продуктивності обмежується допустимими значеннями технологічної швидкості.

**Машини 3-го класу** відрізняються від машин 2-го класу незалежністю між транспортним і технологічним рухами (рис. 1.6, в). В цих машинах обробка здійснюється в процесі безперервного транспортування об'єкта обробки разом з інструментом через робочу зону машини. До 3-го класу відносяться роторні та конвеєрно-роторні машини. Продуктивність цих машин, як і машин 2-го класу, визначається відношенням транспортної швидкості до крокової відстані між об'єктами обробки. Враховуючи незалежність між транспортним і технологічним рухами, підвищення їх продуктивності пов'язане тільки з підвищенням транспортної швидкості.

**В машинах 4-го класу** обробка здійснюється в процесі масового транспортування об'єктів обробки у довільному положенні через робочу зону машини (рис. 1.6, г). Поняття «обробляючий інструмент» замінюється поняттям «обробляюче середовище», яке здійснює технологічну дію на весь потік об'єктів, що проходять через робочу зону машини.

Підвищення продуктивності машин 4-го класу може бути здійснене як за рахунок підвищення транспортної швидкості так і за рахунок збільшення поперечного перетину потоку об'єктів обробки.

До цього класу машин відносяться шнекові та барабанні агрегати для термічної або хімічної обробки.



1а – заготовка; 1б – виріб; 2а і 2б – інструмент; 3 – транспортний орган машини;  $L_{пер}$  і  $L_{тех}$  – величина транспортного і технологічного переміщень;  $V_{пер}$  і  $V_{тех}$  – швидкості транспортного і технологічного рухів;  $h$  – крокова відстань між об'єктами обробки;  $d_з, l_з$  і  $d_в, l_в$  – розміри заготовки і виробу;  $d_{ін}, l_{ін}$  – розміри інструмента

Рис. 1.6. Класифікація машин за характером переміщення об'єкта обробки

Розроблений машинний ТП є основою для проектування робочої машини. В загальних рисах процес проектування машини можна розглядати в такому порядку:

- 1) Вивчення технологічного завдання на проведення проектування.
- 2) Вивчення і аналіз літературних джерел з тематики поставленого завдання.

- 3) Вибір методів обробки, інструмента, оснащення.
- 4) Розробка машинного ТП – визначення послідовності виконання технологічних операцій і переходів.
- 5) Визначення параметрів ТП – режимів обробки, зусиль і швидкостей, які повинні розвивати робочі органи.
- 6) Вибір виконавчих (робочих і допоміжних) органів машини і елементів їх приводу.
- 7) Вибір законів руху робочих органів.
- 8) Розробка циклової діаграми роботи машини.
- 9) Вибір приводу машини і передавальних механізмів.
- 10) Розробка принципів схем (структурної, кінематичної, пневматичної, вакуумної, електронної тощо).
- 11) Компонування механізмів і пристроїв машини, виконання конструкторських робіт, розробка технічної документації.

Незважаючи на те, що створення нової техніки є складним творчим процесом, наведений порядок проектування машини або ПЛ не може бути догматичним – ті чи інші завдання можуть розв'язуватися сумісно або випереджаючи одне одного.

*Спільність машин-автоматів і автоматичних ліній різного технологічного призначення.*

**Спільність машин-автоматів і автоматичних ліній** різного технологічного призначення полягає в тому, що для всіх галузей промисловості є одні і ті самі етапи автоматизації. Серед машин будь-якого призначення можна виділити напівавтомати і автомати універсальні і спеціальні; для автоматичних ліній характерним є жорсткий або гнучкий між агрегатний зв'язок, незалежно від їх призначення.

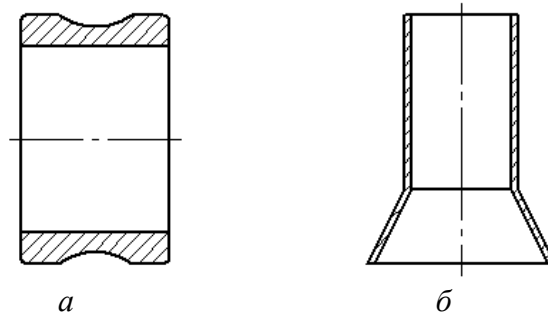
Розглядаючи процес автоматизації в його розвитку, можна побачити, що кожний новий ступінь пов'язаний з покращенням одних показників, передусім з підвищенням продуктивності і скорочення кількості обслуговуючого персоналу, і в той самий час з погіршенням інших – збільшенням собівартості обладнання, його конструктивної складності, складності в експлуатації, зниженням універсальності.

Ще більша спільність автоматів і ліній різного технологічного призначення виявляється при порівнянні автоматизованого обладнання різних галузей промисловості з однаковим ступенем автоматизації.

Розглянемо це на конкретному прикладі. Візьмемо дві деталі, типові для обробки на автоматах: кільце шарикопідшипника (рис. 1.7, а) – сталь ШХ-15 і тарілочку електричної лампи (рис. 1.7, б) – скло.

Для кільця підшипника при обробці з труби застосовується обточка, розточка, фасонування, зняття фасок, підрізки, відрізка. Для тарілочок, які

виготовляють із скляних трубок, нагрівають скло, розвальцьовують конус, відрізають тарілочку.



*a* – кільце шарикопідшипника; *б* – тарілочка електричної лампи

Рис. 1.7. Дві деталі

Відповідно нічого спільного не мають ні інструменти, що проводять обробку, ні режими обробки.

Припустимо, що для виготовлення обох деталей необхідно спроектувати багато позиційні автомати ПЛ. Намітимо технологічну послідовність обробки, принципові схеми автоматів, структуру основних механізмів, принцип дії, послідовність спрацьовування окремих елементів.

На рис. 1.8 показано технологічна схема обробки кільця шарикопідшипника з труби на шести позиційному автоматі. ТП розділений на три частини, які виконуються на 3-х робочих позиціях, включаючи відрізок. Обробка відбувається у два потоки, тобто комплекси робочих інструментів – дубльовані. Після закінчення обробки стіл повертається на 120°.

Як показано на рис. 1.11, технологічна схема виготовлення тарілочки побудована аналогічно, а саме: об'єм технологічної обробки (нагрівання, формування конуса, відрізка) розподілено на декілька частин, кожна з яких виконується на відповідній робочій позиції. Виріб закріплений в патроні, який обертається при періодичному повертанні стола, підводиться почергово до всіх інструментів і тим самим повністю обробляється, тобто набуває потрібної форми і розмірів.

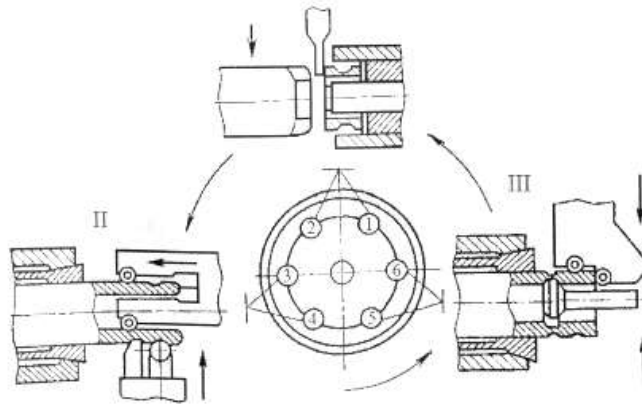


Рис. 1.8. Схема обробки кільця шарикопідшипника

Ще більше подібності виявляється при розробці комплекту механізмів і пристроїв, потрібних для виконання автоматичного циклу обох машин. Так, в токарному автоматі для виконання осьових і радіальних переміщень інструментів є повздовжній супорт, спільний для всіх позицій, і поперечні позиційні супорти, а також пристосування для спеціальних видів обробки (зняття внутрішніх фасок).

Для закріплення і обробки заготовок кілець є патрони на всіх шпинделях, а також механізми подачі нової порції матеріалу після відрізки й упор подачі матеріалу. Для періодичного повороту стола і його фіксації є механізм повороту і фіксації. Для забезпечення циклічності роботи всіх механізмів застосовується кулачно-розподільний вал. Після закінчення прутка-заготовки в автоматі передбачено механізм вимикання автомата.

Цей комплект механізмів для автомата є мінімально необхідним; відсутність хоча б одного з них перетворює машину в напівавтомат або в машину з ручним керуванням.

Структурна схема токарного автомата приведена на рис. 1.9.

Знаючи схему обробки, перелік і функції основних механізмів токарного автомата, можна скласти циклограму роботи автомата, тобто визначити послідовність спрацювання механізмів (рис. 1.10). Робочий цикл починається з повороту стола і його фіксації. Далі починається одночасна робота всіх позиційних механізмів. Кожний із супортів має дві швидкості руху – швидке підведення і відведення і робочу подачу. Одночасно на позиції завантаження відбувається подача нової порції матеріалу після відрізання; а) розтискання заготовки і одночасне підведення упору; б) хід вперед механізму подачі; в) затискання в новому положенні; г) відведення механізму подачі і упора.

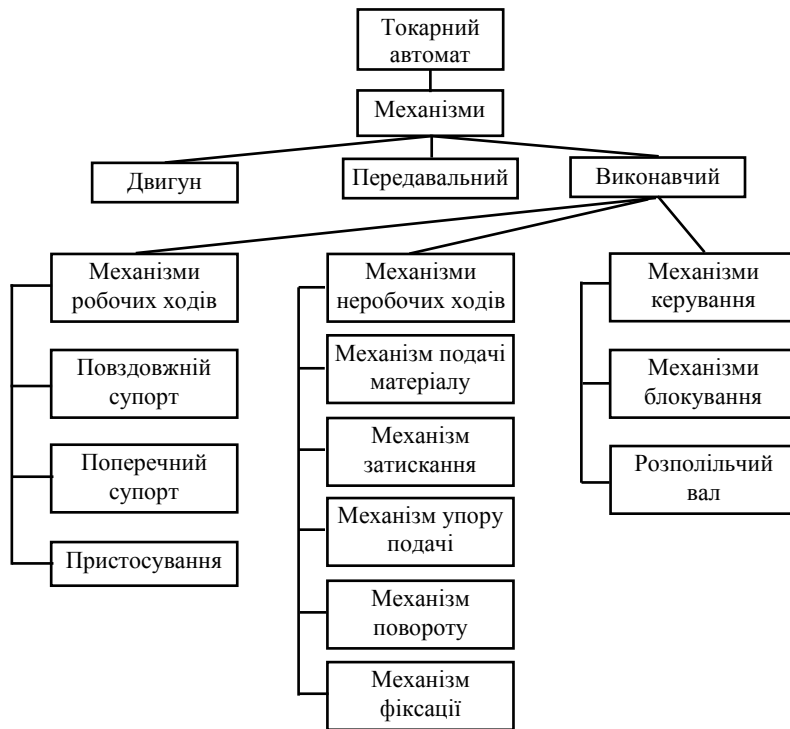


Рис. 1.9. Структура токарного автомата для обробки кільця шарикопідшипника

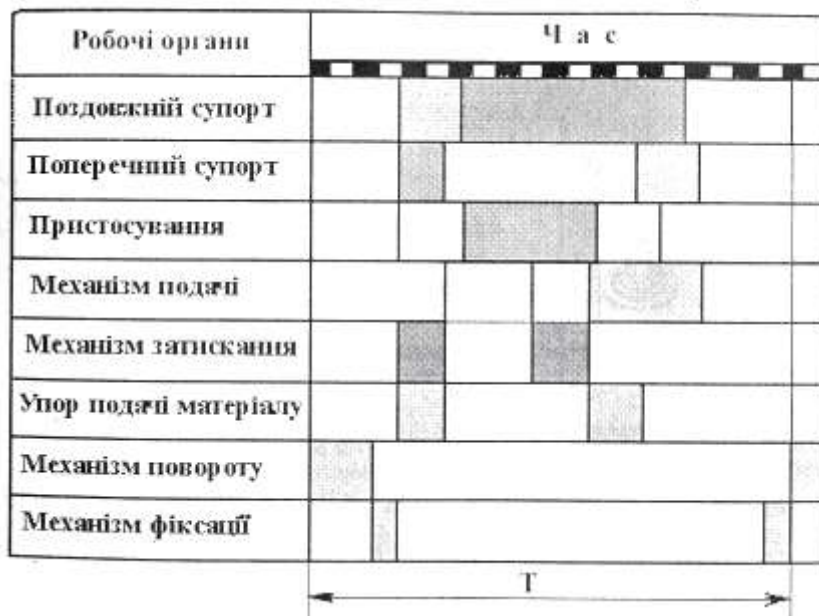


Рис. 1.10. Циклограма роботи токарного автомата

Після завершення всіх **робочих і неробочих операцій** здійснюється розфіксація стола і його поворот, після чого робочий цикл повторюється. Зображені на рис. 1.8, 1.9 і 1.10 схеми досить повно характеризують структуру і принцип дії токарного багатопшпіндельного автомата і мають достатню інформацію, необхідну для його конструкторської розробки.

В тій самій послідовності розглянемо будову автомата виготовлення тарілочки електричної лампи, ТП якого показано на рис. 1.11. Для його виконання автомат має комплект пальників для розігрівання скла, механізм розвальцьовування конуса і механізм відрізки. Крім того, в автоматі є механізм затискання і подачі скляної трубки до упора на відповідний розмір довжини тарілочки. Для повороту стола використовується кулачково-роликівий механізм, а для його фіксації під час вистою стола є механізм фіксації. Керування роботою всіх механізмів виконується за допомогою розподільчого вала. Для припинення роботи автомата після закінчення заготовки зі скла передбачено механізм вимикання автомата.

Структурна схема автомата для виготовлення тарілочки зображена на рис. 1.12., а його циклограма на рис. 1.13.

Порівняння схем (рис. 1.9 і 1.12) дає змогу зробити висновок про те, що автомати для виготовлення зовсім різних виробів різними методами мають майже однакову структуру, однаковий комплект механізмів, які відрізняються лише механізмами робочих ходів.

Розглянемо паралельно для обох автоматів способи можливої конструктивної реалізації окремих функціональних елементів, починаючи з двигуна.

В обох випадках застосовуються асинхронні двигуни змінного струму; методи вибору і розрахунок потужності двигуна в обох випадках ідентичні.

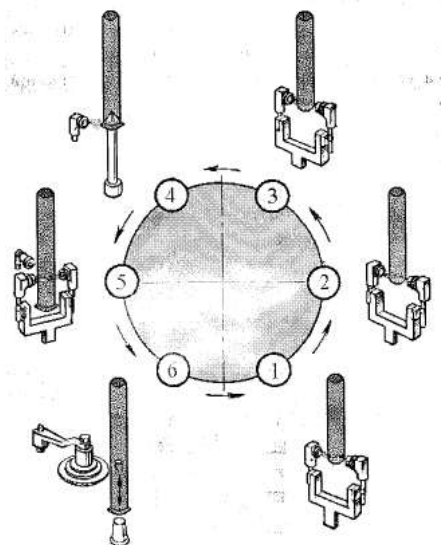


Рис. 1.11. Схема обробки тарілочки електричної лампи

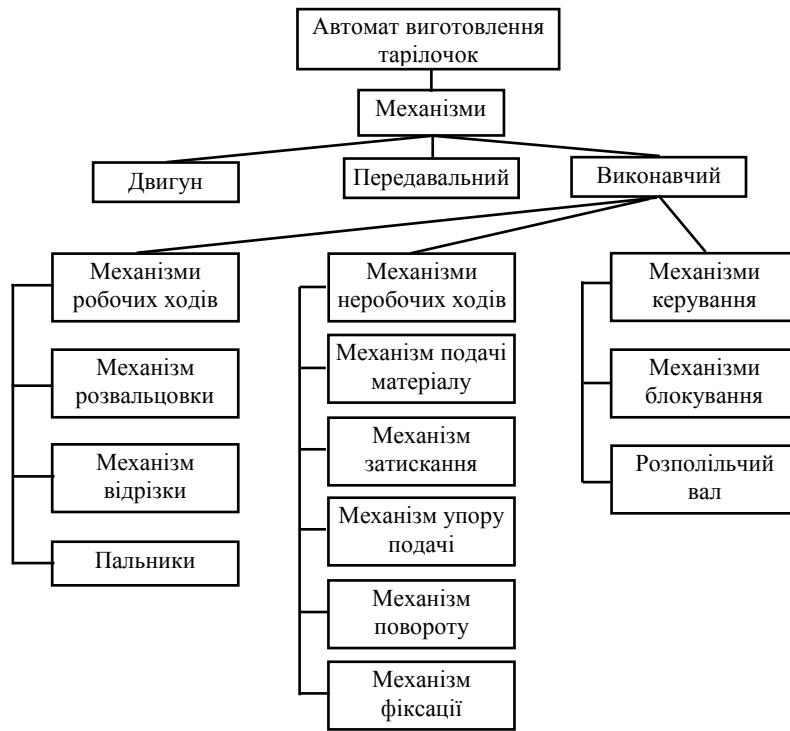


Рис. 1.12. Структура автомата виготовлення тарілочки електролампи

Передавальний механізм в обох автоматах включає пасові зубчасті або черв'ячні передачі.



Рис. 1.13. Циклограма роботи автомата виготовлення тарілочки електролампи

Методи розрахунку й формули налаштування їх одини – вони детально розглядаються в розділах кінематики машин.

**Цільові механізми** неробочих ходів обох автоматів, як правило, мають ідентичні технічні рішення. Так, подачу матеріалу (трубки) в обох випадках виконують, цанги, що подають, для затискання заготовок

застосовуються затискні механізми, для повороту стола – мальтійські механізми. Однаковими є і методи їх розрахунку і конструювання.

**Механізми керування** в обох автоматах мають також багато спільного – ідентичну конструкцію розподільчих валів СРВ, єдині методи їх розрахунку і проектування. В обох випадках цикл виконується за один оберт вала.

**Робочий цикл** в обох випадках виконується в однаковій послідовності, а тому майже ідентичні циклограми їх роботи; єдині методи їх розрахунку і побудови.

На підставі розглянутих прикладів можна зробити такі висновки:

1. Автомати і автоматичні лінії різного технологічного призначення, які застосовуються в різних галузях промисловості, мають єдину основу, яка виражається у спільності:

- а) принципу побудови структурних схем;
- б) функціонального призначення механізмів неробочих ходів і керування, їх номенклатури;
- в) конструктивних рішень більшості механізмів і пристроїв;
- г) структури керування робочим циклом.

2. Розрахунок і проектування автоматів і ліній різного технологічного призначення виконується єдиними методами, включаючи:

- а) розрахунок і вибір принципової схеми, принципу дії, кількості позицій автомата, напрямку геометричної осі тощо;
- б) розрахунок і вибір механізмів і пристроїв, крім механізмів робочих ходів;
- в) програмування робочого циклу й налаштування автоматів;
- г) конструктивна розробка всіх функціональних елементів з широким застосуванням досвіду автоматобудування інших галузей.

## ТЕМА 2 ПРОДУКТИВНІСТЬ РОБОЧИХ МАШИН ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ

**Лекція 2.1 (10) Основні положення теорії продуктивності машин і праці. Технологічна і циклова продуктивність. Фактична продуктивність. Коефіцієнт використання машини. Види позациклових втрат. Сумарні позациклові втрати. Власні та організаційно-технічні втрати. Баланс продуктивності машини**

*Основні положення теорії продуктивності машин і праці.*

Основним чинником підвищення продуктивності праці в будь-якій галузі виробництва є ріст продуктивності робочих машин, кількість і якість продукції. Тому одним із завдань теорії продуктивності є аналіз усіх чинників, які визначають продуктивність машин, виявлення найперспективніших напрямків підвищення цієї продуктивності при створенні нової техніки.

При цьому до уваги беруться такі положення:

- кожна робота виконується при затраті праці й часу;
- продуктивно витраченим вважається тільки той час, який потрібний на виконання процесу обробки. Інший час (наприклад, на виконання неробочих ходів, поза циклові втрати часу) вважається непродуктивно витраченим;
- машина вважається **ідеальною**, якщо відсутні втрати часу на неробочі ходи і простої;
- для виготовлення будь-яких виробів необхідні затрати минулої праці на створення засобів виробництва і підтримку їх роботоздатності і живої праці на безпосереднє обслуговування технологічного обладнання;
- закономірність розвитку техніки полягає в тому, що питома вага минулої праці безперервно зростає, а затрата живої праці знижується;
- машинний ТП при його розробці розчленовується на окремі складові елементи;
- при завершальній оцінці прогресивності нової техніки враховується чинник часу – темпи зростання продуктивності праці;
- машини автомати і автоматичні лінії різного технологічного призначення мають єдину основу автоматизації, яка полягає у спільності цільових механізмів і систем керування, у загальних закономірностях продуктивності, надійності економічної ефективності, у єдиних методах агрегування, оцінці прогресивності тощо.

*Технологічна і циклова продуктивність.*

**Продуктивністю** робочої машини називається кількість продукції, яка випускається за одиницю часу. Якщо за час робочого циклу випускається один виріб, то продуктивність становить

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_x}, \quad (2.1)$$

і ця продуктивність називається цикловою.

Тут  $T$  – тривалість робочого циклу;  $t_p$  – тривалість робочого ходу;  $t_x$  – тривалість неробочих ходів.

Якщо за час циклу  $T$  випускається  $p$  виробів, то **циклова продуктивність**

$$Q_{\text{ц}} = \frac{p}{T} = \frac{p}{t_p + t_x}. \quad (2.2)$$

Залежно від виду продукції одиницями виміру продуктивності можуть бути шт./хв; шт./год; кг/год; м/год тощо.

Якщо в машині відсутні неробочі ходи ( $t_x = 0$ ), то ТП проходить безперервно. Тоді

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p} = K. \quad (2.3)$$

Величину  $K$  називають **технологічною продуктивністю**. Вона обчислена без врахування витрат часу на неробочі ходи. В машинах дискретної дії за наявності неробочих ходів циклова продуктивність завжди менша за технологічну.

Підставивши  $t_p = \frac{1}{K}$  у рівняння (2.1), отримаємо

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{\frac{1}{K} + t_x} = K \frac{1}{1 + Kt_x} = K\eta, \quad (2.4)$$

де  $\eta = \frac{1}{1 + Kt_x}$  – **коефіцієнт продуктивності**.

Вираз (2.4) встановлює зв'язок **циклової та технологічної продуктивності**. Коефіцієнт продуктивності  $\eta$  характеризує ступінь неперервності ТП в машині чи лінії. Наприклад,  $\eta = 0,9$  означає, що можливості, закладені в ТП, використані на 90 %. Чим вищий ступінь неперервності ТП, вдаліше розв'язання завдання конструювання механізмів і пристроїв, тим вища конструктивна досконалість машини.

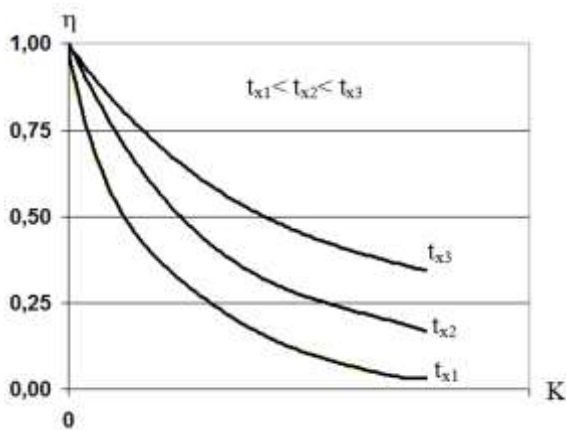


Рис. 2.1. Залежність коефіцієнта  $\eta$  продуктивності машини від її технологічної продуктивності  $K$  при різних значеннях тривалості неробочих ходів  $t_x$

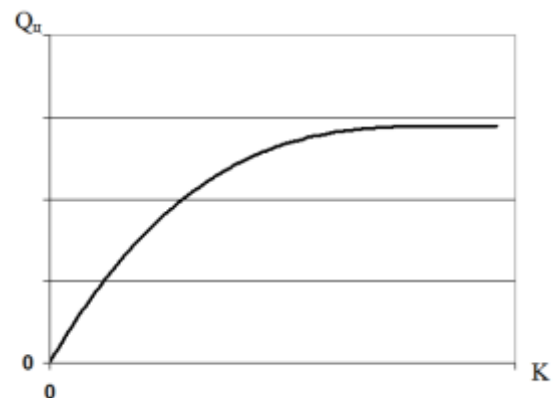


Рис. 2.2. Залежність циклової продуктивності  $Q_{ц}$  машини від її технологічної продуктивності  $K$

У такий спосіб технологічна і циклова продуктивності характеризують автомат або автоматичну лінію як з точки зору прогресивності ТП, покладеного в її основу, так і конструктивної досконалості механізмів і пристроїв, систем керування тощо.

Для виявлення **фізичного змісту коефіцієнта продуктивності** зробимо такі перетворення

$$\eta = \frac{1}{1 + Kt_x} = \frac{1}{1 + \frac{t_x}{t_p}} = \frac{t_p}{t_p + t_x} = \frac{t_p}{T}. \quad (2.5)$$

З рівняння (2.5) видно, що  $\eta$  залежить від  $K$  і  $t_x$ . Якщо прийняти  $t_x = \text{const}$ , то зі збільшенням  $K$  зменшується  $\eta$  (рис. 2.1). Отже, при підвищенні  $K$ , з одного боку зростає циклова продуктивність  $Q_{ц}$  з іншого,

– зменшується величина коефіцієнта продуктивності, що призводить до зниження темпу росту циклової продуктивності. Тому підвищення продуктивності можливе лише при врахуванні взаємозв'язку між цими двома чинниками.

Для виявлення залежності циклової продуктивності від  $K$  і  $t_x$  дослідимо рівняння циклової продуктивності. Знайдемо межу можливого значення максимальної продуктивності  $Q_{ц}$  при зміні  $t_x$  і  $K$

$$Q_{ц} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{K} + t_x} = \frac{1}{t_x}. \quad (2.6)$$

Отже, при збільшенні технологічної продуктивності і постійному значенні тривалості неробочих ходів є межа циклової продуктивності, яка дорівнює  $1/t_x$  (рис. 2.2).

За умови, коли  $K = \text{const}$ ,  $t_x \rightarrow 0$

$$Q_{ц} = \lim_{t_x \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{1}{K} + t_x} = K. \quad (2.7)$$

Отже, при  $t_x \rightarrow 0$  циклова продуктивність прямує до технологічної продуктивності.

При  $K \rightarrow \infty$  і  $t_x \rightarrow 0$  межі зростання циклової продуктивності немає. Це заслуговує на особливу увагу: при розробці машинної технології і обладнання для її виконання необхідно як інтенсифікувати режими обробки (збільшувати  $K$ ), так і, при можливості, максимально автоматизувати машину (зменшувати  $t_x$ ).

На рис. 2.3 показаний графік, який ілюструє процес розвитку робочих машин. Якщо значне збільшення технологічної продуктивності не дає істотного приросту циклової продуктивності, що обмежується величиною  $1/t_x$ , то це означає, що машина морально застаріла і необхідно застосовувати більш автоматизоване обладнання з меншим значенням тривалості неробочих ходів.

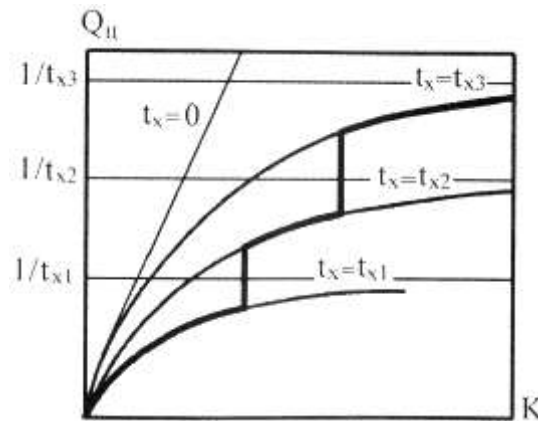


Рис. 2.3. Графік розвитку робочих машин ( $t_{x3} < t_{x2} < t_{x1}$ )

### Фактична продуктивність.

Якщо підрахувати продуктивність машини за тривалий проміжок часу, то вона виявиться нижчою від продуктивності, обчисленої за формулою (2.4). Причиною цього є те, що в межах планового фонду часу машина не працює безперервно, а має перерви в роботі – простої, протягом яких продукція не випускається. Тут мають місце різні чинники як технічного, так і організаційного характеру. Деякі з них є регламентовані (профілактика механізмів, передача зміни, прибирання тощо), інші – випадкові (усунення відмов механізмів, перебої в забезпеченні матеріалами, заготовками, інструментом, енергією тощо). Простоєм також вважається час, упродовж якого випускається бракована продукція.

Розглянемо графік роботи машини заданого часу  $\theta$ , який назвемо базою спостереження (рис. 2.4). В момент пуску ( $\theta = 0$ ) кількість випущеної продукції  $Z = 0$  – машина вважається справною. При постійності робочого циклу  $T$  кількість продукції, яка випускається, пропорційна часу роботи, і на графіку зображається кривою лінією. Якщо через деякий час  $\theta_{p1}$  настала відмова і машина зупинилась, продукція не випускається. На відновлення роботоздатності машини витрачено час  $\theta_{п1}$  (на графіку горизонтальна пряма – продукція за цей час не випускається).

Після усунення неполадок запускають машину, продукція випускається доти, поки не наступить чергова зупинка машини тривалістю  $\theta_{п2}$ . В результаті за період планового фонду часу  $\theta$  фактичний випуск становить  $Z_{\phi}$  штук.

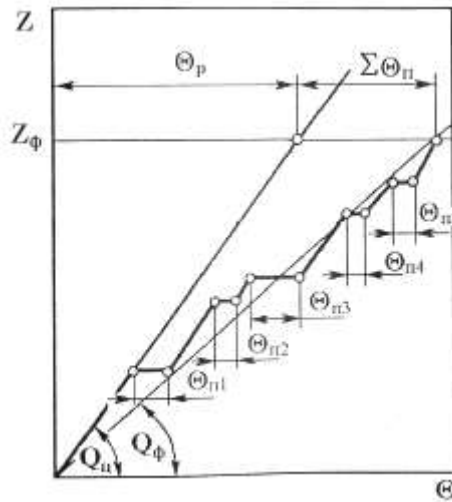


Рис. 2.4. Діаграма роботи і простоїв машини в умовах експлуатації

Очевидно, що чим частіші і триваліші простої, тим нижча фактична продуктивність машини.

Згідно з визначенням продуктивність машини – це кількість продукції, випущеної за одиницю часу.

Тому у цьому випадку маємо

$$Q_{\phi} = \frac{Z_{\phi}}{\theta}. \quad (2.8)$$

Беручи до уваги те, що  $\theta = \theta_p + \sum \theta_{п}$ , випуск продукції

$$Z_{\phi} = \frac{\theta_p}{T}, \quad (2.9)$$

де  $\theta_p$  – час роботи машини, у період якого випускалася придатна продукція;  $T$  – тривалість робочого циклу.

Виразимо рівняння (2.9) так

$$Q_{\phi} = \frac{1}{T} \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{п}} = Q_{ц} \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{п}} = Q_{ц} \eta_{в}. \quad (2.10)$$

$$\text{Величина } \eta_{в} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{п}}. \quad (2.10a)$$

називається **коефіцієнтом використання машини**.

Коефіцієнт використання машини характеризує якість роботи машини, рівень експлуатації, надійність в роботі, ступінь завантаження; він показує, яку частину фондового часу машина працює. Наприклад,  $\eta_b = 0,8$  означає, що машина 80 % фондового часу працює, а 20 % простоє через різні причини, тобто фактична продуктивність становить 80 % від циклової.

Поділивши у формулі (2.10а) чисельник і знаменник на  $\theta_p$ , отримаємо

$$\eta_b = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{\pi}}{\theta_p}}. \quad (2.11)$$

Враховуючи те, що  $\theta_p = ZT$ , формулу (2.11) можна записати так

$$\eta_b = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{\pi}}{\theta_p}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum t_{\pi}}{T}} = \frac{T}{T + \sum t_{\pi}}, \quad (2.12)$$

де  $\sum t_{\pi}$  – позациклові втрати (тобто простої, що припадають на одиницю продукції).

Підставивши значення  $\eta_b$  у формулу (2.10), отримаємо формулу фактичної продуктивності

$$Q_{\phi} = Q_{\pi} \eta_b = \frac{1}{T} \frac{T}{T + \sum t_{\pi}} = \frac{1}{t_p + t_x + \sum t_{\pi}}. \quad (2.13)$$

Для врахування впливу позациклових втрат на продуктивність машини, потрібно поділити сумарні простої за фондовий час на кількість виробів, оброблених за цей час, і отриману величину додати до фактичної тривалості робочого циклу.

В такий спосіб позациклові втрати, подібно до неробочих ходів, істотно впливають на продуктивність, однак природа їх появи інша – неробочі ходи регламентовані за величиною й повторюються в кожному циклі, а позациклові втрати є випадковими величинами.

*Види позациклових втрат.*

**Позациклові втрати** є важливим показником продуктивності. Якщо за довільний проміжок часу  $\theta$  випущено  $Z$  виробів, а сумарні позациклові простої становлять  $\sum \theta_n$ , то сумарні позациклові втрати на одиницю продукції будуть

$$\begin{aligned} \sum t_n &= \frac{\sum \theta_n}{Z} = \frac{1}{Z}(\theta_{n1} + \theta_{n2} + \dots + \theta_{ni}) = \frac{\theta_{n1}}{Z} + \frac{\theta_{n2}}{Z} + \dots + \frac{\theta_{ni}}{Z} = \\ &= t_{n1} + t_{n2} + \dots + t_{ni}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

де  $\theta_{n1}, \theta_{n2}, \dots, \theta_{ni}$  – тривалість простоїв різного виду (зміна і регулювання інструмента, усунення відмов механізмів, відсутність заготовок тощо);

$t_{ni} = \frac{\theta_{ni}}{Z}$  – позациклові втрати і-го виду.

Отже, **сумарні позациклові втрати** машини складаються з позациклових втрат різних видів, які об'єктивно характеризують її конструкцію, ТП, умови експлуатації тощо.

Стосовно продуктивності, то будь-який час, протягом якого не відбувається обробка, контроль, складання та інші операції ТП, вважається втраченим, що призводить до зниження фактичної продуктивності. Тому неробочі ходи й поза циклові втрати (простої, які припадають на одиницю продукції) однаковою мірою вважаються втратами.

Розглянемо класифікацію всіх видів втрат часу в процесі експлуатації (рис. 2.5).

**Втрати 1-го виду** – втрати через неробочі ходи;

- 1) подача матеріалу, транспортування виробу з однієї на іншу позицію;
- 2) фіксація, закріплення і розкріплення заготовки;
- 3) підведення і відведення інструмента і робочих органів;
- 4) комутація робочих органів і механізмів тощо, тобто всі несуміщені неробочі ходи робочого циклу, коли не відбувається обробка.

Неробочі ходи є цикловими втратами часу, тому що відбуваються під час функціонування машини. Всі інші види втрат – вважаються позацикловими, оскільки викликані простоями.

**Втрати 2-го виду** – через інструмент:

- 1) установка, заміна і регулювання інструмента;
- 2) очікування налагодника;
- 3) отримання інструмента;
- 4) ремонт та заточування інструмента тощо.

**Втрати 3-го виду** – через несправність обладнання:

- 1) регулювання й ремонт механізмів і пристроїв;
- 2) очікування майстра;
- 3) отримання запасних частин;
- 4) очікування на виготовлення деталей тощо.

**Втрати 4-го виду** – через організаційні причини, коли машина роботоздатна, але не працює через зовнішні причини:

- 1) періодична заправка матеріалу;
- 2) прибирання відходів;
- 3) отримання заготовок і здача готових деталей;
- 4) переговори по роботі;
- 5) здача зміни;
- 6) відсутність заготовок;
- 7) відсутність енергетичних джерел;
- 8) відсутність робітника тощо.

**Втрати 5-го виду** – через брак продукції, коли машина працює, видає продукцію, яка не відповідає технічним вимогам, тобто непридатна:

- 1) брак виробів при наладці машини;
- 2) брак виробів через порушення наладки;
- 3) брак виробу через брак матеріалу чи заготовки тощо.

**Втрати 6-го виду** – через причини, викликані переходом на випуск іншого виду продукції (коли машина робото здатна і за технічними даними може видавати продукцію іншого виду):

- 1) переналадка механізмів та пристроїв;
- 2) заміна технологічного оснащення;
- 3) настроювання кінематики;
- 4) заміна програм, пристосувань тощо.

Для зручності аналізу позациклові втрати доцільно розділити на **дві категорії**:

- **власні втрати**, викликані причинами прямо чи непрямо пов'язаними з конструкцією і режимом роботи машини;
- **організаційно-технічні втрати**, викликані зовнішніми організаційно-технічними причинами.

До першої категорії, наприклад, можна віднести втрати через інструмент, основні механізми, виготовлення бракованої продукції тощо; до другої категорії – відсутність заготовок, несвоєчасний вихід на роботу, брак на попередніх операціях тощо.

Згідно з визначенням коефіцієнт використання робочої машини

$$\eta_B = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{вл} + \sum \theta_{от}}, \quad (2.15)$$

де  $\sum \theta_{вл}$  – власні простої машини за інтервал часу  $\theta$ ;

$\sum \theta_{от}$  – організаційно-технічні простої за цей самий проміжок часу.

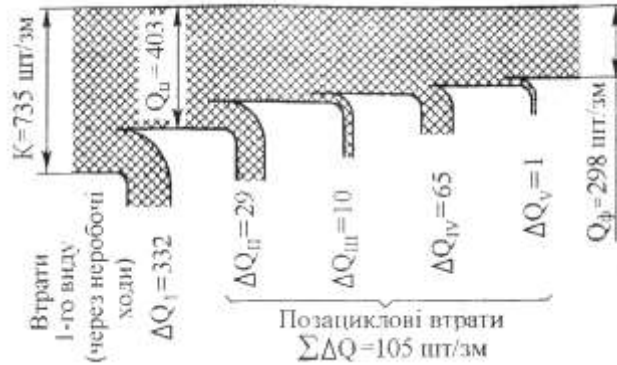


Рис. 2.5. Приклад балансу продуктивності машини

Помноживши чисельник і знаменник виразу (2.15) на величину  $\theta_p + \sum \theta_{вл}$ , отримаємо

$$\eta_B = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{вл}} \frac{\theta_p + \sum \theta_{вл}}{\theta_p + \sum \theta_{вл} + \sum \theta_{от}}. \quad (2.16)$$

Уявімо, що  $\eta_B = \eta_{тех} \eta_з$ , де

$$\eta_{тех} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_{вл}} \quad (2.16a)$$

називається **коефіцієнтом технічного використання**; він визначається з врахуванням тільки власних втрат, його значення показує, яку частину часу працює машина за умови забезпечення усім необхідним. Так, величина  $\eta_{тех} = 0,85$  означає (коли машина повністю забезпечена заготовками, інструментом, обслугою), що 85 % часу машина працює, а 15 % часу простоює через зміну і регулювання інструмента, ремонт і регулювання механізмів тощо. В такий спосіб коефіцієнт технічного використання характеризує насамперед довговічність, надійність механізмів, стабільність технологічного процесу тощо.

Параметр

$$\eta_3 = \frac{\theta_p + \sum \theta_{вл}}{\theta_p + \sum \theta_{вл} + \sum \theta_{от}} \quad (2.17)$$

називається **коефіцієнтом завантаження**. Він визначає з урахуванням як власних, так організаційно-технічних втрат. Його значення показує, яку частину загального фондового часу машина працює, ремонтується, налагоджується, а яку частину простоює через зовнішні причини. Якщо  $\eta_3=0,8$ , то це означає, що 80 % загального фонду часу займає робота і простої машини для усунення неполадок, а 20 % часу, будучи справною, машина простоює через організаційно-технічні причини. Тобто можливості випуску продукції при цих режимах роботи використовуються тільки на 80 %, що визначається рівнем завантаження у цих умовах роботи.

Всі види продуктивності – технологічна, циклова і фактична – можуть розглядатися у 3-х формах, а саме необхідна, очікувана і дійсна.

**Необхідна продуктивність** визначається, виходячи з виробничої програми підприємства, змінності роботи, економічної доцільності випуску продукції.

**Очікувана продуктивність** – це передбачуваний рівень продуктивності машини на стадії проектування. Вона прогнозується з урахуванням запропонованої тривалості робочого циклу, очікуваної надійності тощо. Очікувана продуктивність з врахуванням тільки власних простоїв часто називають **проектною** або **технічною** продуктивністю.

**Дійсна продуктивність** – це продуктивність діючої машини. Реальний рівень технологічної, циклової, і фактичної продуктивності характеризує ступінь реалізації задумів проєктантів і може значно відрізнятись від проєктних значень, а також може змінюватись в часі.

## Лекція 2.2 (11) **Методика розрахунку і аналізу продуктивності робочих машин в умовах експлуатації. Затрати планового фонду часу машини. Приклади розрахунку основних характеристик роботоздатності машин ПЛ**

### *Методика визначення продуктивності робочих машин.*

Дослідження й розрахунок **продуктивності робочих машин** в умовах експлуатації має два завдання:

- 1) Виявити резерви підвищення продуктивності в конкретних умовах виробництва.
- 2) Визначити вхідні параметри для проектування нових машин або ліній цього типу шляхом узагальнення досвіду експлуатації

діючих, порівняльного аналізу роботоздатності однотипних механізмів і пристроїв.

У першому випадку необхідно враховувати всі види втрат; власні і організаційно-технічні, тобто аналізувати величини  $Q$ ,  $\eta_v$ ,  $\eta_z$  тощо.

У другому випадку, коли аналізуються і порівнюються конструктивні і структурні варіанти машин, потрібно враховувати тільки циклові і власні позациклові втрати, аналізувати надійність і довговічність машин.

Оскільки величини  $Q$ ,  $\sum t_{\text{п}}$ ,  $\eta_v$ ,  $\eta_{\text{тех}}$ ,  $\eta_z$  та інші показники за своєю природою є випадковими, то визначення їх достовірних числових значень можна зробити тільки шляхом тривалих спостережень і замірів з їх відповідною математичною обробкою.

Перед тим, як приступити до досліджень, необхідно детально вивчити ТП обробки (маршрут, режими, точність та інші вимоги до якості продукції, яка випускається на машині), конструкцію машини і механізмів, організацію роботи на робочому місці тощо.

На **1-у етапі** проводять хронометраж роботи машини – фіксують всі затрати фонду часу: продуктивні – роботу і непродуктивні – простої технічно-організаційного характеру, тривалість і методи усунення несправностей, а також кількість виробів, випущених за час спостережень і тривалість циклу. Спостереження проводять протягом тривалого часу (10–20 змін і більше). У протоколах спостережень зазначають час і причину кожного простою, методи усунення несправностей тощо, тобто в протоколи заносять всю інформацію, яка характеризує роботоздатність машини за період досліджень.

Фактичні спостереження за роботою машини дають значний обсяг інформації, обробка якої дає змогу зробити висновки про роботоздатність, рівень системи експлуатації, резерв підвищення продуктивності тощо. Обробка інформації дає можливість, крім того, визначити баланс затрат планового фонду часу роботи, який дає певне уявлення про роботоздатність машини.

Для складання **балансу затрат фонду часу** всі простої групують за видами й функціональними ознаками і дані з протоколу спостережень зводять в одну таблицю (табл. 2.1).

Табл. 2.1. Затрати планового фонду часу

Елементи планового фонду часу		Питомі затрати часу, в %		
Через інструмент	Планово запобіжна система	5,5		
	Заміна інструмента	1,0		
	Регулювання інструмента	0,5		
	Разом $\theta_{\text{пII}}$		7,0	
Через основні механізми	Механічні пристрої	0,9		
	Гідравлічні пристрої	0,8		
	Електричні пристрої	1,0		
	Разом $\theta_{\text{пIII}}$		2,7	
Через організаційні причини	Простої попередньої лінії			3,0
	Відсутність заготовок			12,0
	Несвоєчасний вихід робітника			1,0
	Разом $\theta_{\text{пIV}}$			16,0
Через брак	Брак попередньої операції			0,1
	Брак при обробці на машині		0,2	
	Разом $\theta_{\text{пV}}$			0,3
Разом власних простоїв		$\sum \theta_{\text{в}}$	9,9	
Разом організаційно-технічних простоїв				16,1
Загальний час простоїв		$\sum \theta_{\text{п}}$		26,0
Робота		$\theta_{\text{р}}$		74,0
Час спостережень		$\theta$		100,0

Розрахунок основних характеристик роботоздатності і побудова балансу продуктивності.

До основних показників, які характеризують **роботоздатність робочої машини** чи лінії, відносяться:

– коефіцієнт використання  $\eta_{\text{в}} = \frac{\theta_{\text{р}}}{\theta} = \frac{\theta_{\text{р}}}{\theta_{\text{р}} + \sum \theta_{\text{п}}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{\text{п}}}{\theta_{\text{р}}}}$ ;

– коефіцієнт технічного використання

$$\eta_{\text{тех}} = \frac{\theta_{\text{р}}}{\theta_{\text{р}} + \sum \theta_{\text{в}}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{\text{в}}}{\theta_{\text{р}}}};$$

– коефіцієнт завантаження  $\eta_{\text{з}} = \frac{\eta_{\text{в}}}{\eta_{\text{тех}}}$ ;

- позациклові втрати на одиницю продукції  $\sum t_{\text{п}} = \frac{\sum \theta_{\text{п}}}{Z} = \frac{\sum \theta_{\text{п}}}{\theta_{\text{р}}} T$ .

Тут прийняті такі позначення:

$\theta$  – час спостережень;

$\theta_{\text{р}}$  – час роботи;

$\sum \theta_{\text{п}}$  – загальний час простоїв;

$\sum \theta_{\text{в}}$  – час власних простоїв.

Всі ці величини беруться з таблиці балансу фонду часу, де вони згруповані за функціональними ознаками.

Тривалість робочого циклу  $T$ , робочого  $t_{\text{р}}$  і неробочого  $t_{\text{х}}$  беруться з циклограми роботи машини або визначають замірами га діючій машині.

Для визначення **резервів росту продуктивності** необхідно побудувати баланс продуктивності, який наочно показує, як розподіляються всі види циклових і позациклових втрат і як вони впливають на фактичну продуктивність машини.

Розрахунок **втрат продуктивності** і побудова діаграми балансу продуктивності виконується в такій послідовності:

- підраховують **технологічну продуктивність**  $K = \frac{1}{t_{\text{р}}}$ ;
- визначають **циклову продуктивність**  $Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}}}$ ;
- визначають **втрати продуктивності** через наявність неробочих ходів

$$\Delta Q_1 = K - Q_{\text{ц}}; \quad (2.18)$$

- визначають **фактичну продуктивність**

$$Q_{\text{ф}} = \frac{1}{T} \eta_{\text{в}} = Q_{\text{ц}} \eta_{\text{в}}; \quad (2.19)$$

- визначають **сумарні втрати продуктивності** через наявність поза циклових втрат різних видів

$$\sum \Delta Q = Q_{\text{ц}} - Q_{\text{ф}}; \quad (2.20)$$

– розподіляють втрати продуктивності пропорційно до втрат всіх видів позациклових втрат, тобто пропорційно величинам:  $\theta_{пII}; \theta_{пIII}; \theta_{пIV}; \theta_{пV}$ .

Наприклад, для визначення втрат продуктивності через наявність позациклових втрат і-го виду

$$\Delta Q_i = \sum \Delta Q \frac{\theta_{mi}}{\sum \theta_{mi}}. \quad (2.21)$$

За отриманими розрахунками будують діаграму балансу продуктивності, відкладаючи всі ці дані в масштабі, показаному на графіку (рис. 2.5).

Аналіз балансу продуктивності наочно виявляє причини, чому замість технологічної продуктивності  $K$ , отримуємо значно меншу  $Q_\phi$ , а також, де знадяться максимальні резерви підвищення продуктивності.

*Приклади розрахунку основних характеристик роботоздатності.*

Для прикладу розглянемо розрахунок основних характеристик роботоздатності згідно з даними спостережень (табл. 2.1). (Для спрощення розрахунків, замість абсолютних значень витрат часу, в табл. 2.1 занесені їх відносні значення).

**Коефіцієнт використання**

$$\eta_B = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{п}}{\theta_p}} = \frac{1}{1 + \frac{26}{74}} = 0,74.$$

Коефіцієнт використання можна визначити й іншим способом, а саме

$$\eta_B = \frac{\theta_B}{\theta} = \frac{74}{100} = 0,74.$$

**Коефіцієнт технічного використання з врахуванням тільки власних втрат**

$$\eta_{тех} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_B}{\theta_p}} = \frac{1}{1 + \frac{9,9}{74}} = 0,88,$$

де  $\sum \theta_b = 7,0 + 2,7 + 0,2 = 9,9$ .

**Коефіцієнт завантаження**

$$\eta_3 = \frac{\eta_b}{\eta_{\text{тех}}} = \frac{0,74}{0,88} = 0,84.$$

**Позациклові втрати часу на одиницю продукції**

$$\sum t_n = \frac{\sum \theta_n}{Z} = \frac{\sum \theta_n}{\theta_p} T.$$

Величина  $T$  – тривалість робочого циклу береться з протоколу спостережень або із циклової діаграми роботи машини.

Припустимо, що  $T = 71 \text{ с} = 1,18 \text{ хв}$ .

$$\text{Тоді } \sum t_n = \frac{26}{74} 1,18 = 0,41 \text{ хв/шт.}$$

Аналогічно можна підрахувати втрати всіх видів з їх диференціацією по конкретних механізмах та інструментах. Наприклад, по інструменту

$$t_{\text{III}} = \frac{\theta_{\text{III}}}{\theta_p} = \frac{7,0}{74} 1,18 = 0,11 \text{ хв/шт.}$$

**Фактична продуктивність**  $Q_\phi = \frac{1}{T} \eta_b = \frac{1}{1,18} 0,74 = 0,62 \text{ шт./хв}$ .

Побудову **балансу продуктивності** виконується з метою виявлення резервів підвищення продуктивності.

Із **циклограми роботи машини** визначають тривалість  $T$  робочого циклу, тривалість  $t_p$  робочого ходу.

Припустимо, що у цьому випадку  $T = 1,18 \text{ хв}$ ,  $t_p = 39 \text{ с}$ . Тоді

$$K = \frac{1}{t_p} 60 = \frac{60}{39} = 1,53 \text{ шт./хв.} = 735 \text{ шт./зм.};$$

$$Q_c = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,18} = 0,84 \text{ шт./хв.} = 403 \text{ шт./зм.};$$

$$Q_{\phi} = \frac{1}{T} \eta_{\text{в}} = Q_{\text{ц}} \eta_{\text{в}} = 403 \cdot 0,74 = 0,62 \text{ шт./хв} = 298 \text{ шт./зм.}$$

Сумарні позациклові втрати продуктивності

$$\sum \Delta Q = Q_{\text{ц}} - Q_{\phi} = 0,84 - 0,62 = 0,22 \text{ шт./хв} = 105 \text{ шт./зм.}$$

Втрати через неробочі ходи

$$\Delta Q_{\text{I}} = K - Q_{\text{ц}} = 735 - 403 = 332 \text{ шт./зм.}$$

Сумарну величину позациклових втрат продуктивності розподіляємо пропорційно за видами втрат, тобто пропорційно до відношення 7,0 : 2,7 : 16,0 : 0,3.

$$\begin{aligned} \text{Тоді } \Delta Q_{\text{II}} &= \sum Q \frac{\theta_{\text{III}}}{\theta_{\text{II}}} = 0,22 \frac{7}{26} = 0,06 \text{ шт./хв.} = 3,6 \text{ шт./год} = \\ &= 29 \text{ шт./зм.} \end{aligned}$$

Аналогічно:

$$\Delta Q_{\text{III}} = 0,02 \text{ шт./хв.} = 1,2 \text{ шт./год} = 10 \text{ шт./зм.};$$

$$\Delta Q_{\text{IV}} = 0,14 \text{ шт./хв.} = 8,4 \text{ шт./год} = 65 \text{ шт./зм.};$$

$$\Delta Q_{\text{V}} = 0,002 \text{ шт./хв.} = 0,12 \text{ шт./год} = 1 \text{ шт./зм.}$$

Перевіряємо

$$\begin{aligned} \sum \Delta Q &= \Delta Q_{\text{II}} + \Delta Q_{\text{III}} + \Delta Q_{\text{IV}} + \Delta Q_{\text{V}} = 29 + 10 + 65 + 1 = \\ &= 105 \text{ шт./зм.} \end{aligned}$$

Складаємо баланс продуктивності машини (рис. 2.5), який показує, що якби машина не мала неробочих ходів і працювала без простоїв, то вона забезпечувала б продуктивність  $K = 735$  шт./зм. За наявності неробочих ходів циклова продуктивність становить  $Q_{\text{ц}} = 403$  шт./зм. Втрати продуктивності через неробочі ходи  $\Delta Q_{\text{I}} = 332$  шт./зм., що перевищують продуктивність машини ( $Q_{\phi} = 298$  шт./зм.). Усунення втрат через організаційні причини дало б змогу додатково отримати 65 виробів за зміну, що визначається так

$$Q_{\text{додIV}} = \sum \Delta Q - (\Delta Q_{\text{II}} + \Delta Q_{\text{IV}} + \Delta Q_{\text{V}}) = 105 - (29 + 10 + 1) = 65 \text{ шт./зм.} \quad (2.21)$$

Практично в умовах експлуатації жоден з видів втрат повністю усунути неможливо, а тому реальні резерви росту продуктивності залежать від того, чи можна скоротити ті чи інші втрати. Тоді постає практичне завдання визначення росту продуктивності при скороченні певних втрат.

Продуктивність машини до скорочення втрат будь-якого виду визначається формулою

$$Q_o = \frac{1}{T + \sum t_n} \quad (2.22)$$

Припустимо, що після проведення певних технічних вдосконалень втрати і-го виду скоротились в  $\beta$  разів, при цьому продуктивність стала дорівнювати

$$Q = \frac{1}{T + \sum_{i=1}^{n-1} t_{ni} + \frac{t_{nn}}{\beta}} \quad (2.23)$$

де  $\sum_{i=1}^{n-1} t_{ni}$  – сума всіх втрат, що залишилися незмінними;  $t_{nn}$  – втрати n-го виду;  $\beta$  – коефіцієнт скорочення втрат і-го виду.

Додавши і віднявши в знаменнику  $t_{nn}$ , перетворимо формулу (2.23)

$$Q = \frac{1}{T + \sum_{i=1}^{n-1} t_{ni} + \frac{t_{nn}}{\beta}} = \frac{1}{T + \sum_{i=1}^n t_{ni} - t_{nn} \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} \quad (2.24)$$

Враховуючи те, що

$$T - \sum_{i=1}^{n-1} t_{ni} = \frac{1}{Q_o} \quad (2.25)$$

отримаємо

$$Q = \frac{Q_o}{1 - Q_o t_{пн} \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}. \quad (2.26)$$

### Ріст продуктивності

$$\varphi = \frac{Q}{Q_o} = \frac{1}{1 - Q_o t_{пн} \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}. \quad (2.27)$$

За формулою (2.27) можна визначити **ріст продуктивності** машини при скорочення втрат n-го виду в  $\beta$  разів.

Для прикладу визначимо ріст продуктивності машини за втрат через інструмент (див. табл. 2.1)

$$t_{п2} = \frac{\theta_{п2}}{\theta_p} T,$$

згідно табл. 2.1 будуть:

$$\theta_{п2} = 7,0 \%, \theta_p = 74 \%, T = 1,18 \text{ хв};$$

$$t_{п2} = \frac{7,0}{74} 1,18 = 0,11 \text{ шт./хв.}$$

Нехай вихідна продуктивність  $Q_{\phi} = 0,62 \text{ шт./хв}$ ,  $\beta = 2$ .

Тоді згідно з формулою (2.27) ріст продуктивності

$$\varphi = \frac{1}{1 - 0,62 \cdot 0,11(1 - 0,5)} = 1,035.$$

Отже, продуктивність можна підвищити на 3,5 %.

Найефективніше можна підвищити продуктивність машини шляхом проведення комплексних заходів, тобто при одночасному скороченні всіх видів позациклових втрат.

*Розрахунки продуктивності машин.*

**Циклова продуктивність** (2.2) однопозиційних машин.

– при послідовному виконанні технологічних операцій (без переміщення виробів)

$$Q_{\text{ц}} = \frac{p}{T} = \frac{p}{\sum t_p + t_x} = \frac{p}{t_{\text{уст}} + \sum t_p + t_{\text{зн}}}, \quad (2.28)$$

де  $T$  – тривалість робочого циклу;  $t_p$  – тривалість робочого ходу – сумарний час виконання всіх операцій;  $t_x = t_{\text{уст}} + t_{\text{зн}}$  – тривалість неробочих ходів;  $t_{\text{уст}}$  – час установки заготовок на робочу позицію;  $t_{\text{зн}}$  – час знімання виробу з робочої позиції;  $p$  – кількість виробів, що обробляються одночасно;

– при послідовному

$$Q_{\text{ц}} = \frac{p}{t_{\text{уст}} + t_{p,\text{max}} + t_{\text{зн}}}, \quad (2.29)$$

де  $t_{p,\text{max}}$  – час виконання найбільш тривалої операції;

– при частковому суміщенні технологічних операцій

$$Q_{\text{ц}} = \frac{p}{t_{\text{уст}} + \sum t_p - \sum \Delta t + t_{\text{зн}}}, \quad (2.30)$$

де  $\sum \Delta t$  – сумарний час суміщених операцій.

**Циклова продуктивність** багатопозиційних машин з періодичним переміщенням виробів

$$Q_{\text{ц}} = \frac{p}{t_{\text{ст}} + t_{\text{пер}}}, \quad (2.31)$$

де  $t_{\text{ст}}$  – час стоянки транспортера, який дорівнює часу виконання найбільш тривалої операції, тобто  $t_{\text{ст}} = t_{p,\text{max}}$ ;  $t_{\text{пер}}$  – час переміщення транспортера між позиціями.

**Циклова продуктивність** багатопозиційних машин з безперервним переміщенням виробів

$$Q_{ц} = \frac{p v}{L}, \quad (2.32)$$

де  $v$  – швидкість руху транспортера;  $L$  – відстань між виробами, розміщеними на транспортері, для роторних і конвеєрно-роторних машин – крок ротора.

**Продуктивність** будь-якої машини можна визначити також виразом

$$Q_{ц} = \frac{E}{T_{Т}}, \quad (2.33)$$

де  $E$  – продуктова ємність – кількість оброблюваного матеріалу або виробів, що знаходяться у машині;  $T_{Т}$  – тривалість технологічного циклу.

*Приклади розрахунку продуктивності машин.*

**Приклад 1.** Визначити фактичну продуктивність трипозиційного карусельного автомата для свердлення отворів у деталях двошпindelною свердлильною головкою при таких вхідних даних:

- $t_{уст} = 1$  с – час для установки заготовок на робочу позицію;
- $t_{р} = 3$  с – тривалість технологічної операції (свердління);
- $t_{зн} = 0,7$  с – час зняття деталей з робочої позиції;
- $t_{пер} = 0,5$  с – час повороту каруселі;
- $p = 2$  – кількість деталей, що обробляється одночасно;
- $\eta_{в} = 0,8$  – коефіцієнт використання.

Фактична продуктивність багатопозиційної машини з періодичним переміщенням виробів

$$Q_{ф} = Q_{ц} \eta_{в} = \frac{p}{t_{ст} + t_{пер}} \eta_{в} = \frac{2}{3 + 0,5} 0,8 = 0,457 \text{ шт./с} = 1646 \text{ шт./год},$$

де  $t_{ст}$  – час стоянки транспортера,  $t_{ст} = t_{р.макс} = t_{р}$ ;  $t_{пер}$  – час повороту каруселі.

При цьому  $t_{уст}$  і  $t_{зн}$  до уваги не бралися.

**Приклад 2.** Визначити циклову продуктивність барабанної машини для миття овочів при таких вхідних даних:

$D = 700$  мм – діаметр барабана;  $t_{\text{розв}} = 6$  с – час розвантаження;  
 $L = 1250$  мм – довжина барабана;  $\varphi = 0,3$  – коефіцієнт об’ємного заповнення заповнення;  $t_{\text{зав}} = 4$  с – час завантаження;  $\varphi = 0,3$  – коефіцієнт об’ємного заповнення заповнення;  $t_p = 190$  с – час миття;  $\rho = 550$  кг/м<sup>3</sup> – густина овочів.

Розрахунок проводимо через продуктову ємність  $E$ .

Визначаємо об’єм барабана

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,7^2 \cdot 1,25}{4} = 0,48 \text{ м}^3.$$

Визначаємо продуктову ємність

$$E = V \rho \varphi = 0,48 \cdot 550 \cdot 0,3 = 79,2 \text{ кг}.$$

Визначаємо тривалість технологічного циклу

$$T_T = t_{\text{зав}} + t_p + t_{\text{розв}} = 4 + 190 + 6 = 200 \text{ с}.$$

Тоді циклова продуктивність машини

$$Q_{\text{ц}} = \frac{E}{T_T} = \frac{79,2}{200} = 0,396 \text{ кг/с} = 1425,6 \text{ кг/год}.$$

**Приклад 3.** Визначити продуктивність установки для лиття керамічної плівки на рухому технологічну основу при таких вхідних даних:

$B = 500$  мм – ширина плівки;  $\rho = 2,2$  г/см<sup>3</sup> – густина плівки;  
 $h = 0,5$  мм – товщина плівки;  $v = 10$  мм/с – швидкість руху технологічної основи.

Продуктивність (об’ємну)  $Q_o$  установки визначаємо через швидкість  $v$  руху технологічної основи і площі  $F$  поперечного перетину плівки, тобто

$$Q_o = Fv = Bhv = 500 \cdot 0,5 \cdot 10 = 2500 \text{ мм}^3/\text{с} = 2,5 \text{ см}^3/\text{с} = 9000 \text{ см}^3/\text{год}.$$

Продуктивність (масова) установки

$$Q_m = Q_o \rho = 2,5 \cdot 2,2 = 5,5 \text{ г/с} = 19800 \text{ г/год} = 19,8 \text{ кг/год.}$$

Продуктивність установки можна визначити через швидкість  $v$  руху технологічної основи і маси  $q$  плівки на першому погонному метрі технологічної основи, тобто

$$Q_m = q v.$$

Тут

$$q = \frac{W\rho}{L} = \frac{BhL\rho}{L} = \frac{0,5 \cdot 0,0005 \cdot 1 \cdot 2200}{1} = 0,55 \text{ кг/м,}$$

де  $W = BhL$  – об'єм одного погонного метра плівки.

Тоді

$$Q_m = q v = 0,55 \cdot 0,01 = 0,0055 \text{ кг/с} = 19,8 \text{ кг/год.}$$

**Приклад 4.** Визначити продуктивність тунельної сушарки для сушіння пастили при таких вхідних даних:

$L = 22,7$  м – довжина сушильної зони;

$m = 70$  кг – маса пастили в одній вагонетці;

$h = 1,625$  м – крок вагонеток;

$v = 6,5$  м/год – швидкість руху вагонеток.

Розрахунок проводимо через продуктову ємність  $E$

$$E = mZ,$$

де  $Z = L/h = 22,7/1,625 = 14$  – кількість вагонеток у сушильній зоні.

Тоді  $E = 70 \cdot 14 = 980$  кг.

Технологічний цикл (час сушіння пастили)  $T_T$  - це час, за який вагонетка проходить через сушильну зону

$$T_T = L/v = 22,7/6,5 = 3,49 \text{ год.}$$

Тоді продуктивність тунельної сушарки:

$$Q_{ц} = \frac{E}{T_T} = \frac{980}{3,49} = 280,8 \text{ кг/год.}$$

## ТЕМА 3 ЦИКЛОВІ ТА СИНХРОННІ ДІАГРАМИ РОБОЧИХ МАШИН ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ

**Лекція 3.1 (12) Поняття про циклову діаграму машини. Кругова, прямокутна і лінійна циклограми. Поняття про синхронну діаграму машини. Приклад розробки циклової діаграми машини**

*Поняття про циклову діаграму машини.*

Виконавчі механізми і **робочі органи** (РО) автоматичної машини поділяються на два типи: циклові і не циклові. У циклових механізмах робочі органи періодично повторюють задані закони руху, у нециклових – вони здійснюють безперервний рух з постійною швидкістю. Нециклові механізми приводяться в дію механічними передачами з постійним передавальним числом.

Наприклад, шпindel токарного автомата чи машини заварювання електровакуумних приладів є нецикловим робочим органом, а механізми завантаження, закріплення, подачі різців, перемикання насосів, контролю тощо – циклові.

Виконання машинного ТП забезпечується за умови узгодженості рухів робочих органів циклових механізмів. Циклічна узгодженість і закони руху робочих органів забезпечуються керуючим пристроєм машини (кулачково-розподільчим валом, електромеханічним або електронним командоапаратом тощо). В машинах з механічними системами автоматизації тривалість кінематичного циклу машини переважно дорівнює тривалості одного оберту головного розподільчого вала.

**Робочі органи** машини здійснюють цілеспрямовані рухи циклічно у певній послідовності. Це можна показати графічно діаграмою, яку прийнято називати цикловою діаграмою машини (або циклограмою).

**Цикловою діаграмою** машини називається умовне графічне зображення сумісних положень робочих органів протягом кінематичного циклу машини. Отже, циклограма показує, в якій послідовності і в які моменти кінематичного циклу окремі робочі органи включаються в роботу і коли їх робота закінчується. Тобто вона показує моменти часу початку і кінця робочих і неробочих ходів кожного робочого органа.

Існують три види циклограм – кругові, прямокутні і лінійні.

**Кругова циклограма** (рис. 3.1, а) – це набір концентричних кілець довільного діаметра за кількістю робочих органів. Кільця розділені на сектори, центральні кути яких відповідають періодам робочого і неробочого ходів робочих органів і періодам їх стоянки.

У **прямокутній циклограмі** (рис. 3.1, б) цикли окремих робочих органів зображені витягнутими по горизонталі прямокутниками. Ці

прямокутники поділені на частини, довжини яких відповідають періодам ходів робочих органів.

**Лінійні діаграми** (рис. 3.2) будуються у прямокутній системі координат. При побудові лінійних циклограм по осі абсцис відкладається час або кут повороту розподільчого вала у масштабі, на осі ординат – хід робочого органа, як правило, без масштабу. Рух і стоянку робочих органів показують прямими лініями, причому лінія, паралельна до осі абсцис, означає стоянку, а похила – робочий або неробочий ходи, вертикальна – миттєве (релейне) спрацювання РО. Для релейного РО горизонтальна лінія визначає його стан, наприклад, шпиндель обертається чи стоїть, контакт шляхового перемикача замкнений чи розімкнений. За початок побудови циклограми приймають найбільш характерне положення РО машини.

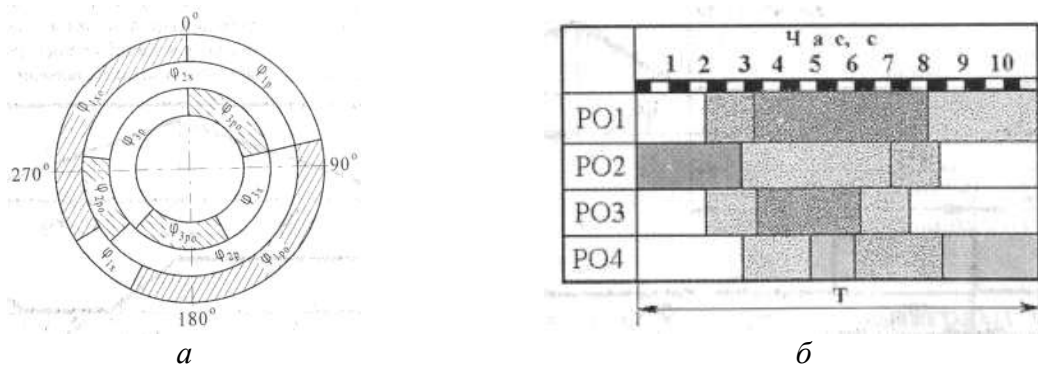
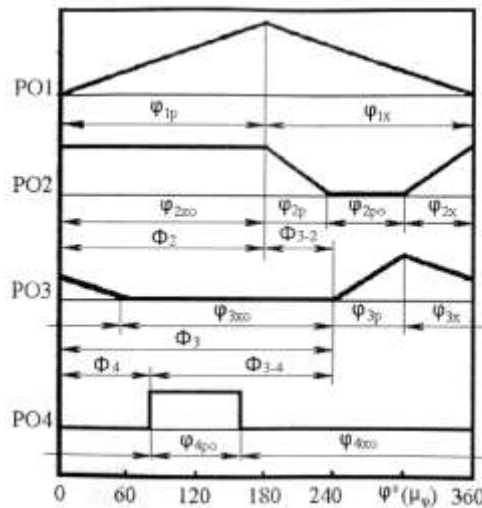


Рис. 3.1. Кругова (а) і прямокутна (б) циклові діаграми



$\varphi_{1р}, \varphi_{1х}$  – кути повороту розподільчого вала, що відповідають, відповідно, робочому і неробочому ходам першого робочого органа PO1;  $\varphi_{2рo}, \varphi_{2хo}$  – кути стоянки другого робочого органа (PO2) після виконання, відповідно, робочого і неробочого ходів;  $\Phi_3$  – абсолютний фазовий кут PO3;  $\Phi_{2-3}$  – відносний фазовий кут PO3 по відношенню до PO2

Рис. 3.2. Лінійна циклова діаграма машини

Порівнюючи лінійну діаграму з круговою і прямокутною, не важко зауважити, що лінійна є більш наочною і зручною у конструюванні: циклограма на різних стадіях її створення супроводжує всі етапи проектування машини. Вона є сполучним елементом між ТП і роботою окремих РО машини.

З циклограми для кожного з циклових механізмів визначають абсолютні і відносні фазові кути. Абсолютний фазовий кут визначає початок руху РО по відношенню до початку координат. Відносний фазовий кут (двох механізмів) визначає початок руху одного механізму відносно початку руху іншого. За допомогою фазових кутів визначаються кути установки (заклинки) ведучих ланок циклових механізмів по відношенню до основного механізму або стосовно деякого умовного положення розподільчого вала, наприклад, мітки на валу.

**Циклограма** є основним технічним документом для розробки будь-якої системи (механічної, електромеханічної, пневматичної чи електронної) автоматизованого керування машиною.

#### *Поняття про синхронну діаграму машини*

Основним завданням розрахунку та складання діаграм є така ув'язка роботи механізмів, яка забезпечує мінімальну тривалість кінематичного циклу, а, відповідно, і максимальну продуктивність машини. Крім того, при проектуванні машини перед конструктором ставиться завдання не тільки правильно розрахувати циклічність (послідовність) спрацювання РО машини, але й забезпечити їх відповідну кінематичну взаємодію і скомпонувати механізми в такий спосіб, щоб їх габарити були мінімальними, а також, щоб не було «кінематичних простоїв» між роботою РО.

Для цього розробляється діаграма (синхрограма).

При розробці **синхрограми**, як і при розробці циклограми, по осі абсцис відкладається час або кут повороту розподільчого вала, а по осі ординат – хід РО, причому у кожній із координат обов'язково у певному масштабі. Тобто будуються графіки переміщень РО залежно від часу або кута повороту розподільчого вала (рис. 3.3).

**Синхрограма**, крім моментів часу, що відповідають початку і кінцю переміщення РО, містить значення їх поточних і максимальних переміщень і дає повну уяву про характер відносних рухів РО упродовж всього кінематичного циклу машини.

З синхрограми можна визначити положення кожного РО у будь-який момент кінематичного циклу. Наприклад, у момент часу  $t_i$  перший РО, здійснюючи неробочий хід, пройшов відстань  $(L_1 - h_{1i})$  і знаходиться на

відстані  $h_{1i}$  від початкового положення, другий РО2 стоїть і знаходиться у нижній мертвій точці, третій РО3 здійснює робочий хід, пройшовши при цьому від початкового положення шлях  $h_{3i}$ , четвертий РО4 – вимкнений.

*Розробка циклової діаграми машини*

Розробку циклової діаграми машини розглянемо на прикладі автомата для формування покриття (конструкція ребристого катода показана на рис. 3.4).

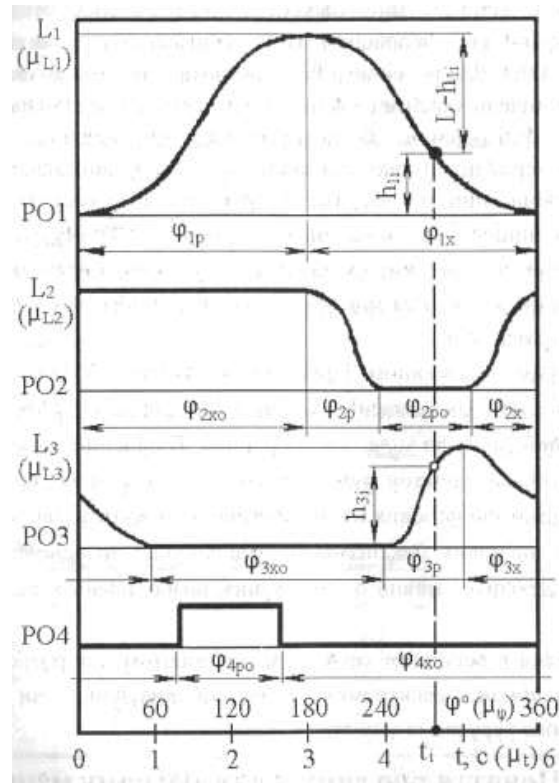
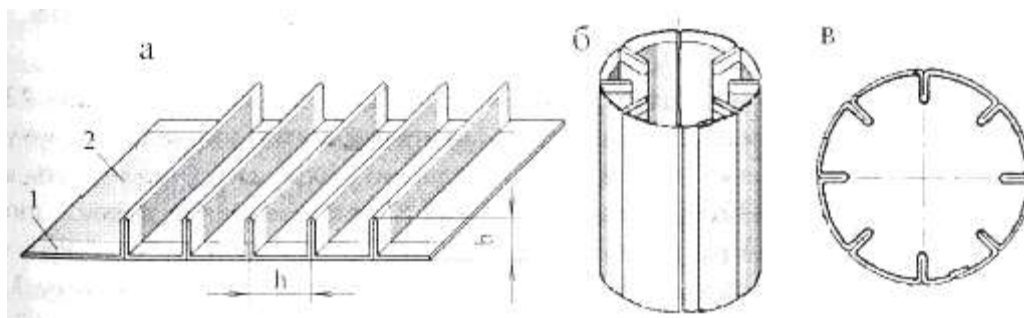


Рис. 3.3. Синхронна діаграма машини



*a* – заготовка – формована стрічка; *1* – керна катода; *2* – покриття; *b* – висота ребра; *h* – крок ребер; *б* – циліндричний ребристий катод; *в* – вигляд катода в плані

Рис. 3.4. Ребристий синтезований катод

Принципова **кінематична схема** автомата для формування ребристих катодів показана на рис. 3.5.

Основними РО автомата для формування є пуансон 6, прихват 8, формувальний ніж 9, повзун 15, ліфт (10, 22), штовхач 12.

Формування заготовки ребристого катода із стрічки 2 відбувається за допомогою вільних (не закріплених до РО машини) вкладок 1, які переміщуються по замкненій прямокутній траєкторії: по робочому столі, опускаються зйомником 11 ліфта, переміщення по магазину 20, підйом до робочого стола.

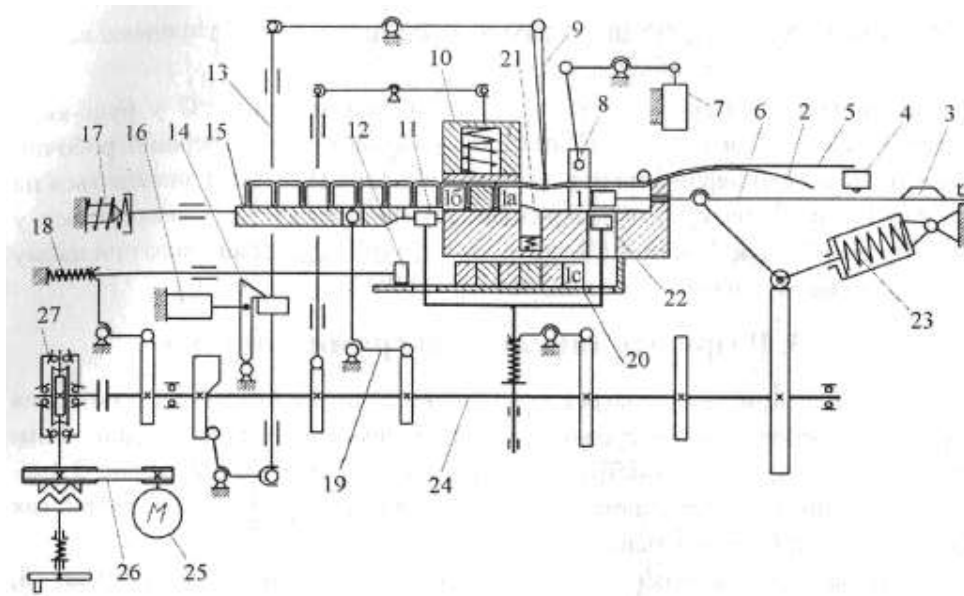


Рис. 3.5. Кінематична схема автомата для формування ребристих катодів (АФРК)

Деяка кількість вкладок 1 розміщена у магазині 20. При ході ліфта 22 вгору крайня права вкладка подається на робочий стіл у площину руху пуансона 6. Пуансон переміщує вкладку 1 у напрямку 1а, що міститься під притискачем 10. Коли відстань між цими вкладками стає такою, що дорівнює двом висотам ребра, спрацьовує захват 8, який притискає стрічку до вкладки 1. Спрацювання захвата 8 відбувається під дією електромагніту 7, команда якому подається від шляхового датчика 4 під дією кулачка 3, встановленого на пуансоні 6.

Через частки секунди після притискування стрічки до вкладки 1, через реле часу спрацьовує формувальний ніж 9, лезо якого опускається на середину защемленої ділянки стрічки. Опущання формувального ножа здійснюється під дією гравітаційної сили при спрацюванні електромагніту 16, коли собачка 14 звільняє шток 13.

При подальшому русі пуансона відбувається прогин стрічки, а при наближенні вкладки 1 до притискача 10 формувальний ніж 9 і захват 8 різко піднімаються і відводяться у початкове положення під дією пружин. Після цього вкладка 1 проходить через фіксатор 21 і переміщує весь пакет вкладок, що містяться на робочому столі, і повзун 15 до упору 17. Далі під

дією кулачка стискається пружина 23, яка створює необхідну силу формування.

При зворотному ході пуансона повзун 15 разом з пакетом вкладок під дією пружини переміщається до фіксатора 21. Далі повзун важелем 19 відводиться вліво, а ліфт опускається і переносить вкладку 1б на полицку магазину 20. Штовхачем 12 під дією пружини 18 укладки у магазині пересуваються вправо. При русі ліфта вверх права крайня вкладка 1с піднімається на рівень стола, після чого цикл роботи автомата повторюється. Більшість РО автомата приводяться в дію від кулачків, розміщених на валу 24 через відповідні механічні (важільні) передачі. Обертання розподільчого вала здійснюється від електродвигуна 25 через пасову 26 і черв'ячну 27 передачі.

При розробці машини на етапах технічної пропозиції або ескізного проектування складається розгорнута орієнтовна циклограма. На цьому етапі: коли ще не відома тривалість робочих і неробочих ходів окремих РО, по осі абсцис відкладається без масштабу і довжина цієї осі може відповідати тривалості двох орієнтовних кінематичних циклів. На цьому етапі циклограма складається за умовою, що кожний наступний РО починає свій робочий хід після завершення неробочого ходу попереднього РО.

У цьому разі за базовий РО приймаємо пуансон. Початком циклограми буде початок його робочого ходу. При цьому РО знаходяться у таких початкових положеннях: пуансон – в правому; захват, ніж і ліфт – у верхньому; повзун – у правому.

Розгорнута **циклограма** автомата показана на рис. 3.6.

Введемо такі позначення:

$t_{ip}$  – тривалість **робочого** ходу і-го РО;

$t_{ix}$  – тривалість **неробочого** ходу;

$t_{ip0}$  і  $t_{ix0}$  – тривалість стоянки РО після завершення, відповідно, робочого і неробочого ходів;

$T_k$  – тривалість **кінематичного** циклу.

При побудові циклограм терміни робочий і неробочий ходи мають умовне тлумачення, оскільки у багатьох випадках корисна робота виконується як при робочому, так і при неробочому ходах. У цьому випадку, наприклад, ліфт транспортує вкладки в обох напрямках. Тоді:

$$\text{для пуансона} \quad t_{1p} + t_{1x} + t_{1xo} = T_k, \quad (3.1)$$

$$\text{для повзуна} \quad t_{2p} + t_{2po} + t_{2x} + t_{2xo} = T_k, \quad (3.2)$$

$$\text{для ліфта} \quad t_{3p} + t_{3po} + t_{3x} + t_{3xo} = T_k, \quad (3.3)$$

$$\text{для штовхача} \quad t_{4p} + t_{4x} + t_{4xo} = T_k. \quad (3.4)$$

Із циклограми на рис. 3.6 видно, що новий **кінематичний цикл** автомата розпочатися після завершення неробочого ходу ліфта ( $t_{3x}$ ). Тому при побудові суміщеної циклограми всі ходи РО, що розміщені праворуч від вертикалі I-I, переносяться на ділянку основного кінематичного циклу (рис. 3.7).

Для спрощення деякі РО, робота яких суміщається у часі з роботою інших РО, на циклограмі не показані. Це – захват і формувальний ніж.

Відслідковуючи машинний ТП і, відповідно, послідовність роботи органів машини можна графічно (стрілками) показати ланцюг спрацювань РО, який визначає основні ходи, і складові тривалості кінематичного циклу. Тоді

$$T = t_{1p} + t_{1x} + t_{2p} + t_{3p} + t_{4p} + t_{3x}. \quad (3.5)$$

Далі визначають тривалість основних ходів і закони руху РО. У багатьох випадках це задається умовами ТП. В інших – заданою продуктивністю машини, тобто тривалістю кінематичного циклу або з умови максимальної продуктивності, тобто мінімально можливою тривалістю ходів.

Якщо визнано, що тривалість складових кінематичного циклу вибрано правильно, то скорочення кінематичного циклу може бути здійснено тільки за рахунок зміни відносного розташування циклограм РО, тобто зменшенням абсолютних і фазових кутів окремих механізмів. Мінімальні значення цих кутів можуть бути визначені на основі детального аналізу як самого машинного ТП, так і законів руху РО, показаних у вигляді графіків їх переміщень.

Розглянемо взаємодію двох сумісних у роботі механізмів РО: пуансона і повзуна. Це, як правило, виконується на етапі ескізного проектування. На рис. 3.8 показана розрахункова схема взаємодії цих РО. Для спрощення товщиною стрічки, із якої формується ребристий катод, нехтуємо.

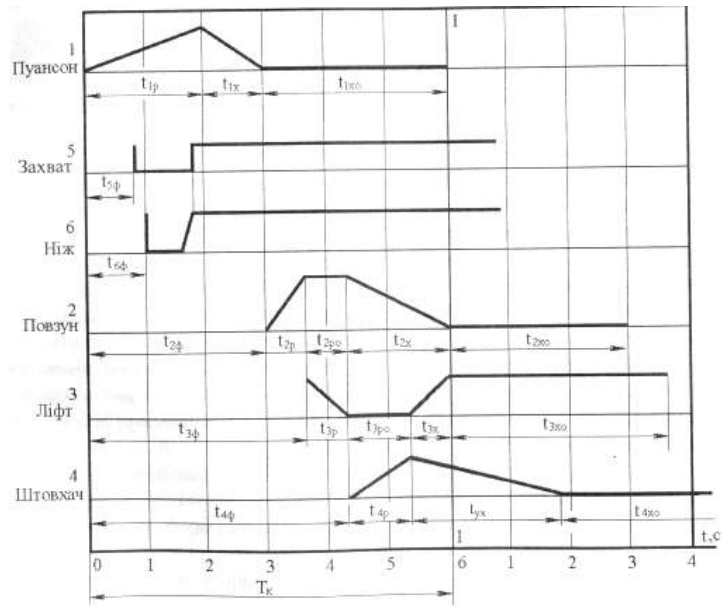


Рис. 3.6. Розгорнута орієнтовна циклограма автомата

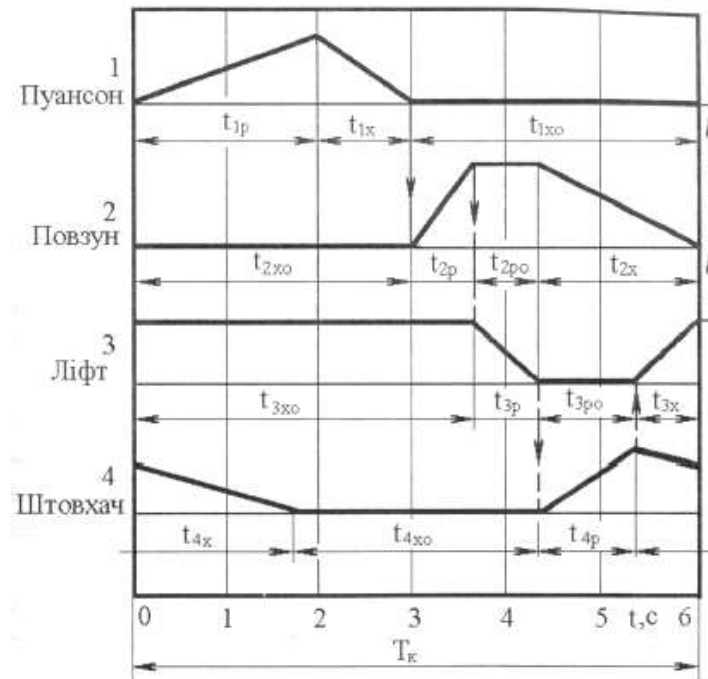


Рис. 3.7. Суміщена орієнтовна циклограма автомата

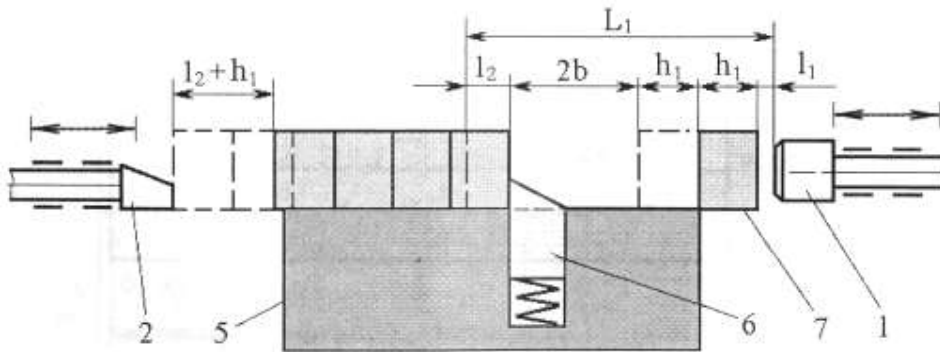
У процесі формування катода пуансон 1 здійснює робочий хід на величину

$$L_1 = l_1 + 2h_1 + 2b + l_2, \quad (3.6)$$

де  $l_1$  – щілина між пуансоном і вкладкою;  $h_1$  – ширина вкладки;  $b$  – висота ребра катода;  $l_2$  – перебіг вкладки за фіксатор.

Згідно із орієнтованою циклограмою (рис. 3.7) робочий хід починається після завершення неробочого ходу пуансона.

За розрахунковою схемою робочий хід повзуна (хід вліво) може розпочатися в момент дотику вкладки 1 і до фіксатора 21 (рис. 3.5), тобто при неробочому ході пуансона на величину  $l_1$ . Момент дотику вкладки і фіксатора може бути визначений аналітично, виходячи із закону руху, або графічно, проектуючи точку С на вісь часу (рис. 3.9).



1 – пуансон; 2 – повзун; 5 – робочий стіл; 6 – фіксатор; 7 – вкладка  
 Рис. 3.8. Розрахункова схема взаємодії пуансона і повзуна

Для визначення величини  $l_1$  будують синхрограму цих робочих органів (рис. 3.9).

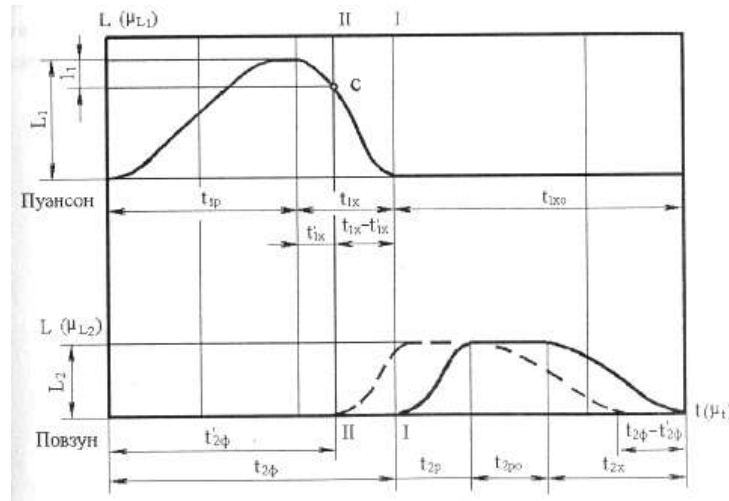


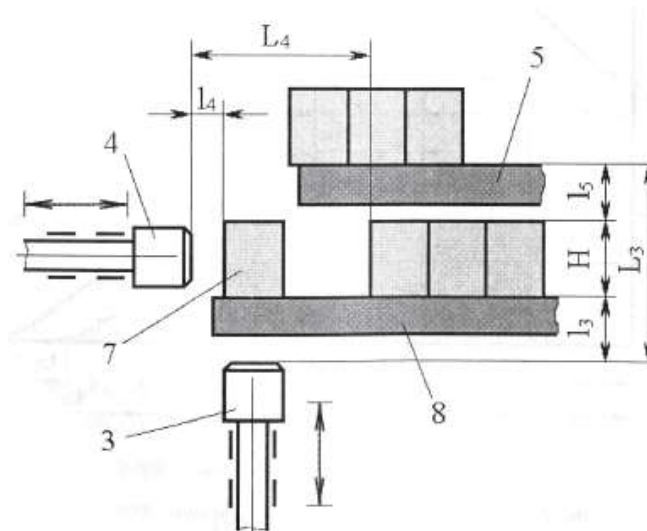
Рис. 3.9. Синхрограма роботи пуансона і повзуна

Із графічної залежності видно, що початок робочого ходу повзуна можна змістити вліво з положення I у положення II і тим самим скоротити **кінематичний цикл** на величину

$$t_{1x} - t'_{1x} = t_{2ф} - t'_{2ф} = T_k - T_{k1} \quad (3.7)$$

Проаналізуємо спільну роботу ліфта при опусканні вкладки на полицку магазину і штовхача при пресуванні вкладок у магазині. Розрахункова схема цих РО показана на рис. 3.10.

Згідно із орієнтовною **циклограмою** (рис. 3.7) робочий хід ( $t_{4p}$ ) штовхача починається після завершення робочого ходу ( $t_{3p}$ ) ліфта. Але конструкція цього пристрою виконана в такий спосіб, що нижнє положення ліфта знаходиться на відстані  $l_3$  від нижньої грані вкладки 7, а крайнє ліве положення штовхача 4 – на відстані  $l_4$  від лівої грані вкладки. Таке конструктивне виконання конструктивне виконання обумовлено необхідністю знімання магазину з автомата для заміни та чищення вкладок. Тривалість ходів  $l_3$  і  $l_4$  цих РО додатково збільшує тривалість кінематичного циклу автомата. Для виключення цих циклових втрат часу необхідно так синхронізувати роботу ліфта і штовхача, щоб моменти торкання вкладки полицки магазину і штовхача лівої грані вкладки збіглись в часі.



3 – ліфт; 4 штовхач; 5 – робочий стіл; 7 – вкладка; 8 – паличка магазину;

$H$  – висота вкладки;  $L_3$  – величина ходу ліфта;  $L_4$  – величина ходу штовхача

Рис. 3.10. Розрахункова схема взаємодії ліфта і штовхача

Для цього будемо графіки переміщень ліфта і штовхача (рис. 3.11). Відкладаємо відрізки  $l_3$  і  $l_4$  на відповідних графіках і знаходимо точки  $C$  і  $C'$ , проєкції яких на вісь абсцис визначають обумовлений момент часу  $t_c$ . Далі зміщуємо криву переміщень штовхача вліво до суміщення лінії ( $b'-b'$ ) з лінією ( $b-b$ ) графіка переміщень ліфта. При цьому отримаємо зменшену відносну фазу  $t'_{\delta 4-3} = t'_{3p}$  по відношенню до попередньої

$t_{\phi 4-3} = t_{3p}$  (рис. 3.12). Крім того, скорочується тривалість  $t_{3po}$  стоянки ліфта у нижньому положенні, оскільки піднімання ліфта повинно початися по завершенні робочого ходу ( $t_{4p}$ ) штовхача.

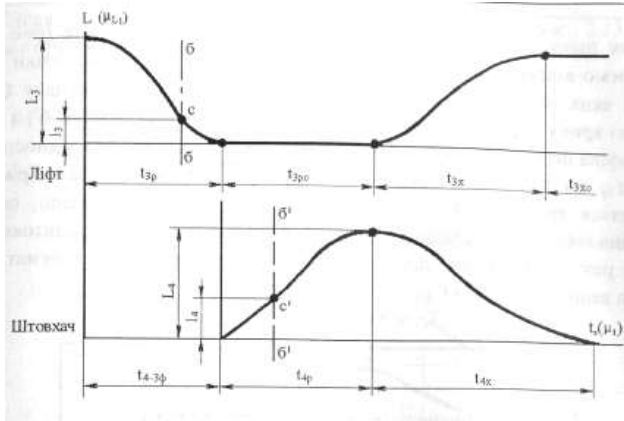


Рис. 3.11. Графіки переміщень ліфта і штовхача

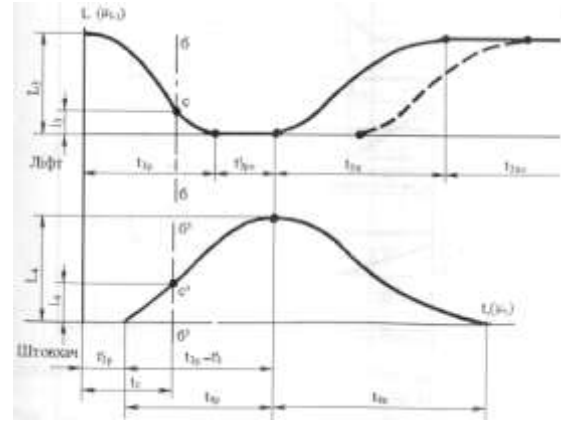


Рис. 3.12. Синхрограма ліфта і штовхача

В результаті маємо додаткове скорочення тривалості **кінематичного циклу** на величину ( $t_{\phi 4-3} = t'_{\phi 4-3}$ ). Тобто

$$T_{k2} = T_{k1} - t_{\phi 4-3} + t'_{\phi 4-3}. \quad (3.8)$$

Після побудови завершених синхронної і циклової (рис. 3.13 і 3.14) діаграм отримаємо мінімальне значення кінематичного циклу:

$$T_{k \min} = T_{k2} = T_{k1} - (t_{\phi 4-3} - t'_{\phi 4-3}); \quad (3.9)$$

$$T_{k \min} = T_k - (t_{2\phi} - t'_{2\phi}) - (t_{\phi 4-3} - t'_{\phi 4-3}). \quad (3.10)$$

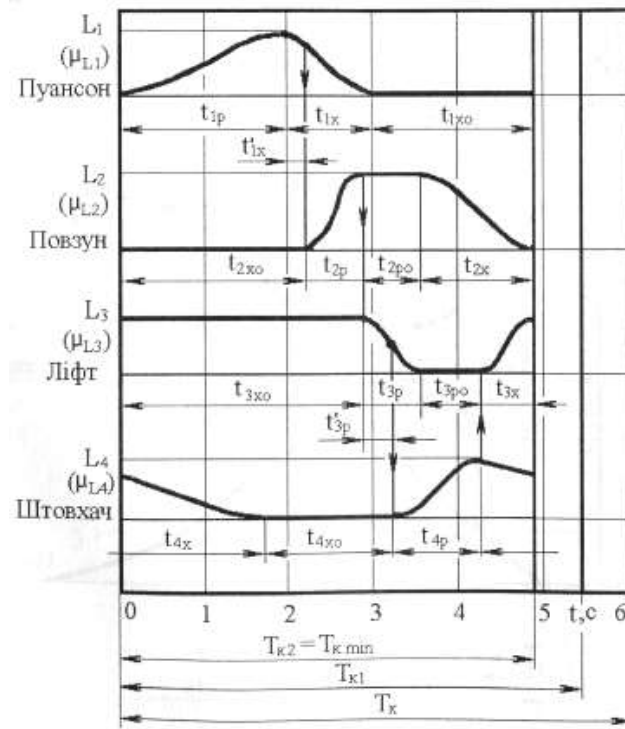


Рис. 3.13. Синхрограма автомата формування катодів

Для машин, у яких керування циклом відбувається від кулачків, переводимо час у кути повороту кулачково-розподільчого вала.

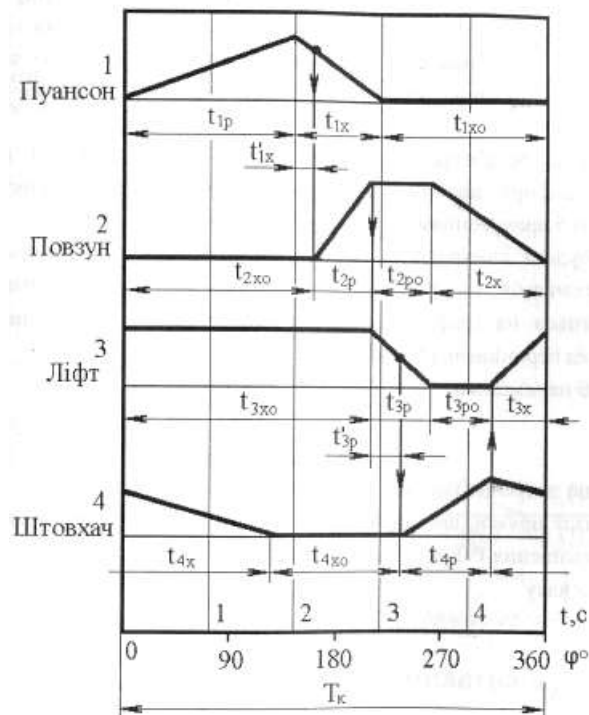


Рис. 3.14. Циклограма автомата формування катодів

Складові мінімального значення кінематичного циклу

$$T_{k \min} = t_{1p} + t'_{1x} + t_{2p} + t'_{3p} + t_{4p} + t_{3x}. \quad (3.11)$$

Тоді

$$\varphi_{1p} + \varphi'_{1x} + \varphi_{2p} + \varphi'_{3p} + \varphi_{4p} + \varphi_{3x} = 360^\circ. \quad (3.12)$$

Якщо отримане значення  $T_{k \min}$  забезпечує задану циклову продуктивність машини, то отримана циклова діаграма може вважатися як кінцева (завершена). У тих випадках, коли зменшення відносних фаз (часу або кутів) циклових механізмів не забезпечує такої мінімальної тривалості кінематичного циклу, що відповідає заданій цикловій продуктивності, необхідне подальше зменшення тривалості  $T_k$  за рахунок скорочення часу робочих і неробочих ходів механізмів.

Правильний розв'язок цієї задачі може бути отриманий на основі раціонального вибору законів руху РО і розрахунку часу їх спрацювання з врахуванням динамічних навантажень.

При побудові синхрограм, як відомо, величини переміщень РО і їх механізмів, час їх спрацювання або кути повороту розподільчого вала відкладаються на графіках у відповідних масштабах. Розглянемо це на прикладі графіка переміщень РО (рис. 3.15).

Масштаб переміщень

$$\mu_L = \frac{L}{B}, \text{ мм/мм,}$$

де  $L$  – дійсне значення переміщення РО, мм;  $B$  – відрізок прямої, що відкладається по осі ординат, відповідає дійсному значенню переміщення РО, мм.

Масштаб часу

$$\mu_t = \frac{T}{A}, \text{ с/мм.}$$

Масштаб кута

$$\mu_{\varphi} = \frac{360^{\circ}}{A}, \text{ град/мм,}$$

де  $T$  – тривалість циклу, с;  $A$  – відрізок прямої, відкладений по осі абсцис, мм.

Дійсні значення переміщення, часу і кута повороту розподільчого вала для довільної точки  $C_i$  визначаються, відповідно, такими виразами:

$$l_i = B_i \mu_L = B_i \frac{L}{B}; \quad (3.13)$$

$$t_i = A_i \mu_t = A_i \frac{T}{A}; \quad (3.14)$$

$$\varphi_i = A_i \mu_{\varphi} = A_i \frac{360^{\circ}}{A}. \quad (3.15)$$

Перевести час у кути повороту розподільчого вала можна за допомогою таких виразів:

$$\varphi_i = t_i \frac{360^{\circ}}{T}; \quad (3.16)$$

$$\varphi_i = A_i \mu_t \frac{360^{\circ}}{T}. \quad (3.17)$$

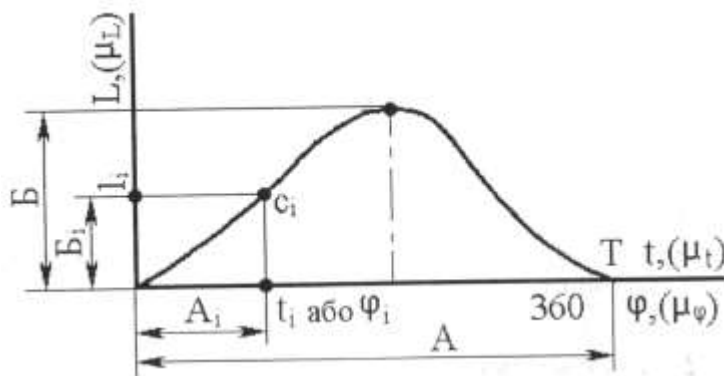


Рис. 3.15. Графік переміщення РО

*Етапи побудови циклограм.*

Виходячи із вищенаведеного, можна прослідкувати **послідовність розробки циклограм** і визначити такі основні етапи:

- 1) Складання орієнтовної розгорнутої циклограми.

- 2) Складання орієнтовної сумісної циклограми.
- 3) Визначення тривалості робочих і неробочих ходів РО машин і вибір законів їхнього руху.
- 4) Побудова орієнтовної синхрограми.
- 5) Аналіз роботи окремих РО з метою зменшення тривалості кінематичного циклу шляхом суміщення в часі ходів РО.
- 6) Побудова синхрограми із скороченим кінематичним циклом.
- 7) Переведення часу ходів РО у кути повороту розподільчого вала (для машин, керування яких здійснюється від розподільчого вала).
- 8) Побудова завершеної циклограми.

## ТЕМА 4 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

### Лекція 4.1 (13) Особливості технологічних процесів автоматизованого виробництва. Принцип диференціації ТП. Принцип концентрації операцій

*Особливості технологічних процесів автоматизованого виробництва.* ТП є основою проектування будь-якого автомата чи лінії. Його завданням є отримання виробів заданої якості за допомогою відповідного комплекту інструментів. При цьому під комплектом інструментів потрібно розуміти ту мінімальну кількість інструментів, яка необхідна для виконання цього ТП. Величину комплекту визначають, виходячи з обсягу і методів обробки. Комплектом інструментів є, наприклад, пуансон і матриця – при штампуванні, свердло, зенкер, розвертка – при обробці отворів тощо.

Отже, в будь-який ТП входять, з одного боку, виріб, що включає в себе матеріал, потрібну форму, розміри, показники якості тощо, з другого, – **методи обробки, способи технологічної дії** на оброблюваний матеріал. В цьому полягає спільність ТП автоматизованого і неавтоматизованого виробництва. Їх основна відмінність полягає в тому, що ТП неавтоматизованого виробництва проєктують, виходячи тільки з умов забезпечення передусім якості продукції, в той самий час автоматизовані ТП проєктують з умов забезпечення не тільки якості, але й кількості продукції, з широким застосуванням принципу суміщення операцій.

Найпростішим варіантом ТП неавтоматизованого виробництва при вибраному методі, маршруті й режимах обробки є повна обробка виробу в одній позиції при послідовному виконанні всіх операцій. В цьому випадку легко визначити загальну тривалість ТП. Вона дорівнює сумі тривалості кожної операції, яка, своєю чергою, залежить від характеру виробу, його конструктивної складності, форми, з одного боку, і від прогресивності методів і режимів обробки, з іншого. Отже, технологічна продуктивність як характеристика ТП виразиться так

$$K_0 = \frac{1}{t_{p0}}, \quad (4.1)$$

де  $t_{p0} = t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pn}$  – сумарна тривалість технологічної дії;  $t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}$  – тривалість окремих операцій ТП.

Якщо при виконанні цього самого ТП застосовується однопозиційний автомат (рис. 4.1, а), де окремі операції можна сумістити (виконувати одночасно), то сумарний час обробки скоротиться і становитиме  $t'_{p0}$ . В результаті зросте технологічна продуктивність, яка дорівнюватиме

$$K'_0 = \frac{1}{t'_{p0}}, \quad (4.2)$$

Оскільки  $t'_{p0} < t_{p0}$ , то  $K'_0 > K_0$ . Це означає, що продуктивність одно позиційного автомата вища за продуктивність універсального, навіть при однакових методах, технологічному маршруті і режимах обробки.

Отже, широке застосування методу суміщення операцій є важливою особливістю ТП автоматизованого виробництва, основою побудови всіх багато позиційних машин і ліній.

Можливості значного росту продуктивності за рахунок суміщення операцій (багатоінструментальна обробка), як правило, обмежені з причини перевантаження робочих зон інструментом і пристосуванням.

Підвищення продуктивності можна забезпечити шляхом подальшого розвитку принципу суміщення – **диференціації** ТП, **концентрації** операцій, що приводить до створення багатопозиційних машин. **Диференціація** ТП полягає в тому, що він розчленовується на окремі операції, які виконуються на різних позиціях машини чи лінії, через які послідовно проходить оброблюваний виріб, поки не отримає повного обсягу технологічної дії (обробки). При диференціації будь-який ТП розчленовують переважно на складові операції, а тому обсяг обробки, який виконується кожним конкретним механізмом, може бути різним.

Частина ТП, яка може бути виконана одним цільовим механізмом і одним інструментом відповідно до вимог якості, називається **складовою робочою операцією**. Якщо ТП диференціювати на складові частини (операції), які закріпити за окремими однопозиційними машинами, а весь комплект інструменту зосередити на них, то отримаємо лінію з однопозиційних машин, кількість яких дорівнює кількості складових операцій. В такий спосіб отримано поточну лінію з кількістю верстатів, яка дорівнює кількості складових операцій.

Якщо ж **диференціацію процесу** обробки продовжити далі, розділяючи його на елементарні частини, то процес обробки навіть в межах однієї операції стає дискретним. При цьому потрібно одночасно збільшити кількість однойменних інструментів, які виконуватимуть вже не складову операцію, а тільки її частину з неминучими перервами в обробці

одного виробу. Комплект інструментів зростає порівняно з технологічними потребами. До такого прийому (дроблення складових операцій) вдаються тоді, коли потрібно зробити всі операції рівнотривалими в часі й співрозмірними.

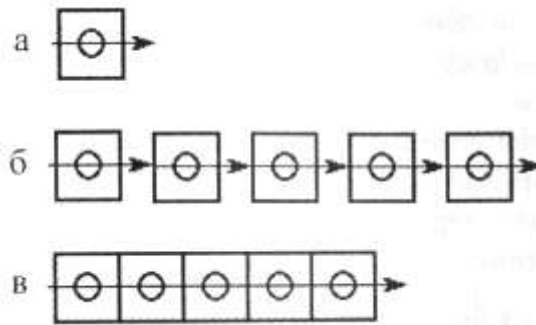


Рис. 4.1. Структурні варіанти побудови машин, які виконують однаковий обсяг роботи

Послідовне виконання диференційованого ТП на ланцюжку однопозиційних автоматів (рис. 4.1, б) забезпечує повний обсяг обробки за час, який дорівнює часу однієї операції, що виконується кожним автоматом. При цьому в обробці знаходиться одночасно така кількість виробів, яка дорівнює кількості операцій, тобто кількості автоматів і готові вироби видаються через інтервал часу, який дорівнює робочому циклу однопозиційного автомата.

Змінюючи кількість послідовних позицій обробки  $q$ , можна отримати різну тривалість обробки позиції  $t_p$ , а значить і різну технологічну продуктивність  $K$ . Якщо можна диференціювати весь процес обробки тривалістю  $t_{p0}$  рівномірно, то тривалість однієї операції

$$t_p = \frac{t_{p0}}{q}; K = \frac{1}{t_p} q = K_0 q. \quad (4.3)$$

**Концентрація операцій** полягає в тому, що окремі операції, які виконуються одночасно, концентруються в одному автоматі (рис. 4.1, в). Так з'явилися багатопозиційні автомати, а відтак автоматичні лінії послідовної, паралельної й паралельно-послідовної дії. Найхарактернішим для технології автоматизованого виробництва є складові ТП, які складаються з багатьох різномісних операцій різної тривалості. Для таких процесів концентрація операцій полягає в зосередженні в одній машині всіх різномісних операцій. При цьому весь комплект інструментів необхідний для виконання ТП, розміщений по позиціях, як і в групі однопозиційних машин, що працюють послідовно. В цьому випадку тривалість робочого циклу автомата чи лінії визначається тривалістю

найтривалішої операції, а також неробочими ходами циклу – подачею, закріпленням, транспортуванням виробів з позиції на позицію.

Якщо принцип диференціації ТП, відкритий ще в епоху мануфактурного виробництва, характерний для будь-яких форм сучасного поточного виробництва, то застосування принципу концентрації операцій – це властивість сучасного автоматизованого виробництва.

*Види багатопозиційних машин-автоматів.*

У неавтоматизованому виробництві є обмежена кількість варіантів побудови ТП, а тому і обмежена варіантність вибору типів універсального обладнання.

При проектуванні **автоматизованого обладнання** можлива значна кількість варіантів ТП, які відрізняються різною мірою диференціації і концентрації операцій, а, отже, варіантів побудови машини. Всі ці варіанти ідентичні за показниками якості обробки (сумарний час технологічної дії на кожний виріб  $t_{p0} = \text{const}$ ), але відрізняються за показниками продуктивності внаслідок різної тривалості обробки й позациклових втрат.

Проілюструємо це на прикладі процесу відкачування електровакуумного приладу. Прилад вставляється у гніздо відкачувальної машини, затискається і підключається до вакуумної системи.

Процес відкачування відбувається у такій послідовності: закріплений і герметизований прилад підключається до потужних форвакуумних насосів, які виконують попередню відкачку (видаляють основну масу газів); контролюється герметичність приладу і його закріплення у гнізді; далі відбувається форвакуумна відкачка; відтак прогрівають арматуру приладу для інтенсивної десорбції газів з арматури; долі подають струм розжарювання на катод приладу – відбувається його тренування й знегажування. Коли тиск газів у приладі досягне величини  $10^{-2} - 10^{-3}$  тор, гніздо з приладом підключається до високо вакуумних дифузійних насосів, які забезпечують подальше відкачування приладу; кінцевий вакуум досягається розпиленням хімічного поглинача. Як тільки вакуум досягне потрібної величини, відбувається нагрівання штенгеля, відпаювання приладу і його герметизація.

Отже, весь процес відкачування потребує різноманітних технологічних дій певної тривалості й узгоджені між собою в часі, що ілюструється технологічною діаграмою (рис. 4.2).

Уявімо, що цей процес виконується у двох варіантах – на одно позиційному відкачувальному посту і на багатопозиційному відкачувальному автоматі.

В першому випадку сумарний час обробки (час робочого ходу) згідно з діаграмою (рис. 4.2) дорівнює сумі тривалості несуміщених

операцій, крім операцій прогрівання арматури й тренування катода, як суміщені. Тобто

$$t_{p0} = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p6} = 15 + 260 + 120 + 5 = 400 \text{ с.}$$

Тривалість несуміщених допоміжних операцій (неробочих ходів)

$$t_d = t_{d1} + t_{d2} = 17 + 8 = 25 \text{ с.}$$

Тоді тривалість робочого циклу

$$T = t_{p0} + t_d = 400 + 25 = 425 \text{ с} = 7,08 \text{ хв.}$$

Циклова і фактична продуктивності однопозиційного поста, відповідно, дорівнюють

$$Q_{ц1} = \frac{60}{T} = \frac{60}{425} = 0,141 \text{ шт./хв} = 8,47 \text{ шт./год.}$$

$$Q_{ф} = Q_{ц1} \eta_v = 8,47 \cdot 0,8 = 6,78 \text{ шт./год.}$$

Визначимо кількість постів, необхідних для виконання заданої річної програми

$$k_1 = \frac{\Pi}{Q_{ф1} \Phi z},$$

де  $\Pi = 540000$  шт./рік – річна програма випуску виробів;  $\Phi = 2000$  год – річний фонд часу роботи поста;  $z = 1$  – кількість змін роботи на добу.

У другому випадку за рахунок диференціації ТП і виконання його на багато позиційній машині сумарна тривалість робочого ходу

$$t_p = \frac{t_{p0}}{q}.$$

де  $q$  – кількість позицій машини.

Оскільки неробочі ходи, окрім часу, затраченого на транспортування приладу з однієї позиції на іншу (на поворот каруселі), будуть суміщені, то тривалість робочого циклу

$$T = \frac{t_{p0}}{q} + t_x.$$

Припустимо, що  $q = 10$ , а 3 с.

Тоді

$$T_{10} = \frac{400}{10} + 3 = 43 \text{ с} = 0,72 \text{ хв},$$

а циклова і фактична продуктивності, відповідно, дорівнюють:

$$Q_{ц10} = \frac{1}{T_{10}} = \frac{1}{0,72} = 1,4 \text{ шт./хв} = 83 \text{ шт./год};$$

$$Q_{ф10} = Q_{ц10} \eta_v = 83 \cdot 0,8 = 66,4 \text{ шт./год}.$$

Отже створення 10-позиційного відкачувального напівавтомата дає змогу підвищити продуктивність  $66,4/6,78 \sim 10$  разів, а кількість машин, необхідних для виконання заданої річної програми, становить  $k = 4$ .

Схема багатопозиційної вакуумної обробки приладу зображена на рис. 4.3, а, де згідно з діаграмою (рис. 4.2), окремі операції ТП відкачування закріплено за відповідними позиціями.

Перші сім робочих позицій (I–VII) підключають до форвакуумних насосів, решта – до високовакуумних. На позиціях VI–X встановлено котушки СВЧ для нагрівання арматури приладу; на позиціях VIII–X подають струм розжарювання на катод. Розпилення гетера й відпаювання приладу виконується на позиції X, видалення решток штенгеля – на позиції XI; установку нового приладу – на позиції XII.

У зв'язку з тим, що ТП автоматизованого виробництва проєктують, виходячи з якості виробів і продуктивності, то завдання побудови багатопозиційних машин-автоматів і ліній розв'язують, передусім з позиції теорії продуктивності. Продуктивність багатопозиційних машин-автоматів і ліній залежить від міри диференціації і концентрації операцій, тобто від кількості позицій.

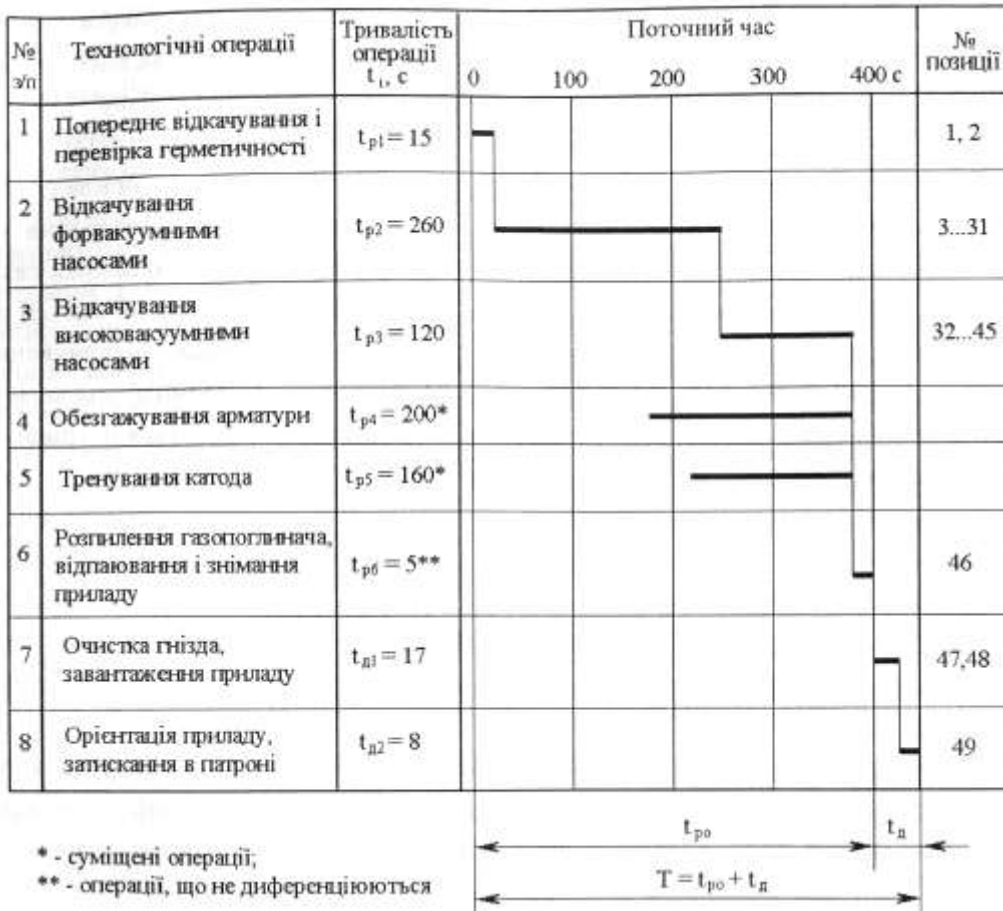


Рис. 4.2. Діаграма ТП відкачування електролампових приладів

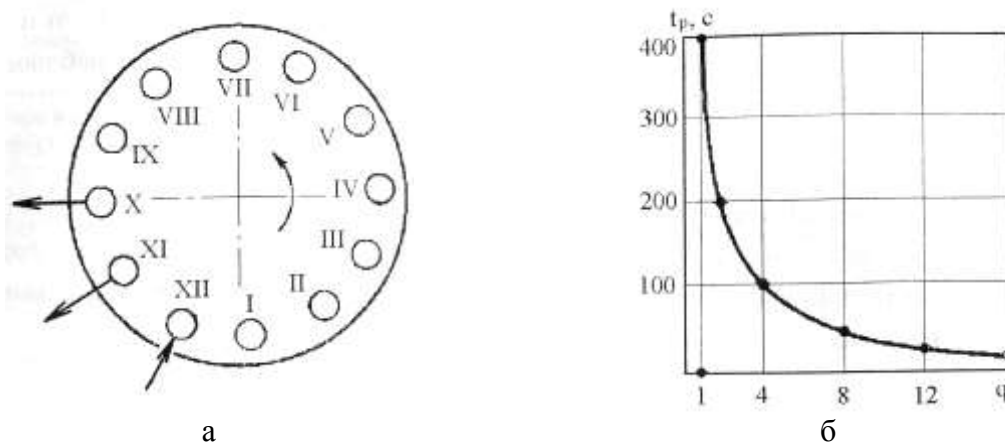


Рис. 4.3. Схема багатопозиційної відкачувальної машини (а) і залежність часу робочого ходу від кількості позицій (б)

На рис. 4.3, б зображено графік тривалості обробки від кількості позицій. З цього графіка видно, що із збільшенням кількості позицій різко скорочується тривалість робочих ходів, і, відповідно, тривалість робочого циклу.

ТП обробки деяких виробів не завжди можна диференціювати рівномірно. Крім того, ці ТП не завжди можна розчленувати на будь-яку кількість  $q$ ; Переважно є мінімальна і максимальна кількість  $q$ . Тому продуктивність багатопозиційних автоматів з однопоточною обробкою (рис. 4.3, *a*) має межі; для більш високої продуктивності необхідно створювати багатопозиційні автомати і лінії з багатопоточною обробкою.

Таким чином, рушійним чинником розвитку автоматизованого виробництва на базі багатопозиційних машин є постійно зростаючі вимоги до збільшення продуктивності при забезпеченні високої якості продукції.

При невисоких вимогах до продуктивності обробку виконують на однопозиційних машинах, які мають відповідний комплект інструменту, механізмів робочих і неробочих ходів (рис. 4.4, *a*).

Підвищення вимог до продуктивності приводить до диференціації ТП на окремі операції, які виконуються системою однопозиційних машин, кожна з яких виконує, як правило, одну складову й суміщені з нею операції, допустимі конструкцією деталі й прийнятим ТП (багатоінструментальна обробка). Тим самим формується технологічний ланцюжок з  $q$  однопозиційних машин (рис. 4.4, *b*). Вироби послідовно передаються від однієї машини до іншої, отримуючи поступово весь обсяг обробки. При цьому досягається значний ріст продуктивності, тому що інтервал випуску дорівнює тривалості однієї складової операції обробки плюс час неробочих ходів на завантаження, закріплення та знімання виробів, підведення інструмента тощо.

Зростання вимог до підвищення продуктивності призводить до того, що один ланцюжок машин з диференційованим ТП уже не може задовольнити робочу програму, а тому з'являються дублери – Р технологічних ланцюжків з  $q$  машин (рис. 4.4, *в*). Така система є конструктивним втіленням диференційованого ТП з першим ступенем концентрації операцій (інструментальна обробка на одній позиції).

Принцип побудови **багатопозиційних автоматів** і автоматичних ліній полягає в тому, що в них концентруються або однойменні, або різнойменні або одночасно і ті й інші операції ТП. Залежно від типу операцій, які концентруються, розрізняють автомати і лінії послідовної, паралельної й послідовно-паралельної дії. В автоматах і лініях концентрують різнойменні операції обробки, контролю, складання, які виконуються послідовно на одному виробі (рис. 4.4, *г*).

Якщо складові частини ТП не диференційовані, то машина послідовної дії має один комплект інструментів, розосереджений по робочих позиціях у порядку, заданому технологічним маршрутом обробки цього виробу.

**В автоматах і лініях паралельної дії** концентрують однойменні операції диференційованого ТП (рис. 4.4, *д*).

**В автоматах послідовно-паралельної дії** (змішаної дії) концентрують як різнойменні, так однойменні операції (рис. 4.4, *е*).

Найбільш розповсюдженими є автомати й напівавтомати послідовної дії з дискретним переміщенням оброблюваних виробів з позиції на позицію. Всі операції обробки відбуваються одночасно (на різних робочих позиціях), а на неробочих позиціях відбувається подача й закріплення заготовок, які є суміщеними й на тривалість циклу не впливають. Робоча позиція – це зона дії механізмів робочих ходів і інструментів, в межах якої вони можуть безпосередньо діяти на оброблюваний виріб. В автоматах послідовної дії позиції є стаціонарними, а механізми робочих і неробочих ходів базуються на нерухомих вузлах машини. Кожний виріб послідовно проходить через всі робочі позиції.

Тривалість робочого циклу автоматів послідовної дії дорівнює інтервалу часу між двома спрацюваннями основних механізмів (механізмів повороту, фіксації тощо) і відповідає інтервалу випуску одного виробу (або порції виробів)

$$T = \frac{t_{p0}}{q} + t_x,$$

де  $t_{p0}$  – сумарний час технологічної дії на оброблюваний предмет згідно з прийнятим ТП;  $t_x$  – час повороту і фіксації каруселі;  $q$  – кількість робочих позицій.

При нерівномірній диференціації ТП час робочого циклу залежить від часу найтривалішої операції  $t_{p \max}$

$$T = t_{p \max} + t_x.$$

**В автоматах і лініях паралельної дії**, як правило, концентруються одна складова і суміщені з нею (рис. 4.4, *д*). А тому кожна позиція має один механізм робочого ходу (інструментальний блок, супорт тощо). В простішому варіанті обробка на всіх позиціях машини паралельної дії відбувається одночасно. Спочатку відбуваються всі неробочі ходи робочого циклу  $t_x$ , відтак одночасна обробка на всіх позиціях ( $t_{pi}$ ); всього за цикл  $T = t_{pi} + t_x$  випускається  $p$  штук або порцій продукції.

Не слід змішувати поняття паралельності і одночасності дії робочих машин. Термін «паралельність дії» передбачає паралелізм в роботі однойменних механізмів і інструментів, тобто виконання ними однойменних і подібних функцій, але не одночасність дій. Тому автомат паралельної дії залишається ним же і у випадку, якщо цикли обробки зміщені по фазі, що робиться для того, щоб рівномірніше завантажити двигуни, скоротити неробочі ходи при завантаженні і розвантаженні тощо.

Якщо кількість позицій  $q$  велика, час обробки на двох або декількох позиціях перебивається, тобто обробка відбувається одночасно. При короткочасній обробці і тривалих неробочих ходах обробка на одній позиції закінчується раніше, ніж починається на іншій. Однак в усіх випадках автомат залишається автоматом паралельної дії, в якому за кожний інтервал часу роботи  $T$  випускається  $P$  виробів або порцій.

Тривалість робочого циклу автомата паралельної дії визначається інтервалом часу між двома спрацюваннями основних механізмів (супортів, інструментальних блоків тощо). Однак, якщо в автоматах послідовної дії тривалість робочого циклу збігається з інтервалом випуску ( $T = T_{\text{тр}}$ ), то в автоматах паралельної дії за період робочого циклу (для роторного автомата, наприклад, дорівнює одному обороту ротора) випускається  $p$  виробів ( $T = T_{\text{тр}}p$ ).

Якщо в автоматі або лінії концентруються однойменні й різнойменні операції, отримують автомат або автоматичну лінію **паралельно-послідовної (змішаної) дії**, де в кожному з потоків виріб проходить обробку на послідовних позиціях (рис. 4.4, *с*).

Будь-який багатопозиційний автомат може бути створений у різних варіантах. Так, шести позиційний автомат може бути створений як автомат послідовної (рис. 4.5, *а*), послідовно-паралельної (рис. 4.5, *б, в*) і паралельної дії (рис. 4.5, *г*). Із збільшенням кількості позицій, кількість можливих варіантів побудови автомата збільшується. Так, для дванадцятипозиційного автомата їх вже шість.

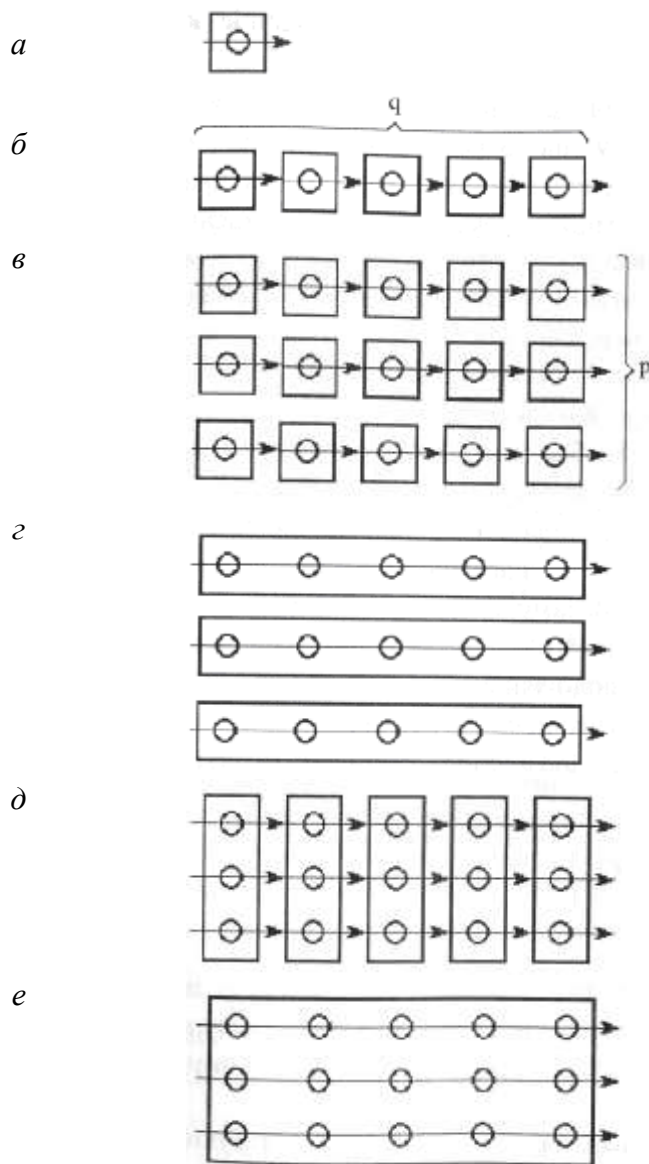
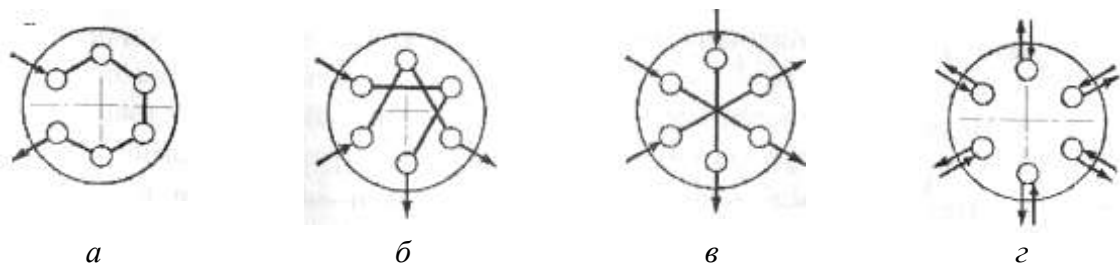


Рис. 4.4. Структурні схеми багатопозиційних автоматичних машин і ліній



а – послідовної дії  $q = 6, p = 1$ ; б – послідовно-паралельної дії  $q = 3, p = 2$ ;   
 в – послідовно-паралельної дії  $q = 2, p = 3$ ; г – паралельної дії:  $q = 1, p = 6$

Рис. 4.5. Варіанти побудови багатопозиційних машин

Застосування принципу суміщення операцій дає можливість широко застосовувати стандартизацію при проектуванні автоматів і автоматичних ліній, тому що більшість позиційних механізмів ідентичні. Наприклад, в автоматах паралельної дії, де на усіх позиціях виконуються одні і ті самі операції обробки, комплект із  $p$  ідентичних механізмів робочих і неробочих ходів, які й за конструкцією, як правило, однакові. В автоматах послідовної дії навіть різного технологічного призначення є ідентичні механізми, наприклад, поворотний стіл (карусель), механізми його повороту й фіксації, приводи позиційних механізмів (силові головки, напрямні тощо).

**Лекція 4.2 (14) Вибір оптимального ступеня диференціації і концентрації ТП. Розрахунок кількості позицій багатопозиційних машин послідовної дії. Приклади автоматів і ліній послідовно-паралельної дії**

*Автомати і автоматичні лінії послідовної дії.* Автомати і лінії послідовної дії створюють для повної або часткової обробки складних виробів. У них всю обробку диференціюють на групи операцій, за можливості однакової тривалості, і розміщують на різних позиціях згідно з прийнятою технологічною послідовністю. Обробка проводиться одночасно на всіх позиціях; виріб послідовно проходить через усі позиції й обробляється на них різним інструментом згідно з прийнятим ТП, так що одночасно в обробці знаходиться кількість виробів, що дорівнює кількості робочих позицій.

На рис. 4.6 показано структурні схеми компоновки автоматів і ліній послідовної дії.

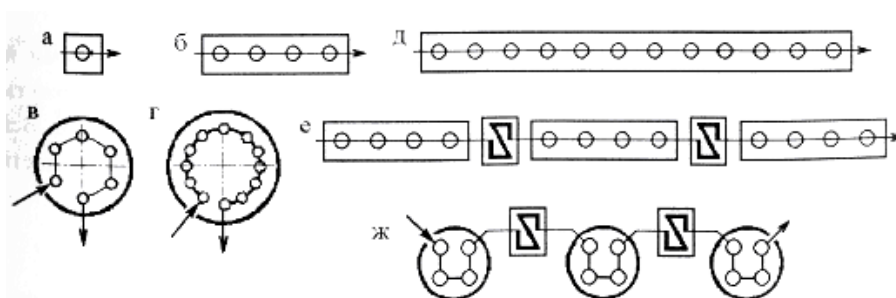


Рис. 4.6. Розвиток структурних схем компоновки автоматів і автоматичних ліній послідовної дії

Як уже зазначалося, повну обробку виробу тривалістю  $t_{p0}$  можна виконати в однопозиційному автоматі (рис. 4.6, а). Вимоги до росту продуктивності привели до створення автоматів послідовної дії з

диференціацією й концентрацією операцій ТП (рис. 4.6, б). При невеликій кількості позицій раціональним є кругове компонування багатопозиційних машини (рис. 4.6, в). Подальший ріст вимог до збільшення продуктивності приводить до зростання ступеня диференціації і концентрації операцій і кількості робочих позицій (рис. 4.6, г). Однак при великій кількості позицій нераціональним стає кругове компонування, оскільки зростає так званий «мертвий» простір всередині автомата, а тому повертаються до лінійного компонування (рис. 4.6, д).

Поступове зростання кількості позицій автомата (рис. 4.6, в, г, д) призводить до зниження надійності в роботі, тому що відмова інструмента чи механізму викликає зупинку всієї системи з причини жорсткого зв'язку між позиціями. Тому, для зниження загальних втрат, систему ділять на дільниці, між якими розміщують магазини-накопичувачі, які компенсують простої суміжних дільниць (рис. 4.6, е). Так, у разі відмови першої дільниці, друга отримує заготовки з накопичувача, встановленого між першою і другою дільницями. Якщо ж перша дільниця працює, а друга простоює, то заготовки поступають в накопичувач.

Однак при малій кількості позицій у дільниці стає доцільним повернення до кругового компонування позицій (рис. 4.6, ж).

**Наведений аналіз показує, що принципової різниці між автоматами й автоматичними лініями немає.** Системи (рис. 4.6, б, в, г, д) рівнозначно можуть бути віднесені і до багатопозиційних автоматів, і до автоматичних ліній. Всі вони будуються за єдиними законами і мають єдині закономірності продуктивності.

*Вибір оптимального ступеня диференціації і концентрації ТП.* Ця задача є однією з найважливіших в проектуванні автоматів послідовної дії. Вона розв'язується на основі законів агрегування робочих машин за критеріями високої продуктивності.

Продуктивність однопозиційної машини, яка повністю виконує ТП

$$Q_I = \frac{1}{t_{p0} + t_{x0} + \sum t_n} = \frac{1}{t_{p0} + t_{x0} + \sum c_i + t_e}, \quad (4.4)$$

де  $t_{p0}$  – сумарний час технологічної дії згідно з прийнятим ТП;  
 $t_{x0}$  – сумарний час неробочих ходів (завантаження, закріплення й розкріплення виробу, підведення й відведення інструмента тощо);  
 $\sum c_i$  – втрати по інструменту одного комплексу інструментів;  $t_e$  – втрати

по обладнанню одного комплекту механізмів і пристроїв;  $\sum t_{\text{п}} = \sum c_i + t_e$  – власні позациклові втрати однопозиційного автомата.

При переведенні конкретного ТП на багатопозиційну машину-автомат внаслідок **диференціації** і **концентрації** операцій змінюються за величиною всі складові затрати часу: тривалість обробки і втрат.

Для знаходження залежності продуктивності автоматів послідовної дії від ступеня диференціації ТП, тобто від кількості позицій  $q$ , необхідно визначити, як змінюються величини  $t_{p0}$ ,  $t_{x0}$ ,  $\sum c_i$ ,  $t_e$  залежно від  $q$ .

Згідно зі схемою (рис. 4.7) ТП **диференціюють** так, що комплект інструментів розсосереджений на всі  $q$  робочих позицій. Якщо прийняти, що диференціація рівномірна, то час обробки на  $i$ -й позиції

$$t_p = \frac{t_{p0}}{q}.$$

У багатопозиційних машинах більшість операцій неробочих ходів, як правило, суміщена, а несуміщеним залишається час транспортування виробу з позиції на позицію, тобто перевід каруселі, який не залежить від характеру ТП, а визначається лише динамічними характеристиками механізму переводу каруселі. Тому вважатимемо, що  $t_x$  не залежить від кількості позицій, і приймемо

$$t_{x0} = t_x = \text{const.}$$

При **диференціації** ТП на  $q$  частин в  $i$ -й позиції є  $1/q$  частини інструмента, а звідси власні позациклові втрати  $i$ -ї позиції

$$t_{\text{п}i} = \frac{\sum c_i}{q} + t_e.$$

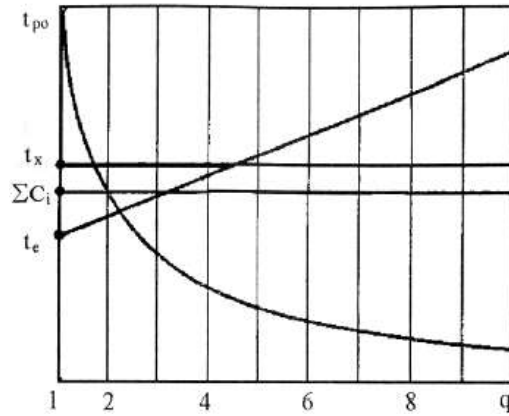


Рис. 4.7. Залежність робочих ходів і позациклових втрат автоматів послідовної дії від кількості робочих позицій

Оскільки відмова будь-якої позиції призводить до зупинки всієї машини, то власні позациклові втрати

$$\sum t_{\text{п}} = t_{\text{пi}}q = \sum c_i + qt_e. \quad (4.5)$$

Графіки залежності всіх видів затрат часу від кількості робочих позицій  $q$  показаний на рис. 4.7.

Підставляючи в формулу (4.4) всі види затрат часу при роботі на багатопозиційній машині, отримаємо

$$Q = \frac{1}{\frac{t_{p0}}{q} + t_x + \sum c_i + qt_e}. \quad (4.6)$$

Враховуючи, що  $t_{p0} = \frac{1}{K_0}$ ,

де  $K_0$  – технологічна продуктивність, формула (4.6) після відповідних перетворень матиме вигляд

$$Q = \frac{K_0q}{1 + K_0qt_x + K_0q\sum c_i + K_0q^2t_e}. \quad (4.7)$$

Отже, отримано функціональну залежність продуктивності багатопозиційної машини від кількості позицій та інших чинників.

На рис. 4.8 показані графіки залежності продуктивності автоматів послідовної дії від кількості позицій. При збільшенні кількості позицій продуктивність спочатку зростає, а потім знижується внаслідок зростання позациклових втрат. У такий спосіб значне збільшення  $q$  може привести до зворотного результату. Очевидно, в кожному конкретному випадку можна знайти раціональний ступінь диференціації ТП, тобто кількість позицій  $q_{\text{опт}}$ , при якій буде забезпечена **максимальна продуктивність**  $Q_{\text{max}}$ .

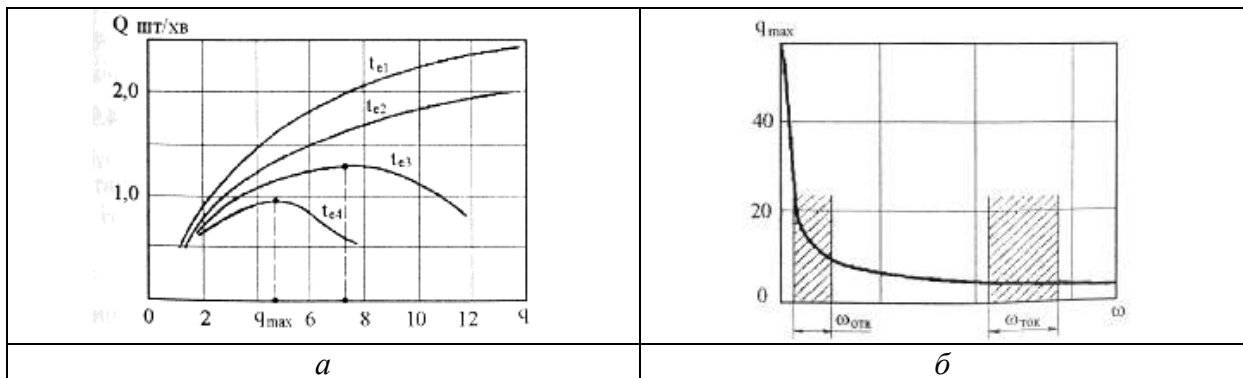


Рис. 4.8. Залежності продуктивності автоматів послідовної дії від кількості робочих позицій (а) і оптимальної кількості позицій від надійності механізмів і пристроїв (б)

В неавтоматизованому виробництві, коли ТП виконується групою з  $q$  послідовно працюючих однопозиційних машин, проблеми визначення оптимального ступеня диференціації ТП немає. Чим вищий ступінь диференціації ТП, тим вища технологічна продуктивність і нижчі втрати по інструменту кожної машини. Тому із збільшенням кількості послідовно працюючих однопозиційних машин продуктивність монотонно зростає.

Для розрахунку найвигіднішої кількості позицій необхідно дослідити на максимум функцію (4.7). Для цього знайдемо похідну  $dQ/dq$  і прирівняємо її до нуля

$$\frac{dQ}{dq} = \frac{K_0 [1 + K_0 q t_x + K_0 q \sum c_i + K_0 q^2 t_e]}{1 + K_0 q t_x + K_0 q \sum c_i + K_0 q^2 t_e} - \frac{K_0 q [K_0 t_x + K_0 \sum c_i + 2K_0 q t_e]}{1 + K_0 q t_x + K_0 q \sum c_i + K_0 q^2 t_e} \quad (4.8)$$

Спростивши вираз (4.8), отримаємо  $K_0 - K_0^2 q^2 t_e = 0$ .

$$\text{Звідки } q = \sqrt{\frac{1}{K_0 t_e}}.$$

$$\text{Враховуючи, що } K_0 = \frac{1}{t_{p0}}, \text{ а } t_e = \omega_b \theta_{cp}$$

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{t_{p0}}{\omega_b \theta_{cp}}}. \quad (4.9)$$

Отже, найвигідніша кількість позицій машини послідовної дії залежить тільки від двох чинників – загальної тривалості обробки виробу і надійності в роботі позиційних механізмів і пристроїв.

Графіки залежності  $q$  від цих чинників показані на рис. 4.8, б.

Формула (4.6) і графічні залежності (рис. 4.8, б) дають змогу наочно пояснити тенденції в проектуванні багатопозиційних машин, які склалися у різних галузях машинобудування. У металообробці, де умови роботи інструмента і механізмів важкі, інтенсивність відмов  $\omega_b$  (рис. 4.8, б) велика, тому кількість позицій у багатошпиндельних токарних автоматах незначна ( $q=4,6,8$ ).

І навпаки, у виробництві електронних приладів, у харчовій і фармацевтичній промисловості автомати й автоматичні лінії мають кількість позицій  $q=24,36,48$  і більше. Це пояснюється легшими умовами роботи – незначні технологічні зусилля, низька інтенсивність відмов.

Вказані закономірності **продуктивності** й вибору кількості **позицій** справедливі також і для послідовної дії з жорстким між агрегатним зв'язком (рис. 4.6, б, в, г, д). В **автоматичних лініях**, поділених на дільниці, залежність тривалості робочого циклу від кількості позицій збігається повністю, як і для багатопозиційних автоматів. Позациклові втрати однієї дільниці (при поділі лінії за методом рівних втрат і повної компенсації накопичувачами простоїв решти дільниць) становить

$$t_{\text{дйл}} = \frac{\sum t_n}{n_y} = \frac{\sum c_i + q t_e}{n_y}, \quad (4.10)$$

де  $n_y$  – кількість дільниць, на які поділено лінію.

Якщо компенсація простоїв неповна, що часто буває з причини обмеженої ємності накопичувачів, простої  $i$ -ї дільниці зростають у  $W$  разів

$$t_{\text{дін}} = \frac{\sum c_i + qt_e}{n_y} w. \quad (4.11)$$

Підставляючи значення  $t_{\text{дін}}$  (ділянки) в загальну формулу продуктивності, отримаємо

$$Q_{\text{ал}} = \frac{1}{T + t_{\text{дін}}} = \frac{1}{\frac{t_{\text{р0}}}{q} + \frac{\sum c_i + qt_e}{n_y} w}. \quad (4.12)$$

На рис. 4.9 графіки залежності продуктивності автоматичних ліній від кількості робочих позицій при різній кількості ділянок показують, що поділ на ділянки дає змогу підвищити найвищий ступінь диференціації й концентрації операцій ТП.

При виборі кількості позицій автоматичної лінії необхідно мати на увазі, що не завжди можна створити лінію з кількістю позицій, яка забезпечує теоретичну максимальну продуктивність. Переважно характер ТП і конструктивні міркування не дають змоги вибрати кількість позицій меншу від певного значення  $Q_{\text{мін}}$ , враховуючи, що в кожній позиції може виконуватися, як правило, лише один хід механізму і інструмента за робочий цикл.

Оскільки автоматична лінія може включати декілька технологічних ділянок, на границях яких відбувається перебезування виробу, то мінімальна кількість позицій  $Q_{\text{мін}}$ , яка визначається ТП, може значно перевищити кількість позицій, яка забезпечує теоретично максимальну продуктивність  $Q_{\text{макс}}$ . При цьому автоматична лінія забезпечує продуктивність, яка значно менша від величини  $Q_{\text{макс}}$ .

З іншого боку, завжди існує максимально можлива кількість робочих позицій, яка визначається неможливістю диференціювання таких операцій, як чистове розточування, нарізання різьби тощо. Крім того, потрібно не забувати, що не завжди лінія проектується на максимальну продуктивність. Насамперед при проектуванні лінії задається її проектна потужність  $Q_{\text{п}}$ , яка визначається потребою у цих виробках та іншими міркуваннями. Якщо  $Q_{\text{п}} < Q_{\text{макс}}$ , то побудувавши залежність продуктивності від кількості позицій, можна визначити оптимальний ступінь диференціації і концентрації операцій, який забезпечить задану

продуктивність  $Q_{\Pi}$ . Якщо ж  $Q_{\Pi} > Q_{\max}$ , то задана продуктивність не може бути забезпечена.

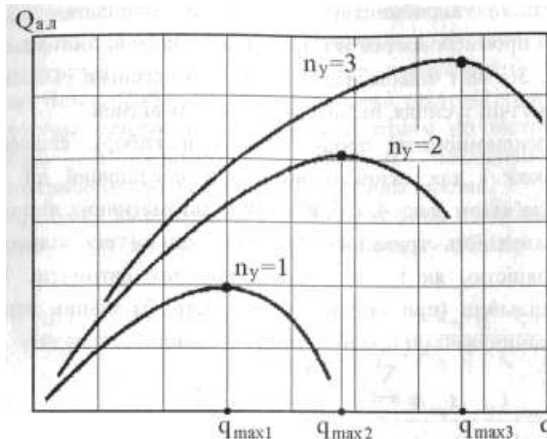


Рис. 4.9. Продуктивність автоматичних ліній послідовної дії при різній кількості позицій і ділянок, на які поділена лінія

*Розрахунок кількості позицій багатопозиційних машин послідовної дії.* Основним критерієм вибору кількості позицій будь-яких багатопозиційних машин-автоматів і автоматичних ліній, в тому числі і послідовної дії, є необхідність забезпечення високої продуктивності. Розрахунок і вибір кількості позицій універсальних автоматів має багато особливостей.

У тих випадках, коли технологічні операції не можна диференціювати по різних робочих позиціях, то загальна кількість позицій машини визначається кількістю технологічних (робочих і допоміжних) операцій. При цьому передбачаються 1–3 резервні позиції. Для зручності проектування та виготовлення кількість позицій приймають кратною двом.

**Універсальні автомати** проектують для широкого діапазону виробів і умов використання, які різні для різних конкретних зразків. Тому при розрахунку кількості позицій за можливості диференціювання технологічних операцій виходять з максимально можливої продуктивності при обробці типових виробів.

Тоді кількість позицій

$$q = \sqrt{\frac{t_{p0}}{\omega \theta_p}},$$

де  $t_{p0}$  – сумарна тривалість несуміщених операцій, розрахована за вибраним типовим зразком виробів;  $\omega$  – параметр потоку відмов;  $\theta_p$  – параметр ремонтоздатності автомата в процесі експлуатації.

Ці параметри визначаються шляхом експлуатаційних досліджень автоматів аналогічного технологічного призначення.

За відсутності достовірних значень  $\omega$  і  $\theta_p$  кількість позицій автоматів і автоматичних ліній послідовної дії визначають за аналогією з відомими діючими конструкціями.

**Спеціальні автомати** і напівавтомати, а також більшість автоматичних ліній проєктують для обробки конкретних виробів і конкретних умов експлуатації.

Кількість позицій спеціальних автоматів і напівавтоматів розраховують, виходячи або з максимальної можливої продуктивності, коли машина працює автономно, або з потрібної (заданої) продуктивності, коли машина працюватиме в існуючій поточній лінії. В останньому випадку задана і, відповідно, фактична продуктивність автомата може бути нижчою за максимально можливу.

Розглянемо для **прикладу розрахунок кількості позицій** напівавтомата відкачування електровакуумних приладів згідно з технологічними режимами, показаними на рис. 4.2. крім того задані такі вхідні дані:

- $\Pi = 540\,000$  шт./рік – річна програма випуску виробів;
- $\Phi = 2\,000$  год – річний фонд робочого часу;
- $z = 1$  – кількість робочих змін на добу;
- $\eta_b = 0,8$  – коефіцієнт використання машини.

Розрахунок кількості позицій проводимо у такій послідовності:

1. Визначаємо потрібну фактичну продуктивність напівавтомата, яка забезпечить виконання заданої річної програми

$$Q_{\text{ф.н.}} = \frac{\Pi}{\Phi z} = \frac{540000}{2000 \cdot 1} = 270 \text{ шт./год} = 4,5 \text{ шт./хв.}$$

2. Визначимо циклову продуктивність

$$Q_{\text{ц}} = \frac{Q_{\text{ф.н.}}}{\eta_b} = \frac{4,5}{0,8} = 5,62 \text{ шт./хв.}$$

3. Визначаємо тривалість робочого циклу

$$T = \frac{60}{Q_{\text{ц}}} = \frac{60}{5,62} = 10,7 \text{ с.}$$

Ця величина відповідає інтервалу часу між двома поворотами каруселі, тобто сумарному часу  $t_p$  її стоянки, коли виконується ТП, і часу  $t_x$  переводу каруселі з позиції на позицію. Тобто

$$T = t_p + t_x.$$

4. Визначаємо тривалість технологічної дії. Тривалість основних сумісних операцій ТП (згідно з рис. 4.2):

- попереднє відкачування й перевірка герметичності  $t_{p1} = 15$  с;
- відкачування форвакуумними насосами  $t_{p2} = 260$  с;
- відкачування високовакуумними дифузійними насосами  $t_{p3} = 120$  с;
- відпай і знімання приладу  $t_{p6} = 5$  с.

Сумарна тривалість технологічної дії дорівнює сумі несуміщених операцій

$$t_{p0} = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p6} = 15 + 260 + 120 + 5 = 400 \text{ с.}$$

Суміщені робочі операції, тривалість яких в циклі не враховується:

- прогрів та дегазація арматури  $t_{p4} = 200$  с;
- тренування катода  $t_{p5} = 160$  с.

Час ручних операцій, які виконує оператор:

- очищення гнізда, завантаження приладу в гніздо  $t_{d1} = 17$  с;
- орієнтація приладу та його затискання  $t_{d2} = 8$  с.

5. Визначаємо тривалість робочого ходу – час стоянки каруселі на робочій позиції

$$t_p = T - t_x.$$

В багатопозиційних відкачних автоматах послідовної дії єдиними неробочими операціями не суміщеними з обробкою (відкачуванням) є поворот і фіксація каруселі, всі інші неробочі (допоміжні) операції (завантаження, орієнтація, затискання тощо) виконуються на спеціальних допоміжних позиціях і їх тривалість в робочому циклі не враховується.

Час повороту і фіксації каруселі визначається динамікою машини і залежить від досконалості механізмів неробочого ходу. У відкачних автоматах з постійною частотою обертання розподільчого вала  $t_x = (1/6 - 1/4)T$ , тобто в цьому випадку  $t_x = 1,7 - 2,7$  с. Приймаємо  $t_x = 1,7$  с.

Тоді

$$t_p = 10,7 - 1,7 = 9 \text{ с.}$$

6. Визначаємо кількість позицій для окремих робочих операцій:

– на попереднє відкачування й перевірку герметичності

$$q_{p1} = \frac{t_{p1}}{t_p} = \frac{15}{9} = 1,66, \text{ приймаємо } q_{p1} = 2;$$

– на відкачування форвакуумними насосами

$$q_{p2} = \frac{t_{p2}}{t_p} = \frac{260}{9} = 28,9, \text{ приймаємо } q_{p2} = 29;$$

– на відкачування високовакуумними дифузійними насосами

$$q_{p3} = \frac{t_{p3}}{t_p} = \frac{120}{9} = 13,3, \text{ приймаємо } q_{p3} = 14;$$

– на відпаювання і знімання приладу

$$q_{p6} = \frac{t_{p6}}{t_p} = \frac{5}{9} = 0,55, \text{ приймаємо } q_{p6} = 1.$$

Кількість робочих позицій

$$q_p = q_{p1} + q_{p2} + q_{p3} + q_{p6} = 2 + 29 + 14 + 1 = 46.$$

Визначаємо кількість допоміжних позицій:

– на зачищення гнізда і завантаження приладу

$$q_{д1} = \frac{t_{д1}}{t_p} = \frac{17}{9} = 1,88, \text{ приймаємо } q_{д1} = 2;$$

– на орієнтацію приладу і затискання в патроні

$$q_{д2} = \frac{t_{д2}}{t_p} = \frac{8}{9} = 0,88, \text{ приймаємо } q_{д2} = 1.$$

Кількість допоміжних операцій:  $q_d = q_{д1} + q_{д2} = 2+1=3$ .

7. Загальна кількість позицій  $q = q_p + q_d = 46+3=49$ .

8. Розподіляємо робочі і допоміжні операції за номерами робочих позицій, приймаючи за 1-й номер позицію попереднього відкачування. Заповнюємо гранку «№ позиції» на рис. 4.2.

9. При заданих кутах повороту розподільчого вала на виконання робочих (кут  $\alpha$ ) і неробочих (кут  $\beta$ ) ходів робочого циклу визначаємо швидкість обертання розподільчого вала на робочому і неробочому ходах.

Приймаємо  $\alpha = \beta, \alpha + \beta = 360^\circ$ :

– на робочому ходу

$$n_{рв1} = \frac{60\alpha}{t_p 360} = \frac{60 \cdot 180}{9 \cdot 360} = 3 \text{ хв}^{-1};$$

– на робочому ходу

$$n_{рв2} = \frac{60\beta}{t_x 360} = \frac{60 \cdot 180}{1,7 \cdot 360} = 17,6 \text{ хв}^{-1}.$$

Згідно з результатами розрахунку викреслюють комбіновану вакуумно-технологічну схему напівавтомата як складову частину принципової схеми.

При більшій потрібній продуктивності доводиться робити декілька напівавтоматів. Так, наприклад, при  $Q_{ф.н.} = 10$  шт./хв тривалість стоянки каруселі на позиції бути не більшою за 3,2 с. А операція відпайки приладу становить 5 с і її не можна диференціювати – розподіляти на дві позиції. В

такому разі, виходячи з тривалості не диференційної операції, визначають максимально можливу продуктивність напівавтомата при заданому ТП.

Мінімально можлива тривалість робочого циклу

$$T_{\min} = t_{p0} + t_x = 5 + 1,7 = 6,7 \text{ с.}$$

Максимально можлива продуктивність

$$Q_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} \eta_B = \frac{60}{6,6} 0,8 = 7,2 \text{ шт./хв.}$$

Це означає, що для забезпечення потрібної продуктивності 10 шт./хв потрібно мати два відкачні напівавтомати.

Необхідна продуктивність одного напівавтомата

$$Q_{1\text{тг}} = 10/2 = 5 < Q_{\max}.$$

### Лекція 4.3 (15) Автомати паралельної дії. Автомати і лінії послідовно-паралельної дії. Роторні та конвеєрно-роторні машини. Основні поняття та визначення. Роторний автомат (РА). Автоматична роторна лінія (АРЛ)

*А Автомати паралельної дії.* Існують такі ТП (штамбування, витяжка, прошивання, обрізання), в яких тривалість диференційованих операцій дуже мала (порядку  $\leq 1$  с). Це практично виключає можливість подальшої диференціації ТП. Концентрація різнойменних операцій в багатопозиційних машинах не раціональна, тому що тривалість операції (обробки) менша від тривалості неробочого ходу (повороту каруселі).

Для таких операцій доцільне створення багатопозиційних автоматів паралельної дії з концентрацією однойменних операцій. В основу створення автоматів паралельної дії покладені однопозиційні машини, які виконують окремі операції ТП (рис. 4.4, б).

Оскільки однопозиційна машина (рис. 4.10, а) має обмежену продуктивність, то для забезпечення зростаючих вимог до останньої, доводиться застосовувати декілька паралельно працюючих машин, які виконують однакові операції (рис. 4.10, б).

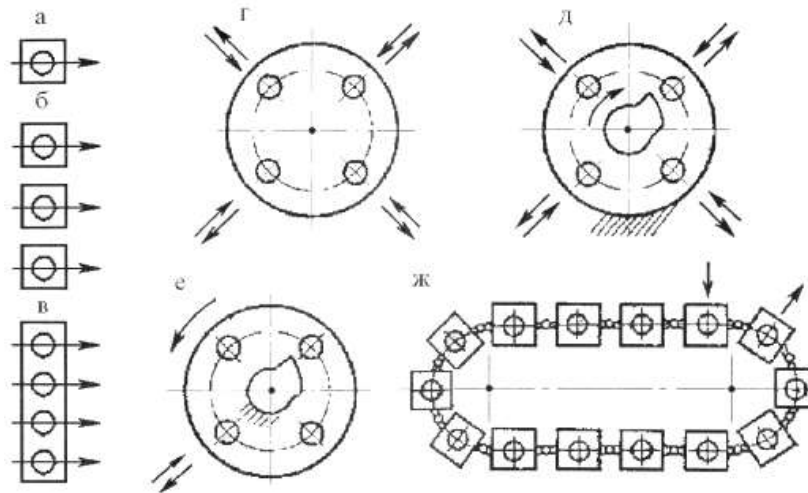


Рис. 4.10. Розвиток структурних схем компоновання машин паралельної дії

У разі об'єднання таких машин в одну з'являється автомат паралельної дії (рис. 4.10, в), який по суті є групою однопозиційних автоматів, скомпонованих на одній станині. Це приводить до спрощення конструкції порівняно з окремими автоматами, тому що привід, станина та інші механізми стають загальними, зменшується кількість двигунів. Разом з тим відмови на будь-якому шпинделі викликають відмови простої всіх інших, чого немає при використанні однопозиційних автоматів.

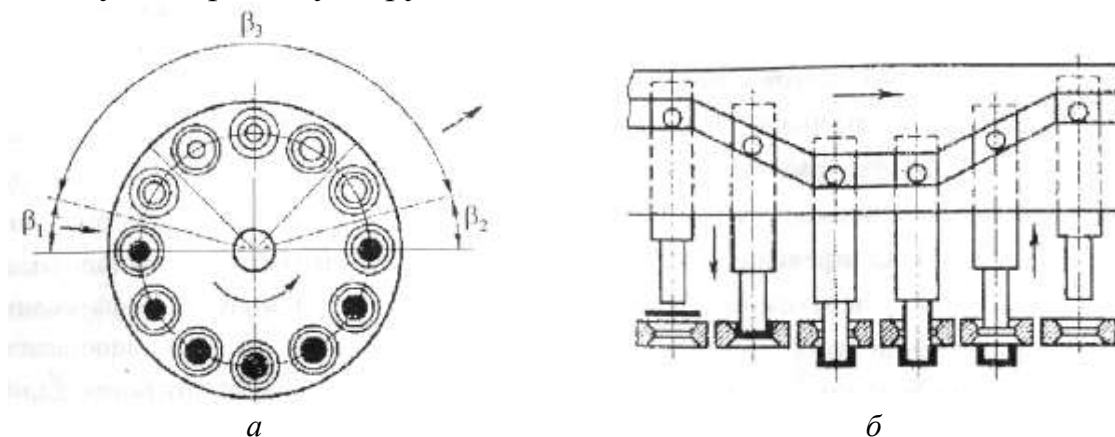
Зручним в обслуговуванні є автомат з розміщенням шпинделів по колу (рис. 4.10, з), він компактніший. Однак при ручному завантаженні машину неможливо запустити, поки всі заготовки не будуть замінені. З цієї точки зору раціональнішою є схема, показана на рис. 4.10, д. Тут також автомат чи напівавтомат має центральний розподільчий вал з рівномірним обертанням, а блок шпинделів – нерухомий. При обертанні розподільчого вала, на якому закріплені кулачки всіх механізмів, цикли обробки на всіх шпинделях по фазі. Отже, якщо на одному шпинделі йде завантаження, то на другому в цей самий час відбувається затискання заготовки, на третьому – обробка тощо. При ручному завантаженні й розвантаженні така схема незручна в обслуговуванні, оскільки оператор повинен ходити довкола машини одночасно з обертанням розподільчого вала, тому що зона завантаження-розвантаження змінюється згідно з обертанням розподільчого вала. При автоматичному завантаженні через це неможливо машину встановити в автоматичну лінію. Продуктивність автоматів, побудованих за всіма трьома схемами (рис. 4.10, в, з, д), практично залишається постійною.

Продуктивність машини паралельної дії майже не змінюється, якщо зупинити розподільчий вал, а обертати карусель (рис. 4.10, е). Обробка виробів в цьому випадку відбувається при неперервному обертанні

каруселі, тобто на ходу. У таких машинах карусель назвали ротором а саму машину – роторною. Вони широко розповсюджені в різних галузях виробництва.

При великій кількості позицій колове компонування машини не вигідне через значний невикористаний простір всередині ротора. Тому в таких випадках застосовують конвеєрну схему компонування (рис. 4.10, ж).

Роторний, конвеєрний та роторно-конвеєрний принципи компонування машини паралельної дії дають можливість виконувати завантаження і розвантаження виробів завжди в одній зоні, що дає змогу легко встановлювати автомати в лінію. А при ручному завантаженні забезпечують простоту й зручність.



*а* – ротор в плані; *б* – розгортка робочої зони ротора по колу інструментальних блоків  
Рис. 4.11. Схема роторної машини

Застосування роторних машин особливо ефективно при обробці дрібних деталей простої конфігурації з короткими циклами при високій продуктивності. Роторно-конвеєрні машини здатні забезпечити обробку виробів із значною тривалістю технологічного циклу.

Характерною особливістю **роторних машин** є те, що обробка виробу відбувається в процесі його транспортування, що забезпечує значне скорочення втрат часу на неробочі ходи. По колу робочого ротора (рис. 4.11, *а*), який постійно обертається, розміщені робочі позиції (шпинделі), які містять у собі інструментальні блоки, що виконують операції ТП (на рис. 4.11, *б* – це пуансон і матриця для штампування виробів типу ковпачка). Хід робочих органів здійснюється під дією нерухомих кулачків (торцевих копирів), розміщених на статорі. Завантаження робочого ротора виконується транспортним ротором в процесі неперервного обертання. В зоні  $\beta_1$  відбувається швидке підведення інструмента; після цього – технологічне переміщення (штампування тощо), а в зоні  $\beta_2$  – інструмент

відводиться. В зоні  $\beta_3$  оброблені вироби видаляються із інструментальних блоків і завантажуються нова заготовка.

В машинах паралельної дії за один робочий цикл виготовляється не один, а  $p$  виробів, тому її продуктивність

$$Q_p = \frac{p}{t_p + t_x + \sum t_{\pi}}. \quad (4.13)$$

Час обробки в автоматах паралельної дії порівняно з однопозиційною машиною не змінюється, тому  $K_0 = K$ ;  $t_{p0} = \text{const}$ . Сумарні позациклові втрати порівняно з однопозиційною машиною зростають в  $p$  разів, тому що  $p$  робочих позицій мають  $p$  комплектів інструментів для повної обробки деталі. Кількість механізмів порівняно з однопозиційною машиною також зростає в  $p$  разів.

В такий спосіб продуктивність машин паралельної дії, зокрема роторних та конвеєрно-роторних, можна виразити формулою

$$Q_p = \frac{p}{t_p + t_x + p(\sum c_i + t_e)} = \frac{pK_0}{1 + K_0 t_x + pK_0(\sum c_i + t_e)}. \quad (4.14)$$

У разі, якщо є група  $p$  однопозиційних автоматів, які працюють паралельно, продуктивність зростає в  $p$  разів, тому що позациклові втрати залишаються незмінними.

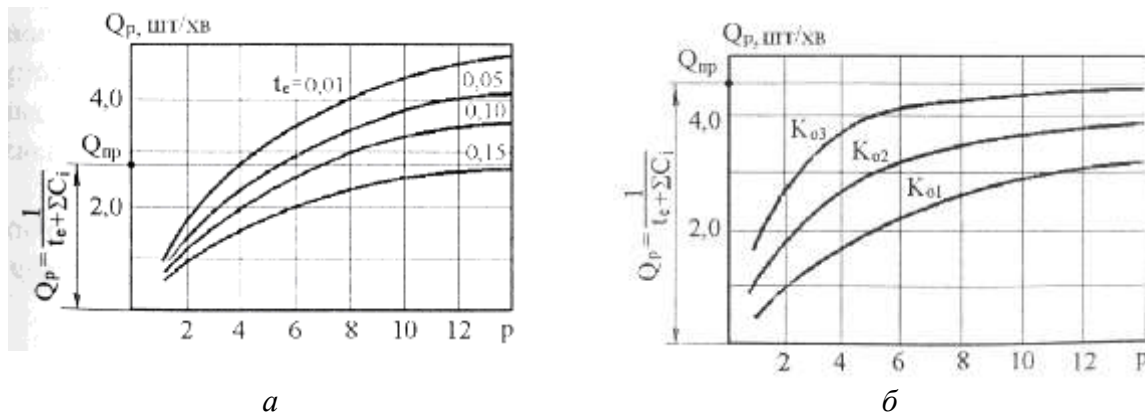
Як показують графіки (рис. 4.12) автомати паралельної дії не мають максимуму продуктивності. Однак це не означає, що їх продуктивність можна збільшити необмежено, збільшуючи кількість позицій  $p$ . Ріст продуктивності поступово зменшується, наближаючись асимптотично до границі, величину якої можна визначити з умови, коли  $p \rightarrow \infty$ .

Всі методи збільшення продуктивності роторних і конвеєрних автоматів – збільшення кількості позицій, підвищення швидкості обертання роторів – справедливі до стаціонарних автоматів паралельної дії.

Зі збільшення швидкості ротора чи конвеєра кут робочого ходу

$$\alpha = 360^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)$$

залишається сталим, а час робочих ходів скорочується, а це означає, що зростає величина  $K$ . Однак фактична продуктивність при цьому зростає не пропорційно зростанню швидкості ротора з причини зниження коефіцієнта використання машини. Як видно з рис. 4.9, підвищення технологічної продуктивності при постійній кількості позицій  $p$  має свою межу, яка визначається величиною поза циклових втрат машини. Аналогічна межа є у роторного і конвеєрного типу із значною кількістю робочих позицій.



*a* – при різних поза циклових втратах; *б* – при різній тривалості обробки  
 Рис. 4.12. Продуктивність автоматів паралельної дії залежно від кількості позицій

$$Q_{p \max} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{pK_0}{1 + K_0 t_x + pK_0 (\sum c_i + t_e)} = \frac{1}{\sum c_i + t_e}. \quad (4.14a)$$

Графіки (рис. 4.12, б) показують, що хоча продуктивність монотонно зростає, настає момент, коли збільшення  $p$  недоцільне, тому що приріст продуктивності є незначним, а вартість зростає. Аналіз показує, що підвищення продуктивності роторних і конвеєрних машин є найефективнішим при малому значенні величини позациклових втрат. Тому їх доцільно застосовувати для операцій вирубки, чеканки і штампування, контролю, фізико-хімічної та інших видів обробки.

**Автоматична лінія паралельної дії** – це система паралельно діючих одно позиційних автоматів, які об’єднані системою автоматичного транспортування виробів.

*Автомати і лінії послідовно-паралельної дії.* За схемою послідовно-паралельної дії створюють високопродуктивні автомати і всі багато потокові автоматичні лінії. На рис. 4.13 зображено схеми різних варіантів автоматів і автоматичних ліній послідовно-паралельної дії.

На схемі рис. 4.13, *a* показана система з  $p$  паралельних потоків з лінійно розміщеними послідовними позиціями. За такою схемою будують

автоматичні лінії з жорстким зв'язком, коли після кожного кроку транспортера деталі послідовно переміщуються на чергові позиції для обробки.

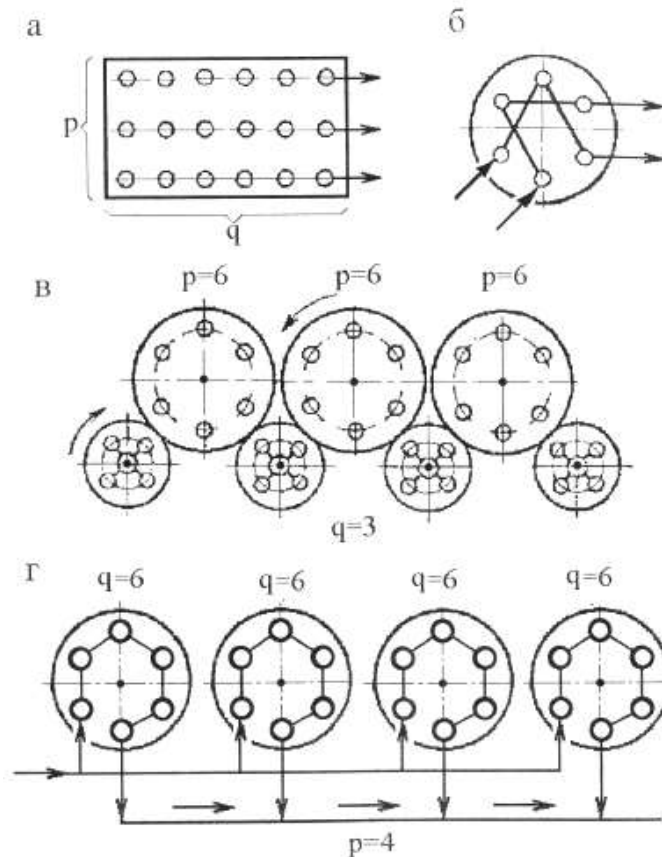


Рис. 4.13. Варіанти побудови автоматів і автоматичних ліній послідовно-паралельної дії

За схемою рис. 4.13, б працюють автомати і лінії з круговим компонуванням робочих позицій. Тут може бути багато різних конструктивних варіантів. Так, 12-позиційний автомат (рис. 4.14) можна спроектувати в таких 4-х варіантах:

- а) шість послідовних операцій здійснюються двома потоками ( $p = 2; q = 6$ );
- б) 4-и послідовні операції виконуються 3-а потоками ( $p = 3; q = 4$ );
- в) три послідовні операції виконуються чотирма потоками ( $p = 4; q = 3$ );
- г) дві послідовні операції виконуються 6-а потоками ( $p = 6; q = 2$ ).

При збільшенні кількості позицій в автоматі послідовно-паралельної дії кількість можливих комбінацій зростає.

Автоматичні лінії послідовно-паралельної дії можна будувати в двох основних варіантах:

а) лінії з автоматів паралельної дії, об'єднаних послідовно; якщо це автомати роторного типу, то і лінії називаються роторними;

б) лінії з багатопозиційних автоматів послідовної дії об'єднаних паралельно.

На рис. 4.13, в зображена схема автоматичної лінії з роторних автоматів пов'язаних між собою транспортними роторами. В кожному роторі паралельно (із зміщенням за фазою) обробляється п'ять виробів. На кожному роторі виконується одна операція; вироби, переміщаючись послідовно з одного ротора на інший, поступово проходять весь процес обробки. На рис. 4.13, г зображено схему автоматичної лінії, яка складається з багатопозиційних автоматів послідовної дії, що працюють паралельно.

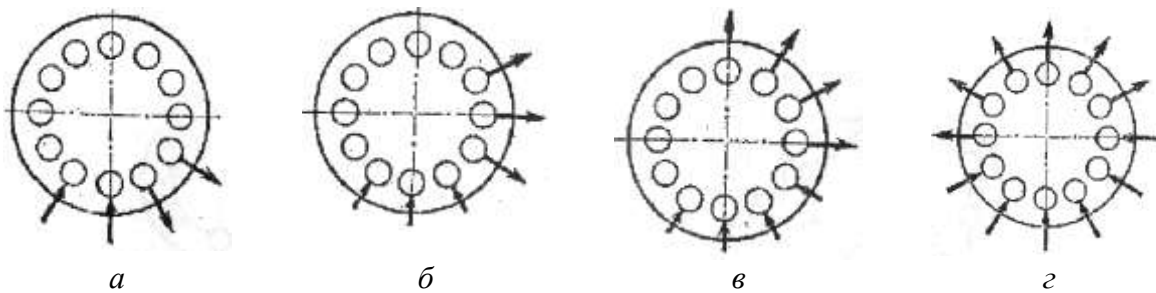


Рис. 4.14. Варіанти побудови 12-позиційних автоматів паралельно-послідовної дії

В автоматах послідовно-паралельної дії в обробку поступає  $p$  виробів (потоків), які видаються за один робочий цикл. Отже, продуктивність

$$Q_{pq} = \frac{p}{T + \sum t_{\Pi}}$$

Процес обробки  $t_{p0}$  диференційований на  $q$  частин, отже, час робочого ходу (виконання диференційованої операції)

$$t_p = \frac{t_{p0}}{q}$$

Тривалість робочого циклу

$$T = \frac{t_{p0}}{q} + t_x.$$

Тривалість неробочих ходів  $t_x$  (час переміщення транспортера на один крок) можна вважати незалежно від кількості позицій. Позациклові втрати одного потоку такі самі, як для автомата послідовної дії, тобто

$$t_{ni} = \sum c_i + qt_e, \quad (4.15)$$

де  $\sum c_i$  – втрати одного комплекту інструментів;  $t_e$  – втрати одного комплекту механізмів і пристроїв (однієї позиції).

Якщо всі  $p$  потоків заблоковані (за відмови будь-якого елемента виходить з ладу автомат), сумарні втрати становлять

$$\sum t_{ni} = pt_{ni} = p(\sum c_i + qt_e). \quad (4.16)$$

Підставляючи значення (4.16) у формулу продуктивності, отримаємо

$$Q_{pq} = \frac{p}{T + \sum t_{ni}} = \frac{p}{\frac{t_{p0}}{q} + t_x + p(\sum c_i + qt_e)}. \quad (4.17)$$

Підставивши  $t_{p0} = \frac{1}{K_0}$  в (4.17), отримаємо

$$Q_{pq} = \frac{pqK_0}{1 + qK_0t_x + pqK_0\sum c_i + pq^2K_0t_e}. \quad (4.18)$$

Очевидно, що при  $p=1$  формула (4.18) виражає продуктивність автоматів послідовної дії, а при  $q=1$  – продуктивність автоматів паралельної дії, тобто вона є найбільш загальною.

Графіки продуктивності автоматів послідовно-паралельної дії (рис. 4.15) показують, що й тут є максимум продуктивності при певному значенні  $q_{max}$ . Причому, чим більша кількість паралельних потоків, тим вища продуктивність і нижче значення  $q_{max}$ .

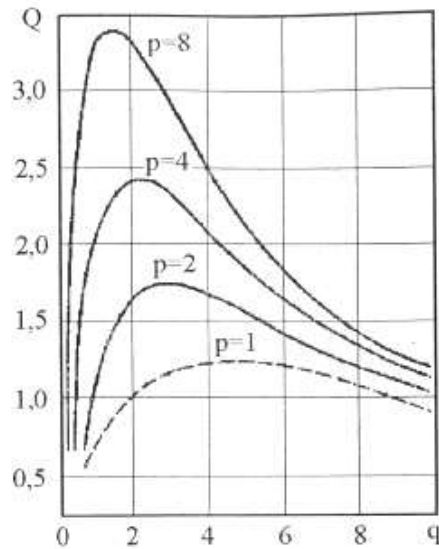


Рис. 4.15. Продуктивність автоматів паралельно-послідовної дії залежно від кількості послідовних позицій  $q$  і паралельних потоків  $p$  обробки

Величину  $q_{\max}$  визначають шляхом диференціювання рівняння (4.18) по  $q$  і прирівнюючи результат до нуля. Тоді

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{1}{pK_0 t_e}}. \quad (4.19)$$

Оскільки  $K_0 = \frac{1}{t_{p0}}$ , формулу (4.19) можна записати у вигляді:

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{t_{p0}}{p t_e}}. \quad (4.20)$$

Враховуючи, що  $t_e = \omega_{\text{cp}} \theta_{\text{cp}}$

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{t_{p0}}{p \omega_{\text{cp}} \theta_{\text{cp}}}}. \quad (4.21)$$

На відміну від автоматів автоматичні лінії послідовно-паралельної дії мають, як правило, потоки, кількість яких не впливає на величину позациклових втрат. Тому позациклові втрати лінії визначаються тільки втратами послідовно зблокованих машин одного потоку

$$t_{\pi} = \sum c_i + qt_e.$$

Продуктивність автоматичних ліній послідовно-паралельної дії з гнучким зв'язком

$$Q_{pq} = \frac{pqK_0}{1 + qK_0t_x + qK_0(\sum c_i + qt_e)}. \quad (4.22)$$

Як видно з (4.22), автомати і лінії послідовно-паралельної дії мають найвищі можливості забезпечення росту продуктивності ( $K = pqK_0$ ). Однак багато заблокованих механізмів, пристроїв та інструментів зумовлюють високі позациклові втрати. Тому, чим складніший автомат (вищі значення  $p, q$ ), тим вищі вимоги до надійності роботи механізмів і пристроїв, інструменту, рівня експлуатації.

Розглянемо декілька прикладів виконання технологічних машин-автоматів послідовної дії.

*Автомат для складання високочастотних розеток (модель АЛС-2).*

Автомат для складання високочастотних розеток (рис. 4.16) – це багатопозиційна машина послідовної дії з транспортним органом у вигляді каруселі, що здійснює кроковий обертовий рух.

На кожній позиції каруселі встановлено по одній складальній оправці, у якій відбувається складання одного виробу. Навколо каруселі розміщені робочі позиції, які виконують такі технологічні переходи: установка корпусу розетки в оправку каруселі; установка нижнього ізолятора у корпус розетки; установка гнізда у нижній ізолятор; установка верхнього ізолятора на гніздо; установка фіксуючого кільця у корпус розетки.

Технічні дані автомата для складання високочастотних розеток

Продуктивність	1200–2400 шт./год
Енергетичні джерела: мережа електрична, трифазна	220 В, 50 Гц
мережа пневматична	0,1–1,0 МПа
Споживана потужність, електрична	2,5 кВт
Габаритні розміри: довжина	1350 мм
ширина	1250 мм
висота	1400 мм
Маса, не більше	500 кг



Рис. 4.16. Автомат для складання високочастотних розеток

*Машина для лиття керамічних плівок (модель УПЛ-7)*

Машина (рис. 4.17) призначена для безперервного лиття керамічних плівок із шлікера на рухому технологічну основу (поліетилентерефталанту плівку). Транспортним органом у цьому разі є технологічна основа, що рухається безперервно, вздовж якої розміщені у порядку виконання технологічних операцій такі робочі позиції: лиття плівки, контроль і регулювання товщини плівки, тунельна сушарка з чотирма температурними зонами, позиція сушки в атмосферному середовищі (нижня частина каркаса, де технологічна основа з відлітою плівкою переміщується у зворотному напрямку) і позиція відділення плівки від основи і намотування її на барабан.

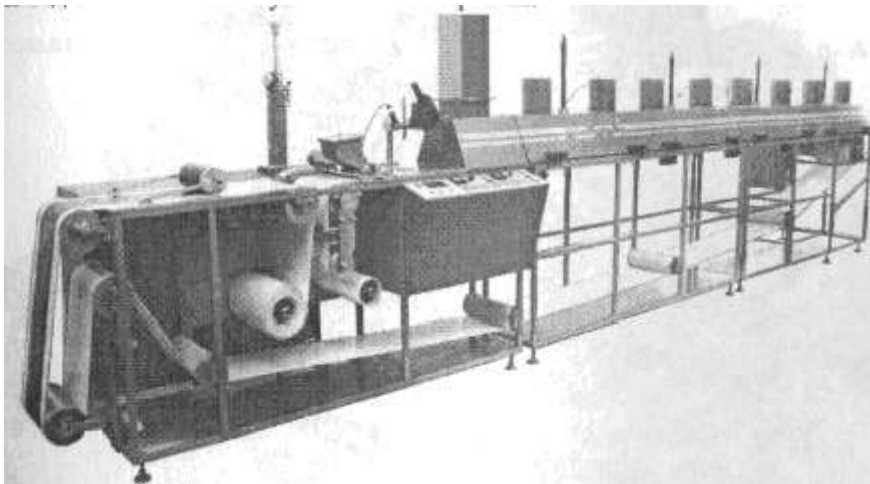


Рис. 4.17. Машина для лиття керамічних плівок

Технічні дані машини для лиття керамічних плівок

Товщина плівки, що відливається, регульована	0,2–1,0 мм
Швидкість руху технологічної основи, регульована	50–600 мм/хв
Продуктивність	1,8–7,2 м <sup>2</sup> /год
Енергетичні джерела: мережа електрична, трифазна	220 В, 50 Гц
мережа пневматична	0,1–1,0 МПа
Споживана потужність, електрична	2,5 кВт
Габаритні розміри: довжина	6000 мм
	ширина 800 мм
	висота 1500 мм
Маса, не більше	500 кг

*Основні поняття та визначення.* Роторні та конвеєрно-роторні машини відносяться до багатопозиційних машин паралельної дії із зміщенням в часі циклом роботи робочих позицій. Особливістю цих машин є те, що ТП здійснюється при безперервному переміщенні об'єкта обробки разом із робочим інструментом, робочий цикл не залежить від технологічного, у деяких випадках є можливість оперативної заміни інструмента.

**Роторний автомат (РА)** – це багатопозиційна технологічна машина паралельної дії із зміщенням в часі циклом роботи робочих позицій. РА складається з технологічного (робочого) ротора і може бути оснащений транспортними (завантажувальним і розвантажувальним) роторами.

**Автоматична роторна лінія (АРЛ)** – це сукупність технологічних (робочих) і транспортних роторів, які встановлені на одній станині і об'єднані системами приводу і керування.

**Автоматична роторно-конвеєрна лінія (АРКЛ)** складається з системи технологічних роторів і гнучких транспортних конвеєрів, причому об'єкти обробки і блоки робочого інструмента розміщені на конвеєрах, а виконавчі органи – на технологічних роторах.

Переваги роторного автомата порівняно з іншими типами машин можна продемонструвати таким прикладом (рис. 4.18).

**Приклад.** На базі теорії продуктивності порівняти ефективність застосування машин різних типів для виконання технологічної операції витяжки деталі через дві матриці при таких вхідних даних:

- тривалість робочого ходу  $t_p = 0,1$  с;
- позациклові втрати на одиницю продукції  $t_i = 0,1$  с.

На рис. 4.16 показані схеми та кругові циклові діаграми механічного і гідравлічного пресів, роторної і роторно-конвеєрної машин.

Механічним процесом витяжка може бути виконана при куті  $\varphi_p = 45^\circ$ .

Тоді кут неробочого ходу  $\varphi_x = 360^\circ - \varphi_p = 360^\circ - 45^\circ = 315^\circ$ .

Тривалість неробочого ходу  $t_x = t_p \frac{\varphi_x}{\varphi_p} = 0,1 \cdot \frac{315}{45} = 0,7$  с.

Тривалість робочого циклу  $T_{\text{ц}} = t_p + t_x = 0,1 + 0,7 = 0,8$  с.

Технологічна продуктивність  $Q_{\text{т}} = \frac{60}{t_p} = \frac{60}{0,1} = 600$  шт./хв.

Циклова продуктивність  $Q_{\text{ц}} = \frac{60}{T_{\text{ц}}} = \frac{60}{0,8} = 75$  шт./хв.

Фактична продуктивність  $Q_{\text{ф}} = \frac{60}{t_p + t_x + t_{\text{п}}} = \frac{60}{0,9} = 66,7$  шт./хв.

Циклові втрати продуктивності  $Q_{\text{т}} - Q_{\text{ц}} = 600 - 75 = 525$  шт./хв.

Позациклові втрати продуктивності  $Q_{\text{ц}} - Q_{\text{ф}} = 75 - 66,7 = 8,3$  шт./хв.

Загальні втрати продуктивності  $Q_{\text{т}} - Q_{\text{ф}} = 600 - 66,7 = 533,3$  шт./хв.

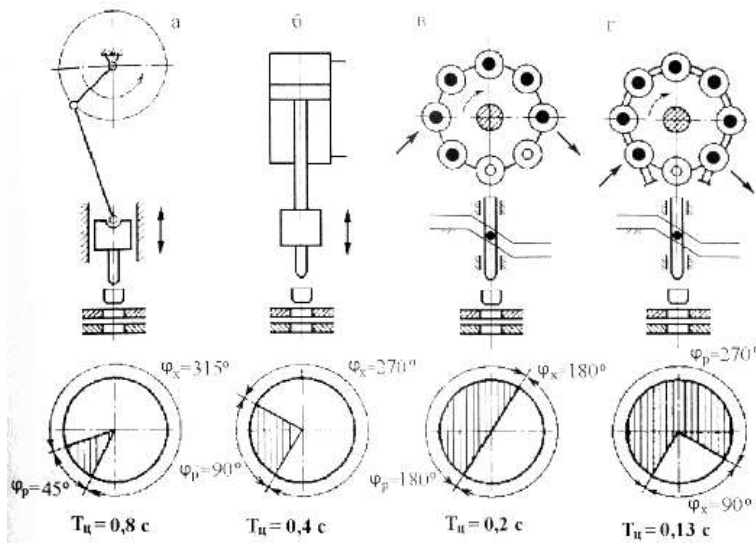


Рис. 4.18. Схеми та діаграми роботи механічного (а) і гідравлічного (б) пресів, роторної (в) і роторно-конвеєрної (г) машин

Аналогічно, з врахуванням циклограм, проводимо розрахунки для гідравлічного преса, роторної та роторно-конвеєрної машин і зводимо результати у табл. 4.1.

Порівнюючи характеристики технологічних машин різних типів для виконання однієї конкретної операції, можна зробити висновок про те, що

роторний та роторно-конвеєрний варіанти машин мають істотні переваги у використанні потенціалу продуктивності.

**Лекція 4.4 (16) Схема типової роторної машини. Технологічний (робочий) ротор. Технологічні ротори для обробки інструментом. Технологічні ротори для апаратної обробки**

*Схема типової роторної машини* показана на рис. 4.19. Вона складається з технологічного (робочого) 1 і транспортних – завантажувального 3 і розвантажувального 7 роторів. Обертання роторів здійснюється від приводу через зубчасте колесо 11. Синхронність обертання роторів забезпечують зубчасті передачі (колеса 4, 5, 6), які утворюють жорсткий кінематичний зв'язок між головним валом технологічного ротора і валами завантажувального і розвантажувального роторів. Завантаження заготовки 3 у блок робочого інструмента технологічного ротора здійснюється захватами ротора 2 у секторі  $\beta_3$ , знімання обробленого виробу – ротором 4 у секторі  $\beta_p$ . У секторі  $\alpha_{роб}$  здійснюється технологічна обробка, а у секторі  $\beta_{об}$  – може проводитись обслуговування інструмента (чищення, змащування, заміна тощо).

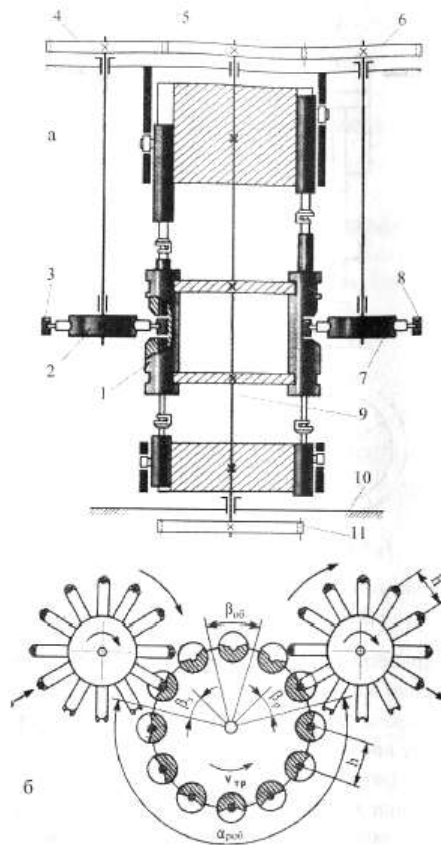
Схема положень робочих інструментів роторної машини (в розгортці) на прикладі штампування деталі зображена на рис. 4.20. Після завантаження заготовки 6 в інструментальний блок 3 на ділянці руху  $\alpha_n$  відбувається підведення інструмента – пуансона 5, на ділянці руху  $\alpha_{ш}$  – штампування деталі. При подальшому русі пуансон відводиться (ділянка  $\alpha_{вд}$ ), а виштовхувач 8 видає деталь із матриці.

**Технологічний (робочий) ротор** є основною структурною одиницею роторних та конвеєрно-роторних машин і ліній. За типом приводу технологічного (робочого інструмента) технологічні ротори поділяють на конструкції з механічним, гідравлічним або комбінованим (механо-гідравлічним) приводами. За функціональним призначенням їх можна поділити на технологічні ротори для обробки виробів інструментом на ротори для апаратної обробки виробів.

Табл. 4.1. Характеристики технологічних машин різних типів

Тип машини ► Параметри ▼		Механічний прес	Гідравлічний прес	Роторна	Роторно-конверсна
Тривалість переробочого ходу	$t_x, c$	0,700	0,300	0,100	0,033
Тривалість робочого циклу	$T_{ц}, c$	0,800	0,400	0,200	0,133
Технологічна продуктивність	$Q_T,$ шт./хв	600	600	600	600
Циклова продуктивність	$Q_{ц},$ шт./хв	75	150	300	450
Фактична продуктивність	$Q_{ф},$ шт./хв	66,7	120,0	200,0	257,5
Циклові втрати продуктивності	$Q_T - Q_{ц},$ шт./хв	525	450	300	150
Позациклові втрати продуктивності	$Q_{ц} - Q_{ф},$ шт./хв	8,3	30	100	192,5
Загальні втрати продуктивності	$Q_T - Q_{ф},$ шт./хв	533,3	480	400	342,5

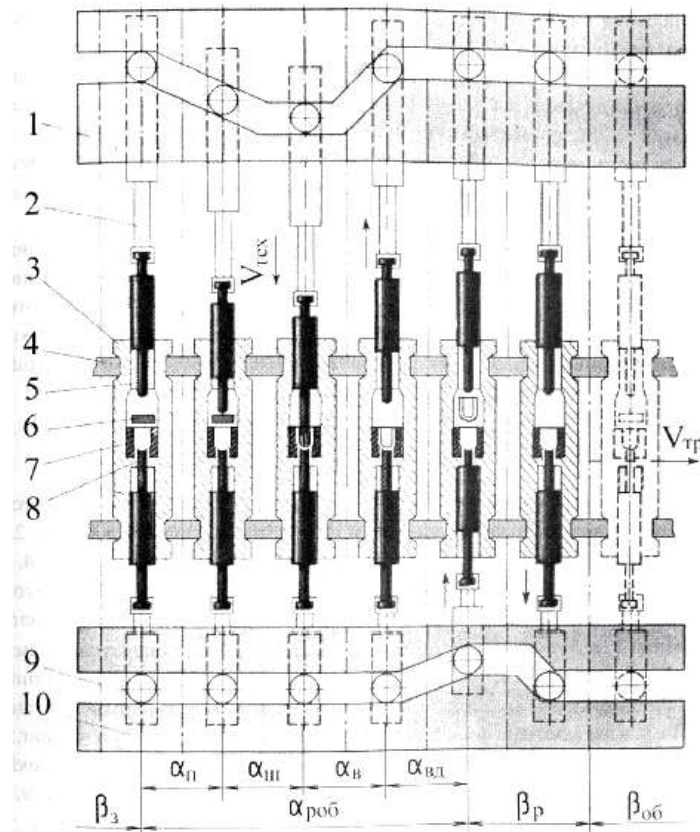
*Технологічні ротори для обробки інструментом.* Типова конструкція технологічного ротора для обробки інструментом з механічним приводом показана на рис. 4.21. Ротор складається з блоків 2 і 7 відповідно нижніх і верхніх повзунів та інструментальних блоків 4. Ці елементи змонтовані на головному валу 11, який встановлено у підшипникових вузлах між плитами станини 1. Інструментальні блоки 4 встановлені у блокотримачі 5 за допомогою кріплень, які забезпечують їх оперативну заміну. У верхньому стакані 16, який жорстко закріплений до плити станини, встановлено нерухомий циліндричний пазовий кулачок 8. Виконавчі органи – штоки 10 і 3, які поєднані з інструментальними блоками, виконують у вигляді циліндричних повзунів, що розміщені по колу нижнього і верхнього блоків у повздовжніх пазах. До повзунів 10 на консольних осях закріплені ролики 9, які розміщені у пазах кулачка 8. При обертанні ротора шток 10 передає рух робочому інструменту через муфту 6. Основною перевагою механічного кулачкового приводу є можливість забезпечення руху виконавчих органів за заданим законом за рахунок відповідного профілювання кулачка.



*a* – повздовжній переріз; *б* – вид у плані; 1 – технологічний ротор;  
 2 – завантажувальний ротор; 3 – заготовка; 4,5,6,11 – зубчасті колеса;  
 7 – розвантажувальний ротор; 8 – виріб; 9 – головний вал; 10 – станина

Рис. 4.19. Схема роторної машини

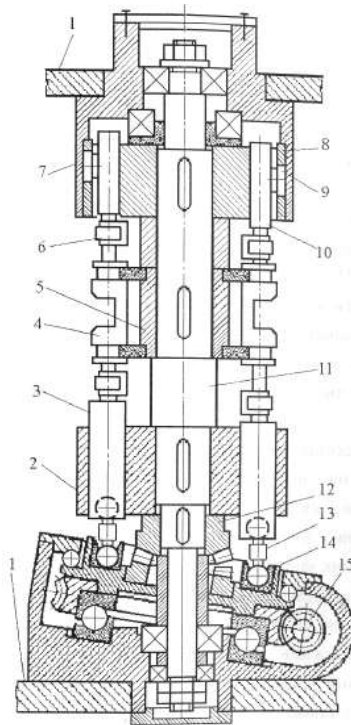
Для передачі значних зусиль з метою підвищення надійності привід нижніх повзунів виконано у вигляді нахиленого до головного вала диска 14, рух якому передається через черв'ячну передачу 15. Головний вал і черв'ячне колесо мають однакову кутову швидкість. Обертання від черв'ячного колеса до вала ротора передається через конічну зубчасту передачу 12. Рух повзунам 3 передається через штоки 13 з кульовими шарнірами. при цьому закон руху робочого інструмента описується синусоїдою.



1,10 – циліндричні пазові кулачки; 2 – виконавчий механізм; 3 – інструментальний блок; 4 – блокотримач; 5 – пуансон; 6 – заготовка; 7 – матриця; 8 – виштовхувач; 9 – ролик

Рис. 4.20. Схема положень робочого інструмента роторної машини на прикладі штампування (в розгортці)

Типова конструкція технологічного ротора з гідравлічним приводом показана на рис. 4.22. У блоках нижніх і верхніх повзунів розміщені гідроциліндри 8 і гідророзподільвачі 10. Для підведення робочої рідини в блоці гідроциліндрів виконані відповідні радіальні канали. У центральній частині блока гідроциліндрів у циліндричній розточці змонтовано нерухомий гідророзподільвач 10. При обертанні ротора канали гідророзподільвача послідовно з'єднуються з відповідними порожнинами гідроциліндрів, чим забезпечується переміщення поршнів і, відповідно, пов'язаних з ними робочих інструментів. У цій конструкції блоки нижніх і верхніх повзунів стягнені шпильками 11 через дистанційні втулки 12, чим унеможливується передача робочих зусиль на станину.



1 – станина; 2 – блок нижніх повзунів; 3, 10 – штоки; 4 – інструментальний блок; 5 – блокотримач; 6 – муфта з'єднання штоків; 7 – блок верхніх повзунів; 8 – кулачок; 9 – ролик; 11 – головний вал; 12 – зубчаста кінцева передача; 13 – шток з кульовими шарнірами; 14 – кільце; 15 – черв'ячна передача

Рис. 4.21. Типова конструкція технологічного ротора з механічним приводом

Конструкція технологічного ротора з комбінованим механо-гідрравлічним приводом показана на рис. 4.23. Тут нижні виконавчі органи – повзуни 3 приводяться у дію від кулачка, а верхні – від гідроциліндрів 8. Конструкції блоків гідроциліндрів і блоків повзунів, що приводяться в дію від кулачка, аналогічні до наведених вище.

Робота гідроциліндрів ротора показана на рис. 4.24. Гідророзподільвач умовно розділено на дві частини, що відповідають рівням каналів  $K_p$  робочих і  $K_x$  протилежних порожнин. При обертанні ротора входні отвори каналів відповідних порожнин гідроциліндрів на певних ділянках суміщаються з каналами гідророзподільвача. При суміщенні  $K_p$  робочої порожнини гідроциліндра з робочою порожниною  $\Pi_p$  гідророзподільвача рідина під тиском починає нагнітатися у робочу порожнину гідроциліндра. В цей момент канал  $K_x$  суміщається з порожниною  $\Pi_c$  гідророзподільвача і рідина заливається з протилежної порожнини гідроциліндра. При подальшому русі протилежна порожнина гідроциліндра суміщається з робочою порожниною гідророзподільвача, а робоча із зливною. Відбувається зворотний хід поршня.

Рекомендовані значення зусиль на робочому інструменті такі: при кулачковому приводі – до 20 кН, при похилому диску – до 100 кН, при гідравлічному – до 200 кН.

Величина робочих ходів інструмента рекомендується вибирати із такого ряду: 10, 25, 40, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 300 мм.

Діаметри гідравлічних циліндрів рекомендується вибирати із такого ряду: 40, 50, 60, 80, 90, 100 мм.

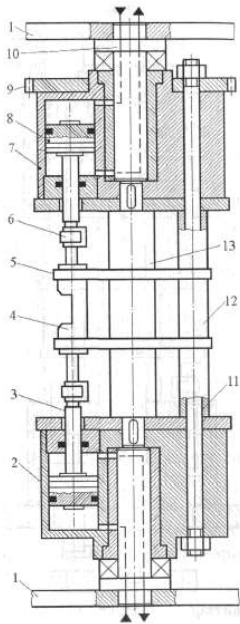


Рис. 4.22. Типова конструкція технологічного ротора з гідравлічним приводом: 1 – станина; 2 – блок нижніх повзунів; 3 – шток; 4 – інструментальний блок; 5 – блокотримач; 6 – муфта з'єднання штоків; 7 – блок верхніх повзунів; 8 – гідроциліндр; 9 – зубчасте колесо; 10 – гідророзподільвач; 11 – шпилька; 12, 13 – втулки

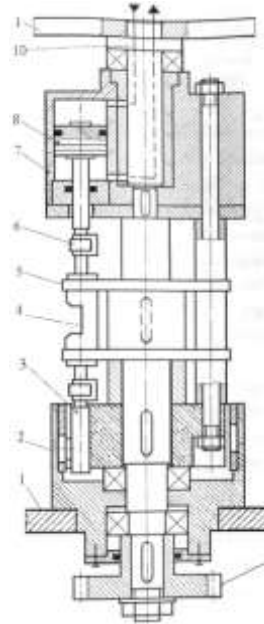


Рис. 4.23. Типова конструкція технологічного ротора з комбінованим приводом: 1 – станина; 2 – блок нижніх повзунів; 3 – повзун; 4 – інструментальний блок; 5 – блокотримач; 6 – муфта; 7 – блок верхніх повзунів; 8 – гідроциліндр; 9 – зубчасте колесо

*Технологічні ротори для апаратної обробки.* Апаратні ТП характеризуються дещо значною тривалістю технологічної дії. Роторний та конвеєрно-роторний варіанти апаратної обробки виробів забезпечує можливість мати задану продуктивність при будь-якій тривалості обробки. На роторних машинах можуть здійснюватися такі процеси, як миття виробів, хімічна обробка, нанесення покриттів тощо.

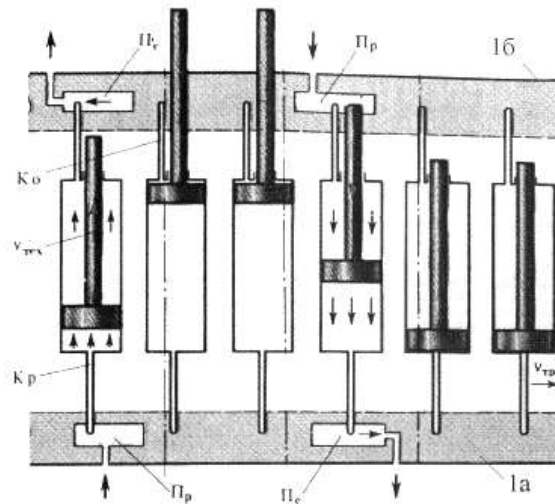
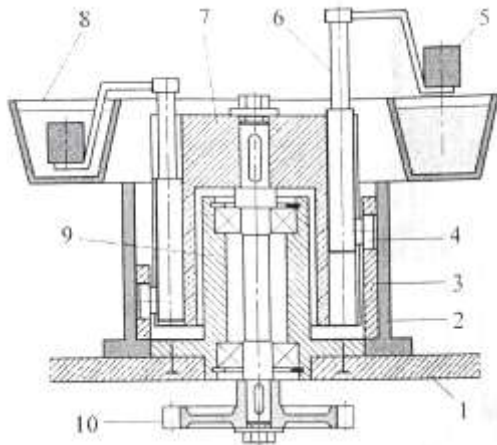


Рис. 4.22. Схема положень поршнів гідроциліндрів ротора (у розгортці)

Одна із конструкцій **технологічного ротора для апаратної обробки виробів** у рідині методом занурювання зображена на рис. 4.25. Корпус 7 ротора закріплено на валу, який встановлено у підшипниковому вузлі 9. Виконуючі органи, штоки 6 несуть на собі піддони для виробів 5. Довкола ротора розміщена кільцева ванна 8 з обробляючою рідиною. При обертанні ротора ролики 4, по пазу циліндричного кулачка 3, надають зворотно поступальний рух штокам 6 і піддонам з виробами. На певному куті повороту ротора піддони занурюються у рідину, де і здійснюється обробка виробів. Для приводу ротора використовується зубчасте колесо 10. За його допомогою здійснюється також синхронізація руху ротора щодо інших роторів, що входять до складу роторної машини.

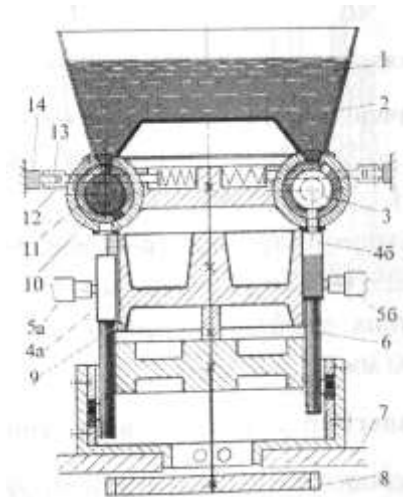
В конструкції ротора повинна бути передбачена система стабілізації рівня рідини, оновлення її складу, поновлення об'єму у міру її витрат – випаровування та винос потоком деталей, що обробляються. Залежно від ступеня агресивності робочої рідини деталі ротора виготовляють із відповідних матеріалів і передбачаються заходи з охорони праці.

**Ротор для дозованого розливання рідини** зображений на рис 4.26. Такий ротор складається з бункера 1, заповненого рідиною 2, об'ємних дозаторів 3, розміщених по колу ротора, тримачів 9, ємностей 4. Дозатор складається з корпусу 10 і серцевини 11, порожнина якої є мірою дози рідини. В корпусі 10 є діаметрально розташовані впускний і випускний отвори. Випускний отвір розміщений над ємністю і має еластичне ущільнення. У стінках серцевини 11 виконано канали, які розміщені під кутом, меншим за  $180^\circ$ . Для повороту серцевини використовується зубчато-рейковий механізм, колесо якого закріплене на серцевині 11, а рейка сполучена із штовхачем 12, який через ролик 13 контактує з кулачком 14.



1 – станина; 2 – стакан; 3 – кулачок;  
4 – ролик; 5 – об’єкт обробки;  
6 – шток; 7 – корпус ротора; 8 – кільцева  
ванна з обробляючою рідиною; 9 –  
підшипниковий вузол; 10 – зубчасте колесо  
приводу ротора

Рис. 4.25. Технологічний ротор для  
апаратної обробки виробів у рідині методом  
занурювання



1 – бункер; 2 – рідина; 3 – дозатор; 4а, 4б  
– ємність, що заповнюється рідиною,  
відповідно, порожня і наповнена; 5а, 5б –  
захвати транспортних роторів; 6 – шток;  
7 – станина; 8 – зубчасте колесо приводу  
ротора; 9 – тримач ємностей; 10 – корпус  
дозатора; 11 – серцевина дозатора;  
12 – штовхач-рейка; 13 – ролик;  
14 – кулачок

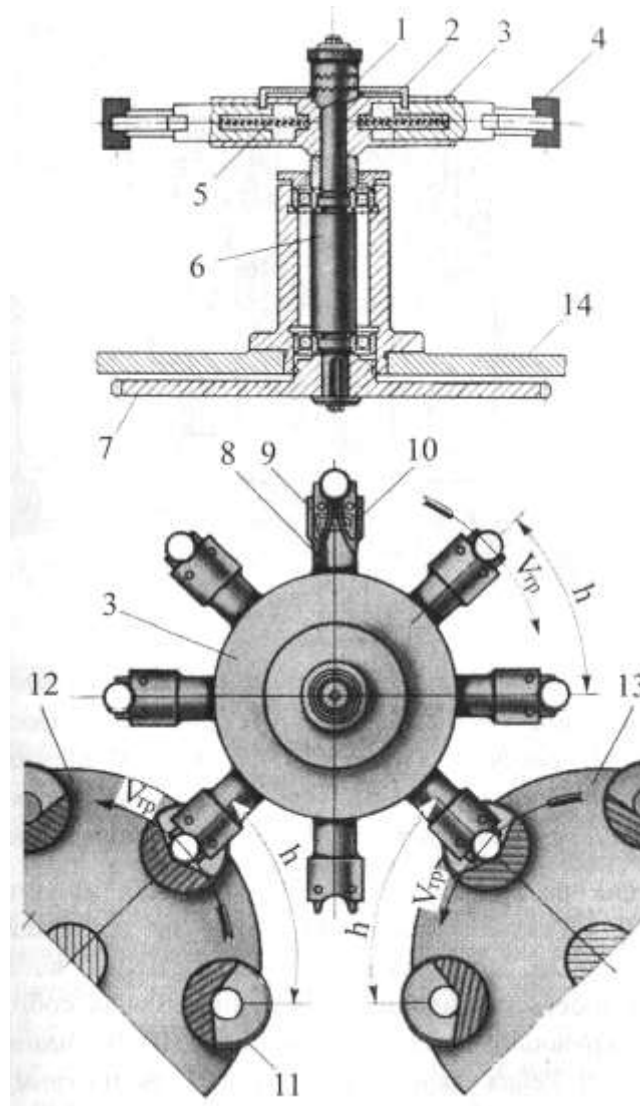
Рис. 4.26. Ротор для дозування  
розливання рідини

При обертанні ротора порожня ємність 4а захватом 5а транспортного (розвантажувального) ротора подається у гніздо тримача 9 і штоком 6 під дією пазового кулачка притискається до еластичного ущільнення вихідного отвору дозатора. В цей час порожнина серцевини заповнюється рідиною. При подальшому обертанні ротора під дією кулачка 14 заповнена рідиною серцевина повертається так, що її нижній канал встановлюється співвісно з вихідним отвором дозатора, і рідина переливається у ємність 4б. Далі отвори дозатора перекриваються, а заповнена рідиною ємність опускається, видаляється з ротора захватом 5б транспортного (розвантажувального) ротора і подається до наступного технологічного ротора для подальшої обробки.

**Лекція 4.5 (17) Транспортні ротори. Типові схеми роторних та роторно-конвеєрних машин. Приводи роторних машин. Інструментальні блоки. Визначення параметрів роторних та роторно-конвеєрних машин**

*Транспортні ротори.* Транспортні ротори призначені для переміщення об’єктів обробки між суміжними технологічними роторами,

завантаження технологічних роторів заготовками та їх розвантаження після обробки виробу. Транспортні ротори можуть також виконувати операції маніпулювання заготовками (переорієнтування заготовок у просторі або зміна рівня потоку в процесі транспортування), контроль наявності заготовок тощо. Робочими органами транспортних роторів є захвати, які можуть бути виконані у вигляді кліщів, магнітів, вакуумних присмоктувачів тощо. Типова конструкція транспортного ротора з кліщовими підпруженими захватами зображена на рис. 4.27. Захвати 8 розміщені в отворах диска 3 з можливістю радіального переміщення, величина якого обмежується упором 2. Захвати 8 для утримання об'єкта мають дві підпружені губки 9 і 10. Диск 3 встановлений на валу 6 і жорстко з ним поєднаний через подвійну зубчасту муфту 1, яка призначена для регулювання кутового положення ротора з метою забезпечення збігу захватів транспортного ротора з робочими позиціями 11 технологічних роторів 12 і 13. Привід головного вала 6 транспортного ротора здійснюється за допомогою зубчастого колеса 7, яке входить у зачеплення з зубчастими колесами, які закріплені на валах технологічних роторів 12 і 13, що забезпечує поворот захвата на один крок за час повороту інструментального блока технологічного ротора також на один крок. Таким чином, технологічні і транспортні ротори мають однакові характеристики пропускної здатності потоку об'єктів обробки, що знаходяться у безперервному русі. При синхронному обертанні технологічних і транспортного роторів губки захвата охоплюють деталь 4, що знаходиться в інструментальному блоці технологічного ротора 12, і утримуючи її за рахунок пружних сил, видаляють із інструментального блока. Коли захват з деталлю суміщається з інструментальним блоком технологічного ротора 13, один із його інструментів фіксує деталь у блоці і при подальшому русі роторів захват виходить із інструментального блока, долаючи силу захвата. При цьому деталь залишається в інструментальному блоці ротора 13.

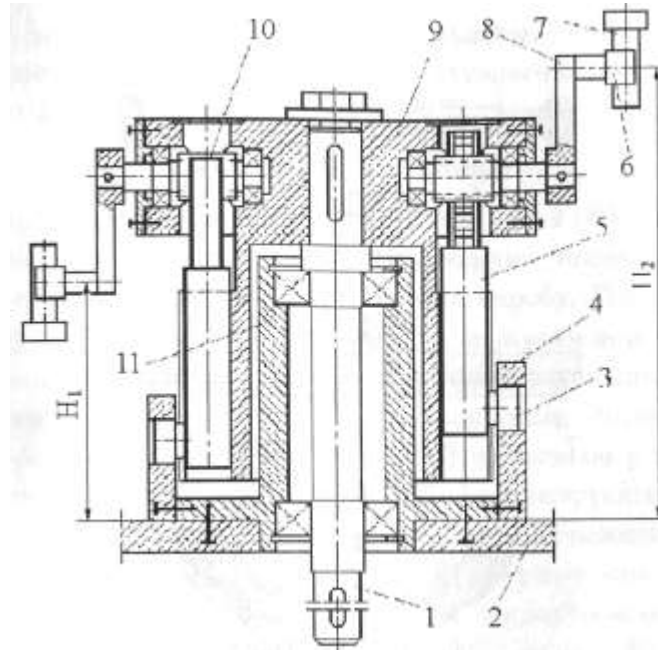


1 – подвійна зубчаста муфта; 2 – упор; 3 – корпус ротора; 4 – деталь (об’єкт маніпулювання); 5 – пружина; 6 – вал; 7 – зубчасте колесо приводу ротора; 8 – захват; 9,10 – захватні губки; 11 – робочі позиції; 12,13 – технологічні ротори; 14 – станина  
 Рис. 4.27. Транспортний ротор з підпруженими захватами

Транспортний ротор, робочі органи якого забезпечують зміну рівня приймання-видачі об’єктів обробки та зміну їх орієнтації у просторі, зображений на рис. 4.28. Тут зміна рівня потоку деталей 7 від значення  $H_1$  до значення  $H_2$  здійснюється кривошипом 8, який несе на собі захват 6. При обертанні ротора кривошип повертається на кут  $180^\circ$  за допомогою зубчато-рейкової передачі 10. Рейка закріплена до штока 5, який отримує вертикальне переміщення від пазового кулачка 4. Тут мають місце такі залежності:

$$L_k = \frac{\pi d_0}{2} \text{ і } R_{кр} = \frac{H_1 - H_2}{2},$$

де  $d_0$  – діаметр ділительного кола зубчастого колеса;  $R_{кр}$  – радіус кривошипа;  $L_k$  – хід штовхача (зубчастої рейки.)

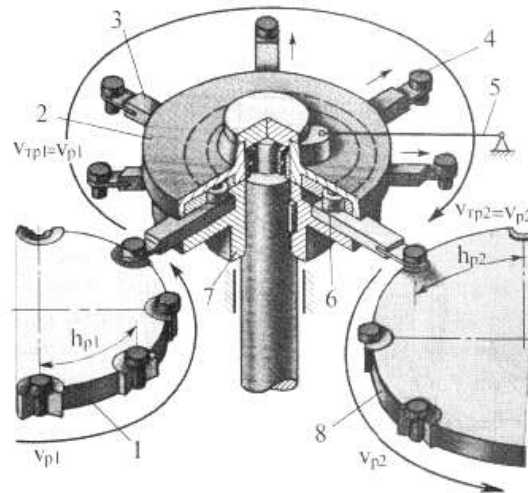


1 – головний вал; 2 – станина; 3 – ролик; 4 – кулачок; 5 – штоки; 6 – захват; 7 – деталь (об’єкт обробки); 8 – кривошип; 9 – корпус ротора; 10 – зубчато-рейкова передача; 11 – корпус підшипникового вузла

Рис. 4.28. Транспортний ротор, робочі органи якого забезпечують зміну рівня прийняття-видачі деталей та зміну їх орієнтації у просторі

Якщо суміжні технологічні ротори мають не однаковий крок між інструментальними блоками, то передача об’єктів обробки здійснюється транспортним ротором, який забезпечує у процесі обертання зміну крокової відстані між його захватами. Конструкція такого транспортного ротора зображена на рис. 4.29. Тут технологічні ротори 1 і 8 мають різні кроки  $h_{p1}$  і  $h_{p2}$  і, відповідно, різні лінійні швидкості  $V_{тр1}$  і  $V_{тр2}$ . Захватні органи 3 транспортного ротора у пазах корпусу 7 з можливістю переміщення у радіальному напрямку. У верхній частині корпусу 7 встановлено нерухомий диск 2 з дисковим пазовим кулачком. Кожен із захватних органів має ролик 6, який входить у паз кулачка. Диск 2 є нерухомий, оскільки він зафіксований від повороту тягою 5, яка пов’язана зі станиною. При синхронному обертанні технологічних і транспортного роторів захвати під дією кулачка здійснюють радіальні переміщення,

змінюючи при цьому величину вильоту в такий спосіб, що при видаленні об'єктів обробки із технологічного ротора з меншим кроком захвати крокову відстань  $h_{p1}$  і транспортну лінійну швидкість  $V_{tp1}$ . При передачі об'єктів обробки у технологічний ротор з більшим кроком  $h_{p2}$  захвати збільшують свій виліт настільки, що їх крокова відстань дорівнює  $h_{p2}$ , а транспортна швидкість –  $V_{tp2}$ .



- 1 – технологічний ротор з меншим кроком; 2 – нерухомий диск з дисковим пазовим кулачком; 3 – захватні органи; 4 – деталь (об'єкт обробки);  
 5 – фіксує тяга; 6 – ролик; 7 – корпус транспортного ротора;  
 8 – технологічний ротор з більшим кроком

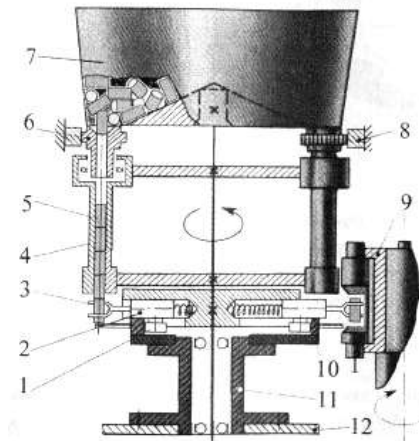
Рис. 4.29. Транспортний ротор, робочі органи якого забезпечують зміну кроку передачі об'єкта обробки

Тобто при сумісному русі захвата транспортного ротора і робочої позиції технологічного ротора їх транспортні швидкості повинні бути однаковими:

$$V_p = V_{tp}, \text{ або } \omega_p R_p = \omega_{tp} R_{tp}.$$

Основною функцією **завантажувального ротора** є живлення технологічного ротора заготовками об'єктів обробки. Цей ротор містить у собі або бункер для неорієнтованих заготовок, або один (кілька магазинів), в які заготовки вставляють в орієнтовному положенні. Залежно від виду заготовок завантажувальні ротори мають різні конструктивні виконання: для штучних заготовок, для заготовок у вигляді сипкого матеріалу або рідини.

Одна із *типових конструкцій завантажувального ротора* для штучних заготовок стрижневої циліндричної форми зображена на рис. 4.30. Цей ротор містить у собі бункер 7 для заготовок об'єктів обробки 5 та пристрої для захвата, орієнтації, накопичення і передачі заготовок до технологічного ротора. По колу ротора в донній частині бункера розміщено декілька приймально-орієнтуючих пристроїв 6 з накопичувачами 4. В цій конструкції приймально-орієнтуючі пристрої виконані у вигляді лійок, а накопичувачі 4 – у вигляді вертикальних лотків. Під накопичувачами 4 розміщені штовхачі 2 з захватами 3. При обертанні ротора приймачі 6, обкочуючись по зубчастому колесу 8, отримують обертовий рух. Це підвищує ймовірність захоплення і орієнтації заготовок. Орієнтовані заготовки з накопичувача поступають у захват 3, який під дією пружини отримує радіальне переміщення. При суміщенні захвата з робочою позицією технологічного ротора відбувається передача заготовки в інструментальний блок 9.

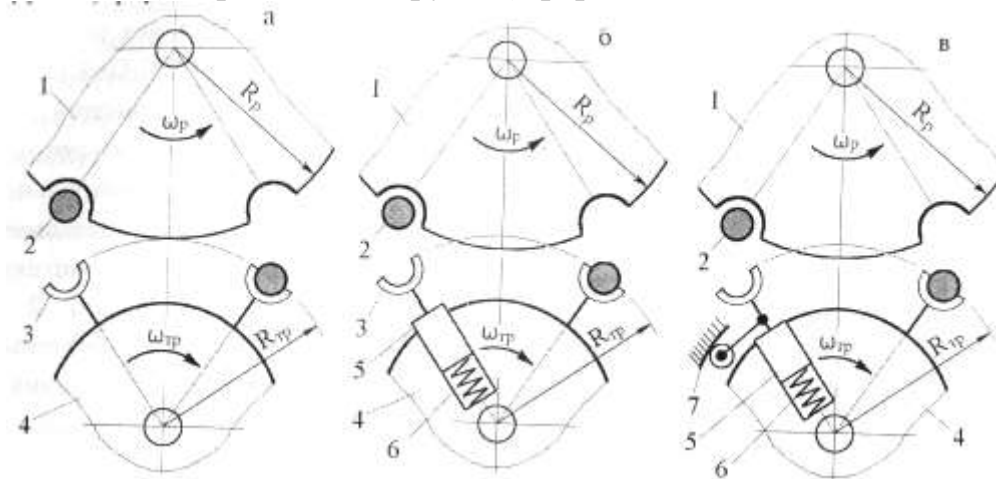


- 1 – ролик; 2 – штовхач; 3 – захват; 4 – накопичувач; 5 – деталь (об'єкт обробки);  
 6 – приймач; 7 – бункер; 8 – зубчасте колесо внутрішнього зачеплення;  
 9 – інструментальний блок технологічного ротора;  
 10 – кулачок; 11 – підшипниковий вузол; 12 – станина  
 Рис. 4.30. Завантажувальний ротор для штучних заготовок

Є безліч принципів схем і конструктивних рішень приводів захватних органів технологічних роторів, але всі вони можуть бути приведені до таких кінематичних схем:

- 1) Привід без активного супроводу (рис. 4.31а), при якому кола з радіусами  $R_p$  і  $R_{тр}$  центрів гнізд технологічного ротора і кліщових захватів транспортного ротора дотикається в одній точці. Тут відбувається миттєва передача деталі з одного ротора на інший. Виконання механізмів передачі деталей за такою схемою дає можливість реалізувати систему, в якій кутові швидкості роторів можуть істотно відрізнятися.

- 2) Привід з активним супроводом (рис. 4.31б), при якому захват транспортного ротора під дією пружини або копіра попередньо висувається у радіальному напрямку до деталі. Кола з радіусами  $R_p$  і  $R_{тр}$  перетинаються у двох точках, тому можна виділити три ділянки траєкторії руху центра захвату: від моменту дотику з деталлю до повного її захвату; сумісний рух по дузі радіусом  $R_p$ ; від моменту переходу на дугу  $R_{тр}$  до повного виходу деталі із гнізда інструментального блока транспортного ротора.
- 3) Привід з кутовою орієнтацією (рис. 4.31в) центра захвату і радіальним переміщенням повзуна. Така схема уможлиблює значно збільшити кут активного супроводу і забезпечує захоплення деталей складної (наприклад, не круглої) форми.



1 – технологічний ротор; 2 – деталь (об’єкт обробки); 3 – захватний орган;  
4 – транспортний ротор; 5 – повзун; 6 – пружина;  
7 – копір переміщення захватного органа і повзуна

Рис. 4.31. Типові схеми приводів захватних транспортних роторів

При проектуванні роторних машин розв’язуються завдання створення систем і механізмів однакової пропускної здатності, що дорівнює цикловій продуктивності, вибору траєкторій і законів руху деталей на ділянках їх передачі, розрахункового визначення силових характеристик захватних органів (пружин, вакуумних присмоктувачів, електромагнітів тощо), розрахунку приводних механізмів для забезпечення синхронної передачі деталей між суміжними роторами. Лінійна синхронізація роторів по кроку здійснюється за допомогою дрібномодульних зубчастих муфт налаштування, встановлених на головних валах кожного ротора (див. рис. 4.27, поз. 1).

Проектуючи захвати та інші механізми, що утримують деталі під час транспортування, необхідно мати на увазі, що, крім гравітаційної сили, на

деталі діють відцентрові сили, сили інерції тощо. За рівнодійною цих сил визначають силу захвата з врахуванням коефіцієнта запасу, що приймається таким, що дорівнює 1,2–1,5.

Як рекомендацію можна прийняти: надійна передача деталей круглої форми масою до 200 г і діаметром до 25 мм досягається при швидкостях до 3 мм/с пристроями за схемою, зображеною на рис. 4.31а, до 6 мм/с – на рис. 4.31б, до 12 мм/с – на рис. 4.31в.

Для передачі деталей з більшими швидкостями (при високій продуктивності) необхідно відмовитися від принципу вільного утримання деталей у захватах і перейти до транспортування у гніздах конвеєрів. Це реалізується на базі роторно-конвеєрних машин.

*Типові схеми роторних та роторно-конвеєрних машин* зображені на рис. 4.32. Припустимо, що на всіх машинах виконуються ідентичні технологічні операції, наприклад, виготовлення деталі методом штампування (див. рис. 4.20). В усіх випадках технологічні ротори мають по вісім гнізд, діаметри роторів однакові, кути  $\varphi$ , що визначають час перебування деталі у роторі, становить  $270^\circ$ .

Типові схеми виглядають так:

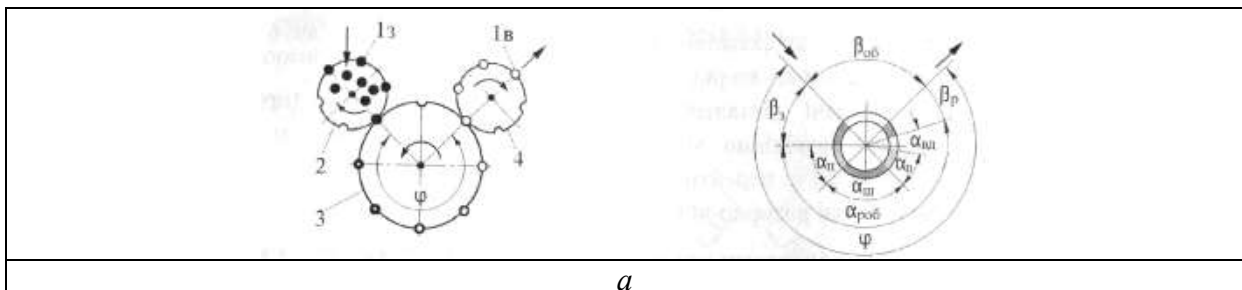
- 1) У роторній машині (рис. 4.32а) заготовки 1з подаються у ТР 3 завантажувальним ротором 2. Після обробки виріб 1в видається з ТР захватами розвантажувального ротора 4. В кожному гнізді технологічного ротора розміщено інструментальні блоки, які містять у собі матрицю 9 і пуансон 10.
- 2) У роторно-конвеєрній лінії (рис. 4.32б) завантаження заготовок 1з здійснюється конвеєром 5, відведення виробів 1в – конвеєром 7. В гніздах технологічного ротора розміщено тільки пуансоні 10. Матриці 9 закріплені на конвеєрі 8. У процесі роботи такої лінії заготовки передаються з конвеєра 5 на конвеєр 8 і встановлюються на матриці при проходженні ротора 11. В ТР 6 проводиться підведення пуансона ( $\alpha_{\text{п}}$ ), штампування ( $\alpha_{\text{ш}}$ ) і відведення пуансона ( $\alpha_{\text{п}}$ ). Видалення виробу з матриці відбувається в роторів 14, а передача виробу з конвеєра 8 на конвеєр 7 – при обіганні ротора 12.
- 3) В роторно-конвеєрній лінії (рис. 4.32в) подача заготовок і відведення виробів здійснюється, як і в попередньому випадку. Матриці 9 закріплені на конвеєрі 8, а пуансоні 10 – в конвеєрі 15. У процесі роботи такої лінії основна частина ходу пуансона при його підведенні здійснюється в роторі 13, а основна частина ходу пуансона при його відведенні – в роторі 14. В такий спосіб в технологічному роторі 6

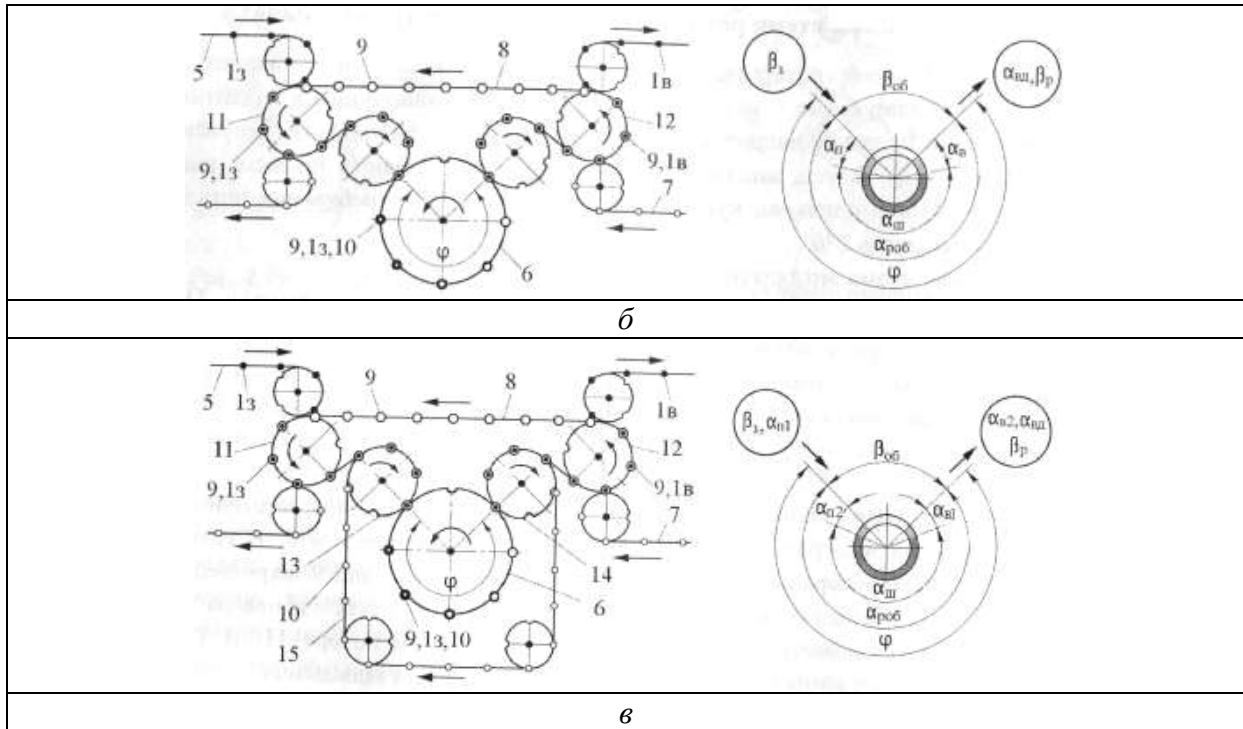
відбувається штампування деталі ( $\alpha_{ш}$ ) і незначні переміщення пуансона ( $\alpha_{п2}$  і  $\alpha_{п1}$ ).

Практично доведено, що за першим варіантом побудови роторних машин кут  $\alpha_{роб}$  робочої зони обробки не перевищує  $90-120^\circ$ , оскільки в цій зоні, крім основної технологічної операції – штампування, виконуються допоміжні – приймання заготовки, її центрування і базування, підведення і відведення інструмента тощо. Дві інші схеми уможливають збільшення кута  $\alpha_{роб}$  робочої зони обробки до  $240^\circ$  і тим самим – підвищення циклової продуктивності у 2–4 рази. Крім того, є реальна можливість вирівняти параметри потоків відмов інструментів шляхом використання в транспортних конвеєрах різної кількості матриць і пуансонів.

*Приводи роторних машин.* В автоматичних роторних лініях конструктивно реалізуються декілька принципово різних варіантів розподілу енергії. Основні з них – три.

**Перший варіант** характерний для ліній, в яких об'єднуються технологічні ротори з механічним приводом виконавчих органів, причому затрати енергії у кожному із роторів не перевищують значень, що відповідають силі взаємодії між інструментом і об'єктом обробки до 10 кН. У цих лініях застосовується привід з одним двигуном і однією черв'ячною передачею. Кінематична схема такого приводу зображена на рис. 4.33. Обертання роторів здійснюється від електродвигуна через пасову 6 і черв'ячну 7 передачі. Причому обертання передається до головного вала найбільш навантаженого або при однакових навантаженнях – до середнього технологічного ротора. Решта технологічних і транспортних роторів, якщо вони мають однакові кроки, з'єднується між собою через рядові циліндричні зубчасті передачі (поз. 4 і 5), що забезпечує синхронне обертання роторів. Всі ротори, як правило, монтуються на одній станині 8.

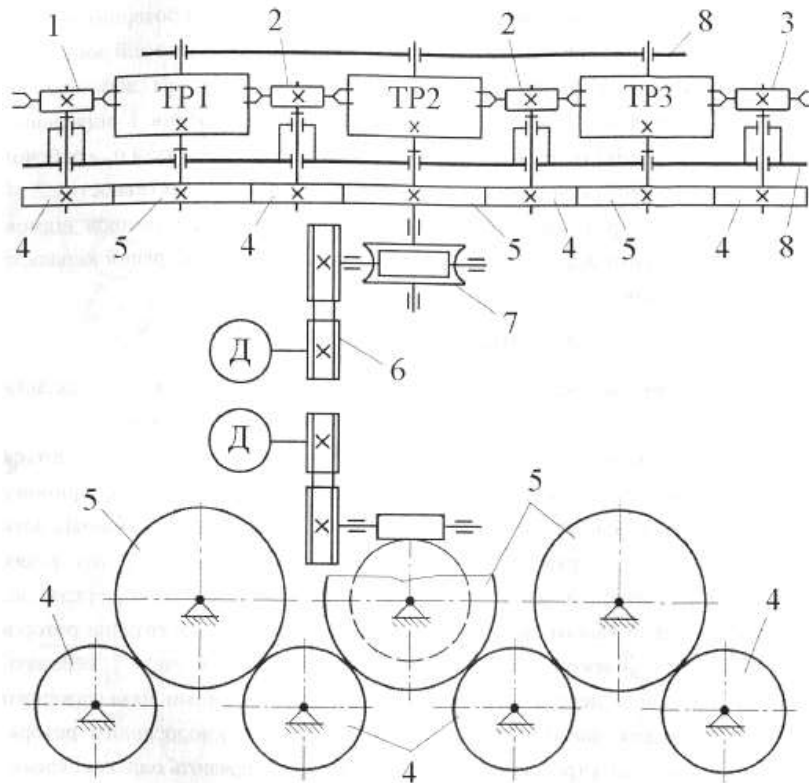




*а* – роторної машини; *б, в* – роторно-конвеєрних ліній; *1з* – заготовка; *1в* – виріб; 2 – завантажувальний ротор; 3 – технологічний ротор; 4 – розвантажувальний ротор; 5 – завантажувальний ротор; 6 – технологічний ротор; 7 – розвантажувальний конвеєр; 8 – конвеєр з матрицями; 9 – матриця; 10 – пуансон; 11–14 – проміжні ротори; 15 – конвеєр з пуансонами;  $\alpha_{в}$  і  $\alpha_{в}$  – підведення і відведення пуансона;  $\alpha_{ш}$  – штампування;  $\alpha_{вд}$  – видалення виробу з матриці;  $\beta_з$  і  $\beta_р$  – завантаження і розвантаження ротора;  $\varphi$  – кут, що визначає час перебування деталі в роторі

*Рис. 4.32.* Принципові схеми

Якщо роторна лінія складається з декількох груп роторів з різними кроками, то передача енергії до окремих груп роторів здійснюється через індивідуальні черв'ячні передачі. Отже, від одного двигуна здійснюється і обертання роторів (транспортний рух), і переміщення виконавчих органів (технологічний рух).



ТР – технологічні ротори; 1 – завантажувальний ротор; 2 – транспортні ротори ;  
 3 – розвантажувальний ротор; 4 – зубчасті колеса транспортних роторів; 5 – зубчасті  
 колеса технологічних роторів; 6 – пасова передача; 7 – черв’ячна передача; 8 – станина

Рис. 4.33. Кінематична схема приводу роторної лінії

**Другий варіант** характерний для ліній, в яких окремі технологічні ротори мають індивідуальні приводи технологічних рухів (наприклад, обертання шпинделів інструментальних блоків, гідравлічний привід пуансонів), і загальний привід від одного джерела енергії для здійснення транспортних операцій. Синхронізація обертання роторів, як і у першому варіанті, забезпечується жорсткими механічними передачами – однією або декілька черв’ячних і системою рядових зубчастих циліндричних передач.

За **третім варіантом** передача енергії окремим роторам або окремим групам роторів здійснюється від індивідуальних двигунів з синхронізацією обертання роторів рядовими зубчастими циліндричними передачами і диференційними планетарними редукторами. Застосування диференційних редукторів забезпечує розвантаження синхронізуючого кінематичного ланцюга і рівномірний розподіл навантаження між двигунами.

*Інструментальні блоки.* **Інструментальні блоки** в технологічних роторах, як правило, є автономними системами, що містять в собі пристосування, інструмент і гніздо для об’єкта обробки. Вони розміщуються на ділільному колі ротора, рівномірно з певним кроком

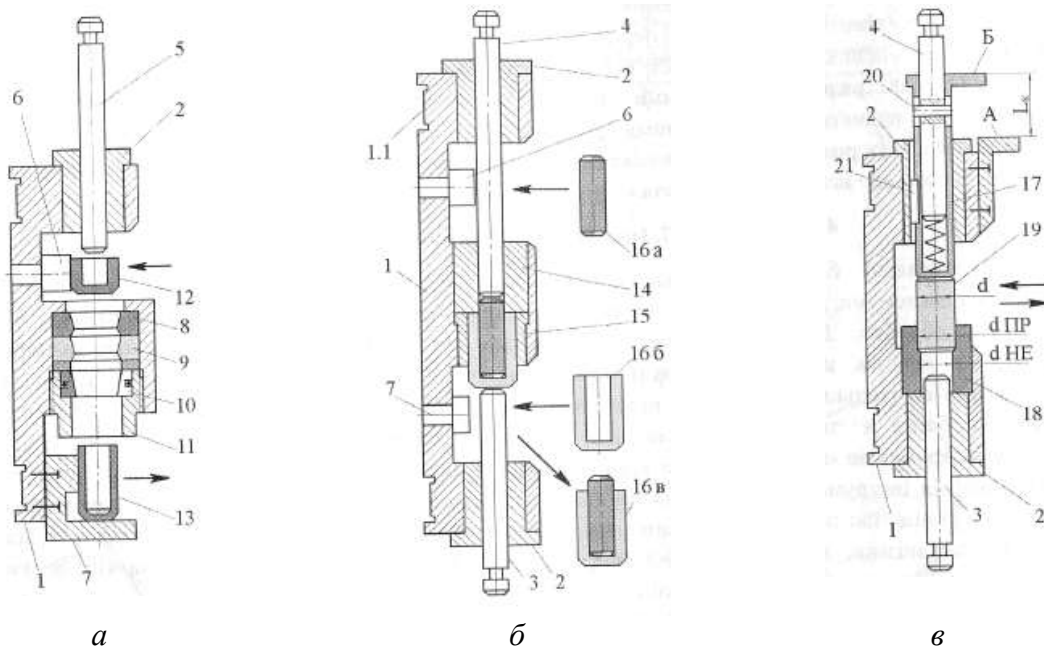
встановлюються у пазах блокотримача і закріплюються спеціальним пристроєм, що забезпечує їх оперативну заміну. Конструкція блока є такою, що уможлиблює здійснення наладки комплекту інструментів поза технологічним ротором на спеціальному стенді. Технологічна дія інструмента на об'єкт обробки здійснюється за допомогою виконавчих органів, що розміщуються у блоках повзунів і отримують рух від кулачкових механізмів, гідродвигунів тощо. Тобто інструментальні блоки призначені для безпосередньої технологічної обробки виробів.

Тільки у моноблочних роторах інструменти не мають індивідуальних корпусів і не є автономними системами.

Конструкції інструментальних блоків для виконання деяких технологічних операцій зображені на рис. 4.34. Конструкції блока, вид і кількість інструментів залежать від його функціонального призначення, а також від статичних і динамічних характеристик процесу обробки. Незважаючи на те, що блоки виконують різні технологічні операції, за конструкцією вони мають багато спільного. Елемента кожного із інструментальних блоків змонтовані в корпусі 1 і мають один або два штоки (поз 4 і 5), встановлені напрямних втулках 2. На кінцях штоків виконані проточки для з'єднання робочих органів блока з виконавчими органами, які розміщені на роторі. Блоки мають пристрої для приймання заготовок з транспортного ротора і їх центрування перед обробкою (приймачі 6), а також приймачі 7 для базування оброблених виробів перед їх видаленням із блока і передачею до наступного транспортного ротора.

Інструментальний блок витяжки деталі (рис. 4.34а) має дві матриці 8 і 9, які розміщені у розточці корпуса 1 і закріплені гвинтовою втулкою 11. Процес витяжки деталі відбувається при переміщенні пуансона 5 і проштовхуванні заготовки 12 через матриці. У втулці 11 встановлено знімач 10, що зсуває оброблену деталь 13 з пуансона при його ході у зворотному напрямку.

Інструментальний блок складання деталей – циліндра 16а і стакана 16б (рис. 4.34б) – має матрицю 15, в якій відбувається спряження деталей, і втулку 14 для центрування циліндра 16а відносно стакана 16б. Процес спряження відбувається при почерговому переміщенні нижнього 3 і верхнього 4 штока.



*a* – витяжка деталі через дві матриці; *б* – складання деталей; *в* – контроль лінійного розміру деталі; 1 – корпус; 2 – напрямна втулка; 3 – шток нижній; 4 – шток верхній; 5 – пуансон; 6 – приймач центруючий вхідний; 7 – приймач вихідний; 8 – перша матриця; 9 – друга матриця; 10 – знімач виробу; 11 – гвинтова втулка; 12 – заготовка об'єкта обробки; 13 – виріб; 14 – центруюча втулка; 15 – центруюча матриця; 16а, 16б – предмети складання (циліндр і стакан); 16в – складений виріб; 17 – притискач вимірювальний; 18 – калібр; 19 – деталь – об'єкт контролю; 20 – штифт; 21 – шпонка; А і Б – нерухома і рухома вимірювальні бази;  $d$  – параметр контролю;  $d$  ПР і  $d$  НЕ – прохідний і непрохідний діаметри калібру

Рис. 4.34. Типові конструкції інструментальних блоків

Інструментальний блок (рис. 4.34в) контролю лінійного розміру (діаметра  $d$ ) деталі містить в собі калібр з прохідним та непрохідним отворами, нерухому вимірювальну базу А, жорстко закріплену до корпуса, і рухому вимірювальну базу Б, пов'язану з вимірювальним притискачем 17. Притискач 17 виконано у вигляді порожнистого циліндра, всередині якого з можливістю деякого переміщення встановлено підпружений шток 4. Обмеження відносного переміщення штока і притискача здійснюється запресованим у шток штифтом 20. Для уникнення осьового повороту бази Б використовується шпонка 21, встановлена між втулкою 2 і притискачем 17. Для фіксації результатів контролю застосовуються роторні або статорні здавачі, що визначають положення бази Б по відношенню до бази А (параметр  $L_k$ ). Роторні здавачі встановлюються на кожному інструментальному блоці. Статорний давач, встановлений на станині, є загальним для всіх блоків ротора.

*Визначення параметрів роторних та роторно-конвеєрних машин.* Основними вхідними параметрами для синтезу структурних схем роторних та роторно-конвеєрних машин є:

- технологічний – час  $t_{po}$  обробки виробу (тривалість технологічної дії);
- економічний – циклова продуктивність  $Q_{ц}$ ;
- конструктивний – крок  $h_p$  ротора.

Час  $t_{po}$  визначається із умов отримання якісного виробу при оптимальних режимах обробки в результаті проведення технологічних розрахунків та досліджень. За наявності декількох рівноцінних варіантів технологічних процесів перевага надається варіанту з найбільш простими відносними рухами і найменшим часом технологічної взаємодії інструмента і об'єкта обробки.

Циклова продуктивність  $Q_{ц}$  задається вимогами виробництва з врахуванням коефіцієнта технічного використання  $\eta_{тв}$ . На стадії ескізного проектування приймають  $\eta_{тв} = 0,7-0,9$ .

**Крок  $h_p$  ротора** (відстань між геометричними осями суміжних блоків робочого інструмента) визначається конструктивно, залежно від розмірів об'єкта обробки і зазорів між блоками робочого інструмента.

Наприклад, для роторів штампувального виробництва, що здійснюють витяжку (див. рис. 4.11), можна рекомендувати такі залежності:

$$D_m = (2,0 - 2,5)d_d; D_6 = (1,3 - 2,5)D_m = (2,6 - 6,25)d_d,$$

де  $D_m$ ,  $d_d$ ,  $D_6$  – діаметри поперечних перетинів відповідно матриці, об'єкта обробки (деталі), інструментального блока.

Крок ротора

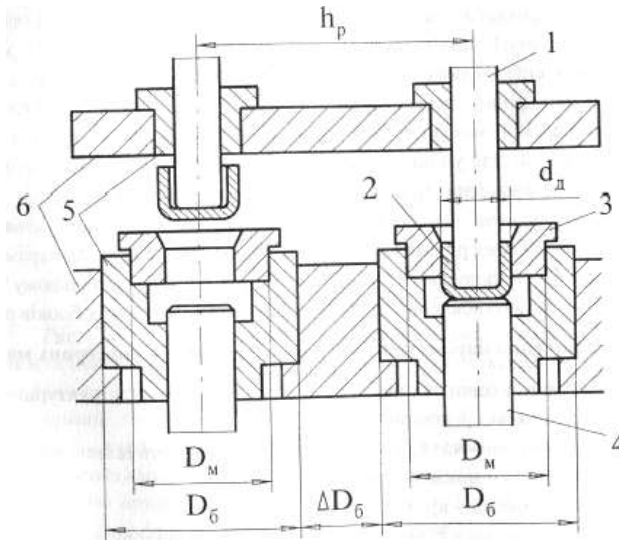
$$h_p = D_6 + \Delta D_6,$$

де  $\Delta D_6$  – зазор між блоками робочого інструмента.

Розмір зазору  $\Delta D_6$  (рис. 4.35) залежить від розмірів блоків робочого інструмента, їх конструкції, системи їх кріплення до ротора. Рекомендовано користуватися такими залежностями:

$$\Delta D_6 = (0,2 - 0,4)D_6;$$

$$h_p = (1,2 - 1,5)D_6 = (3 - 10)d_d.$$



1 – пуансон; 2 – об'єкт обробки; 3 – матриця; 4 – виштовхувач; 5 – ротор;  
6 – блок робочого інструмента

Рис. 4.35. Схема для визначення кроку ротора

Для роторних машин з апаратним технологічним процесом, де відсутні блоки робочого інструмента (див. рис. 4.20), рекомендована така залежність

$$h_p = d_d + \Delta d_d,$$

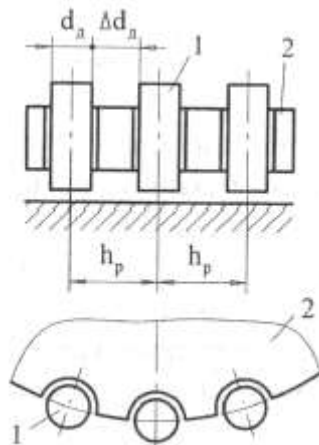
де  $\Delta d_d$  – зазор між деталями, що відповідає товщині перегородки між гніздами ротора.

Приймають  $\Delta d_d = (0,1 - 1,0)d_d$ , при цьому  $h_p = (1,1 - 2,0)d_d$ .

При групових методах обробки, коли деталі встановлені на піддонах (рис. 4.37), крок  $h_p$  ротора визначають так

$$h_p = u_{\text{п}} d_d + (u_{\text{п}} - 1) \Delta d_d + \Delta B_{\text{п}},$$

де  $u_{\text{п}}$  – кількість гнізд піддона;  $\Delta d_d$  – зазор між деталями;  $\Delta B_{\text{п}}$  – зазор між піддонами.



1 – об'єкт обробки; 2 – дисковий ротор

Рис. 4.36. Схема до визначення кроку дискового ротора

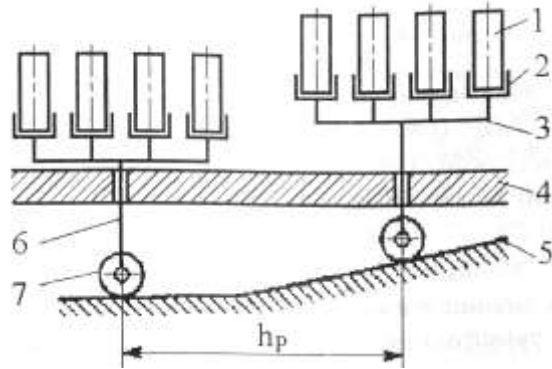
Наведену методику визначення кроку ротора доцільно використовувати і для конвеєрних машин. В цьому випадку крок  $h_p$  ротора повинен відповідати кроку стандартного ланцюга.

Іноді крок  $h_p$  ротора не залежить від розмірів об'єкта обробки, а визначається розмірами елементів механізмів елементів приводу. Наприклад, крок ротора може залежати від габаритних розмірів двигуна (якщо приводом робочого інструмента є індивідуальний двигун, який вмонтований в блок робочого інструмента) тощо. Крок ротора з гідравлічним приводом визначається переважно не габаритами інструментального блока, а діаметром гідро циліндрів.

Рекомендовані кроки і діаметри ділильних кіл технологічних та транспортних роторів наведені у літературних джерелах<sup>2</sup>.

При розрахунках діаметра  $D_p$  ділильного кола роторів, який визначений із умов заданої продуктивності, потрібно мати на увазі, що він повинен збігатись з діаметром  $D_{зк}$  ділильного кола зубчастого колеса, яке приводить у рух ротор, тобто  $D_p = D_{зк}$  (рис. 4.38).

<sup>2</sup> Кодра Ю.В., Стецько З.А. Розрахунок і конструювання: навч. посібник / За ред.. З.А. Стецька. Львів: Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 468 с.



1 – об'єкт обробки; 2 – гніздо; 3 – піддон; 4 – ротор; 5 – кулачок; 6 – шток;  
7 – ролик

Рис. 4.37. Схема до визначення кроку ротора при груповій обробці деталей

Довжина ділительного кола ротора  $\pi D_p = p_p h_p$ , звідки

$$h_p = \frac{\pi D_p}{p_p}.$$

Рівність  $D_p = D_{зк}$  запишемо так

$$p_p h_p = m z_{зк},$$

де  $m$  – модуль зубчастої передачі;  $z_{зк}$  – кількість зубців зубчастого колеса приводу обертання ротора.

Тоді

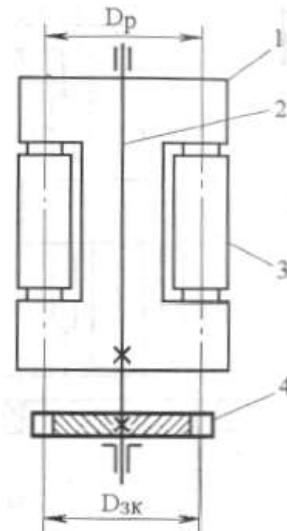
$$h_p = \frac{m z_{зк}}{p_p}.$$

**Приклад** визначення діаметра ділительного кола ротора.

Припустимо, що на стадії ескізного проектування визначено крок ротора  $h_p = 90$  мм, кількість позицій  $p_p = 8$ .

Тоді діаметр ділительного кола

$$D_p = \frac{p_p h_p}{\pi} = \frac{8 \cdot 90}{3,14} = 229 \text{ мм.}$$



1 – ротор; 2 – вал; 3 – інструментальний блок; 4 – зубчасте колесо

Рис. 4.38. Схема технологічного ротора з приводом через зубчасту передачу

При такому значенні  $D_p$  неможливо виконати розрахунки зубчастого зачеплення, тому із ряду переважаючих чисел вибираємо найближчий діаметр  $D_{зк} = 240$  мм (див. табл. 4.2<sup>3</sup>).

Корегуємо значення кроку ротора

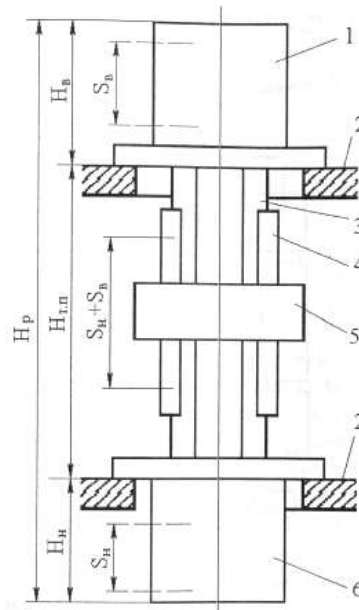
$$h_p = \frac{\pi D_p}{p_p} = \frac{3,14 \cdot 240}{8} = 94,2 \text{ мм.}$$

Виходячи із  $D_p = D_{зк} = p_p h_p = m z_{зк}$ , можливі три варіанти характеристик зубчастого зачеплення:

При  $m = 3$  мм,  $z_{зк} = 80$ ;  $m = 4$  мм,  $z_{зк} = 60$ ;  $m = 6$  мм,  $z_{зк} = 40$ .

Висота  $H_p$  технологічного ротора складається з розмірів (рис. 4.39)  $H_v$  і  $H_n$  верхнього і нижнього блоків приводів і розміру  $H_{ТП}$  технологічного простору між верхньою і нижньою плитами станини машини. Розміри  $H_v$  і  $H_n$  залежать від величин  $S_v$  і  $S_n$  переміщень верхнього і нижнього інструментів.

<sup>3</sup> Кодра Ю.В., Стецько З.А. Розрахунок і конструювання: навч. посібник / За ред.. З.А. Стецька. Львів: Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 468 с.



1 – блок верхніх повзунів; 2 – ротор;  
3 – шток; 4 – інструментальний блок; 5 – блокотримач; 6 – блок нижніх повзунів

Рис. 4.39. Схема до визначення вертикальних розмірів технологічного ротора з двостороннім приводом

Розглянемо способи визначення мінімального переміщення  $S_n$  інструмента на прикладі операцій витяжки деталі через дві матриці (рис. 4.40а), штампування в упор (рис. 4.40б), лінійного контролю висоти (рис. 4.40в).

При витяжці деталі пуансон здійснює хід, який складається із висоти  $h_3$  заготовки, висоти першої  $h_{m1}$  і другої  $h_{m2}$  матриць, висоти знімача  $\delta_c$  і розміру виробу  $h_b$ , а також гарантованих зазорів  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_5$  і зазорів  $\delta_3$  і  $\delta_4$  між інструментами.

При штампуванні деталі в упор  $S_{п1} = h_3 + h_m + \delta_1 + \delta_2$ , де  $h_3$  – висота заготовки;  $h_m$  – висота внутрішньої порожнини матриці;  $\delta_1, \delta_2$  – гарантовані зазори, що забезпечують подачу заготовок під інструмент. Виштовхувач (на схемі на показаний) повинен здійснювати хід  $S_{п2} = h_m + \delta_2$ .

Контрольні операції вимагають невеликих переміщень  $S_n = \delta_1$ , достатніх для вільної подачі деталі під вимірювальний інструмент з врахуванням допуску на контрольований розмір  $h_b$  деталі.

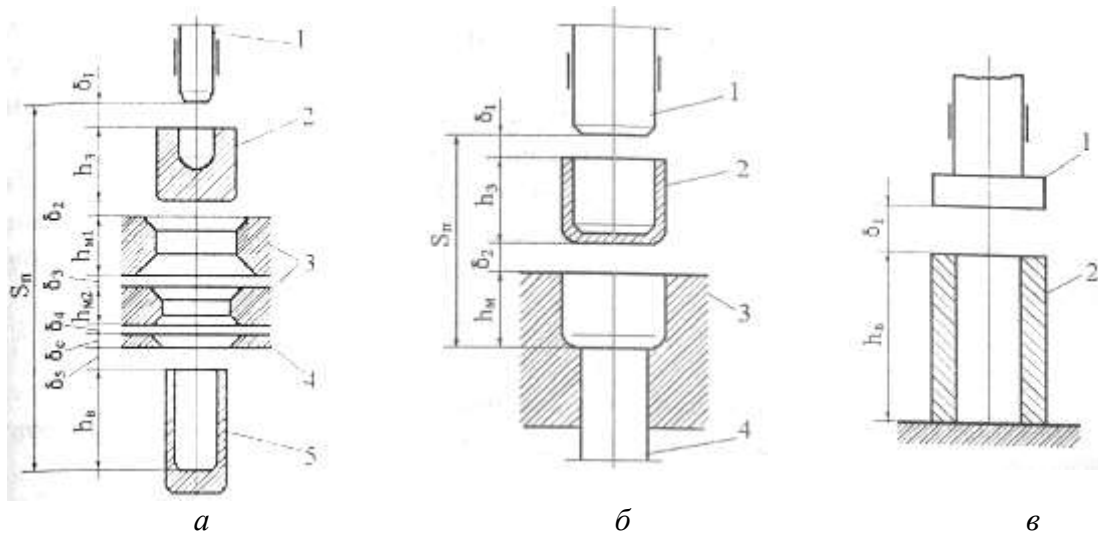


Рис. 4.40. Схема до визначення ходу робочого інструмента на прикладі витяжки через дві матриці (а); штампування в упор (б); контроль висоти деталі (в); 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриці; 4 – знімач (виштовхувач); 5 – виріб

Параметри  $H_B$  і  $H_H$  повинні забезпечити технологічні переміщення  $S_B$  і  $S_H$  верхнього і нижнього інструментів. При механічному приводі у вигляді кулачка або похилої шайби  $H_{(B,H)} = (1,5 - 2,5)S_{(B,H)}$ . При гідравлічному приводі, крім гідро циліндрів, блок приводу містить у собі додаткові елементи (гідро розподільвачі, мультиплікатори), тому  $H_{(B,H)} = (2 - 4)S_{(B,H)}$ . При витяжці  $H_{ТП} = (4 - 6)S_B$ . Якщо використовується двосторонній привід і два інструменти (пуансон і виштовхувач)  $H_{ТП} = (3 - 5)(S_B + S_H)$ . Викладене у попередньому абзаці не стосується операцій з малими ходами робочого інструмента (чеканка, контроль тощо).

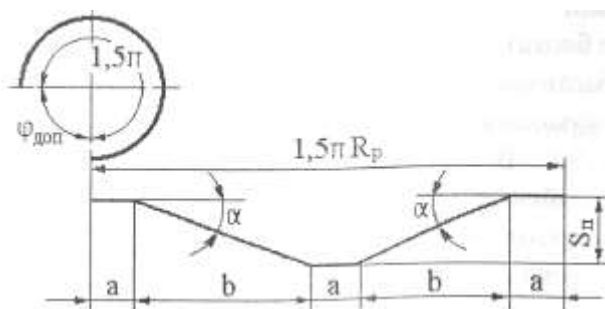


Рис. 4.41. Схема розгортки технологічного ротора

Наближено можна прийняти, що деталь знаходиться на технологічному роторі протягом часу, що відповідає куту повороту  $1,5\pi$  (рис. 4.41), причому за час повороту на  $1,2\pi$  (ділянки  $b$ ) виконуються взаємні переміщення інструмента і деталі, а за час повороту на  $0,3\pi$

(ділянки а) – підготовчі та допоміжні операції (базування, закріплення, видача деталі тощо). Тоді

$$1,2\pi R_p = 2S_{\pi} \operatorname{ctg}\alpha,$$

тобто між радіусом  $R_p$  ротора і технологічним переміщенням  $S_{\pi}$  інструмента є певна залежність. Припустимо, що кути нахилу траєкторій підведення і відведення інструмента однакові і дорівнюють  $45^{\circ}$ . Тоді

$$R_p = \frac{2S_{\pi} \operatorname{ctg}\alpha}{1,2\pi} = 0,52S_{\pi}.$$

Із цього виразу можна зробити висновок, що по визначенню діаметру ротора визначаються технологічні можливості приводу. Зокрема  $\alpha \leq 45^{\circ} S_{\pi} \leq 2R_p$ .

**Приклад.** При визначених параметрах ротора  $p_p = 8$ ,  $h_p = 94,2$  мм вибрано  $D_p = 240$  мм ( $R_p = 120$  мм).

Припустимо, що згідно з рис. 4.38:

$$h_3 = 0,7h_b; h_{m1} = h_{m2} = 0,2h_b; \sum_{i=1}^5 \delta_i = 0,2h_b; h_c = 0,2h_b.$$

Тоді  $S_{\pi} = 2,4h_b$ . Відповідно, висота виробу, яку можна отримати, у цьому разі не перевищує 100 мм.

**Основні показники роторних машин.** Циклова діаграма однороторної машини показана на рис. 4.42. На кутах повороту ротора виконуються такі операції:

- $\beta_3$  і  $\beta_{pв}$  – завантаження і розвантаження ротора;
- $\alpha_{pо}$  – основна технологічна операція;
- $\alpha_{\pi}$  і  $\alpha_b$  – підведення і відведення інструмента;
- $\varphi_{об}$  – допоміжні операції (контроль інструмента, очищення інструментального блока).

Кут  $\varphi_{об}$  у багатороторних машинах для раціонального компоновання робочих, завантажувальних і розвантажувальних і транспортних роторів приймають  $\varphi_{об} = 90^{\circ}$ . В однороторних машинах, у яких завантаження і розвантаження здійснюється без застосування завантажувально-розвантажувальних роторів, кут  $\varphi_{об} < 90^{\circ}$ . Коли інструментальні блоки

супроводжуються захватами транспортних роторів, кути  $\beta_3$  і  $\beta_{рв}$  приймаються близькими до  $20^\circ$ .

Кут  $\alpha_{po}$  на етапі ескізного проектування приймають близьким до  $180^\circ$ .

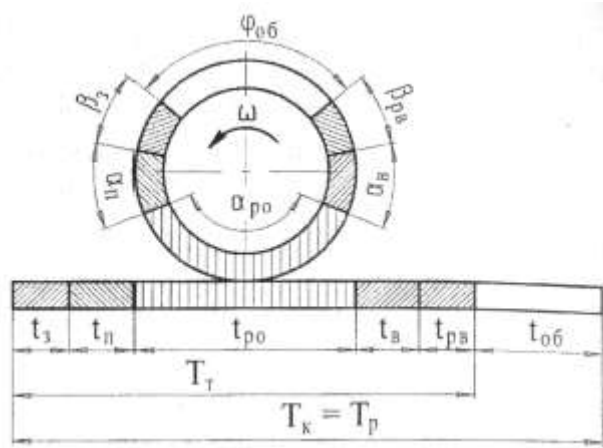


Рис. 4.42. Циклова діаграма однороторної машини

Технологічний цикл, протягом якого об'єкт знаходиться на роторі

$$T_r = t_3 + t_n + t_{po} + t_b + t_{рв}.$$

Робочий цикл роторної машини дорівнює кінематичному циклу – часу одного оберту ротора

$$T_p = T_k = T_r + t_{об} = t_3 + t_n + t_{po} + t_b + t_{рв} + t_{об}.$$

Робочий цикл, виражений через тривалість технологічної дії  $t_{po}$

$$T = t_{po} \frac{360^\circ}{\alpha_{po}^\circ}.$$

Робочий такт

$$T_{рт} = \frac{h_p}{v_{тр}},$$

де  $h_p$  – крок ротора;  $v_{тр}$  – лінійна швидкість точки ділительного кола ротора.

Циклова продуктивність роторної машини

$$Q_{ц} = \frac{p_p}{T_p} = \frac{1}{T_{пр}} = \frac{v_{тр}}{h_p} = p_p n_p,$$

де  $p_p$  – кількість інструментальних блоків (позицій) ротора;  $n_p$  – частота обертання ротора.

Фактична продуктивність як функція кількості робочих позицій, монотонно зростаючи, наближається до межі, яка визначається надійністю роботи машини (див. рис. 4.13), оскільки поза циклові втрати ростуть пропорційно до кількості позицій. Це означає, що кількість позицій не може бути надто великою. У кожному конкретному випадку має місце економічно оптимальна кількість позицій за критеріями мінімальної собівартості та максимуму продуктивності.

Як і для машин послідовної дії, кількість позицій універсальних автоматів паралельної дії вибирають за максимумом продуктивності, спеціальних – за заданою продуктивністю. При цьому універсальні автомати і напівавтомати паралельної дії широко застосування не набули, більшість машин цього виду відносяться до спеціального обладнання.

Машини паралельної дії будують переважно у двох варіантах: роторному і конвеєрному, розрахунок кількості позицій яких проводять аналогічно.

Шлях, який проходить об'єкт обробки за час  $t_{po}$  у секторі  $\alpha_{po}$

$$L_{po} = v_{тр} t_{po} = p_{po} h_p,$$

де  $p_{po}$  – кількість інструментальних блоків, що беруть участь в обробці.

Тоді

$$p_{po} = \frac{v_{тр}}{h_p} t_{po} = Q_{ц} h_p.$$

При рівномірному обертанні ротора справедливе відношення

$$\frac{T_p}{360^\circ} = \frac{t_{po}}{\alpha_{po}}.$$

Враховуючи це, кількість інструментальних блоків у будь-якому секторі

$$p_i = \frac{v_{\text{тр}} T_p \alpha_i}{h_p \cdot 360},$$

а загальна кількість інструментальних блоків на роторі (кількість позицій)

$$p_p = \frac{v_{\text{тр}}}{h_p} T_p = Q_{\text{ц}} T_p.$$

**Розглянемо методику визначення кількості позицій і діаметра ділильного кола ротора на прикладі роторного автомата штампування ковпачків.**

Вхідними даними для розрахунку є:

- фактична (необхідна) продуктивність автомата  $Q_{\text{фз}} = 260$  шт./хв;
- тривалість технологічної операції (штампування)  $t_{\text{ро}} = 0,5$  с.

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 4.30а) час  $t_{\text{ро}}$  відповідає повороту ротора на кут  $\alpha_{\text{ро}}$ .

Розрахунок проводимо у такій послідовності:

- 1) Приймаємо кут повороту ротора, на якому виконується штампування  $\alpha_{\text{ро}} = 120^\circ$ .
- 2) Визначаємо тривалість робочого циклу автомата – час одного оберту ротора

$$T_p = t_{\text{ро}} \frac{360^\circ}{\alpha_{\text{ро}}} = 0,5 \frac{360}{120} = 1,5 \text{ с.}$$

- 3) Визначаємо циклову продуктивність автомата

$$Q_{\text{ц}} = \frac{Q_{\text{фз}}}{\eta_{\text{в}}} = \frac{260}{0,8} = 325 \text{ хв}^{-1},$$

де  $\eta_{\text{в}} = 0,8$  – коефіцієнт використання.

- 4) Визначаємо кількість позицій автомата

$$p_p = \frac{Q_{\text{ц}} T_p}{60} = \frac{325 \cdot 1,5}{60} = 8,1.$$

Приймаємо  $p_p = 9$  позицій.

- 5) Визначаємо частоту обертання ротора

$$n_p = \frac{60}{T_p} = \frac{60}{1,5} = 40 \text{ хв}^{-1}.$$

6) Визначаємо крок  $h_p$  ротора, який залежить від розмірів виробу, та інструментального блока, а також проміжку між інструментальними блоками. Методика визначення  $h_p$  наведена вище (наприклад,  $h_p = (1,1 - 2,0)d_d$ ). Допустимо, що у цьому разі  $h_p = 110$  мм.

7) Визначаємо попередньо діаметр ділильного кола ротора

$$D_p = \frac{p_p h_p}{\pi} = \frac{9 \cdot 110}{3,14} = 315 \text{ мм}$$

Згідно з табл. 4.2<sup>4</sup> для  $p_p = 9$  найближчий діаметр ділильного кола ротора  $D_p = 324$  мм, крок ротора  $h_p = 113,09$  мм. Ці значення параметрів і приймаємо для подальших розрахунків.

8) Виходячи із  $D_p = D_{зк} = m \cdot z_{зк} = 324$ , вибираємо можливі варіанти характеристик зубчастих коліс:

при  $m = 1$  мм,  $z_{зк} = 324$ ; при  $m = 2$  мм,  $z_{зк} = 162$ ;

при  $m = 3$  мм,  $z_{зк} = 108$ ; при  $m = 4$  мм,  $z_{зк} = 81$ .

Після проведення силових розрахунків вибирають відповідний модуль зубчастої передачі.

<sup>4</sup> Кодра Ю.В., Стецько З.А. Розрахунок і конструювання: навч. посібник / За ред.. З.А. Стецька. Львів: Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 468 с.

## ТЕМА 5 ТИПОВІ МЕХАНІЗМИ ПОТОЧНОЇ ЛІНІЇ І ОСНОВИ ЇХ РОЗРАХУНКУ

### Лекція 5.1 (18) Класифікація, функції та характеристики механізмів. Класифікація кулачкових механізмів. Проектування кінематичної схеми

*Класифікація, функції та характеристики механізмів.* При проектуванні технологічного обладнання конструктор повинен вибрати найбільш раціональні типи і схеми механізмів для здійснення заданих операцій і розрахувати їх стосовно конкретного інженерного завдання. Ця початкова стадія проектування є досить складною, особливо коли йдеться про створення принципово нового обладнання, коли немає прототипу. Тому знання типів різних механізмів і їх характеристик значно полегшує роботу конструктора. Для ознайомлення з механізмами і вибору конкретного механізму для розв'язання заданого інженерного завдання може бути 5-ти томник «Механізми у сучасній техніці» І.І. Артоболовського, я якому показані схеми понад п'яти тисяч механізмів.

Всі механізми класифікують за двома ознаками: структурно-конструкторською і функціональною.

За **структурно-конструкторською ознакою** механізми поділяються на такі групи: важільні, зубчасті, фрикційні, кулачкові, з гнучкими ланками, а також з гідравлічними, пневматичними, електричними і комбінованими зв'язками. Кожна із цих груп ділиться на підгрупи, наприклад, важільні механізми можуть бути шарнірно-важільними, кулісно-важільними, кривошипно-повзунковими тощо.

За **функціональною ознакою** механізми можна поділити на такі групи: для регулювання швидкості, реверсування рухів, блокування, фіксування, запобіжні тощо. Окремою групою є так звані цільові механізми, які використовуються для виконання окремих елементів технологічного процесу: завантажувальні, затискання, транспортування.

Призначення будь-якого механізму є передача руху від ведучої ланки до відомої без зміни характеру руху або з перетворенням одного виду руху в інший. Ланки механізмів можуть здійснювати такі рухи: обертовий (О) навколо осі, поступальний (П) і складний (С).

Отже, за кінематичною ознакою механізми можна поділити на шість груп:

- для передачі обертального руху (О–О);
- для передачі поступального руху (П–П);
- для перетворення обертального руху в поступальний, і навпаки (О–П),(П–С);

- для перетворення поступального руху в складний, і навпаки (П–С),(С–П);
- для перетворення обертального руху в складний, і навпаки (О–С),(С–О);
- для перетворення складного руху в складний іншого виду (С–С).

Наведена класифікація стосується елементарних механізмів, тобто таких, кінематичні ланцюги яких не можна розділити на частини при збереженні їхніх кінематичних властивостей. До них відносяться три ланкові *кулачкові механізми*, будь-яка пара зубчастих коліс, мальтійський, кулачково-роликовий, кривошипно-повзунковий механізм тощо. Якщо завдання не розв'язується із застосуванням елементарного механізму, то використовують механізми, складені з декількох елементарних. Наприклад, багатоступінчастий редуктор складений з декількох елементарних передач. Таким чином, знаючи властивості елементарних механізмів і складаючи з них відповідні комбінації, завжди можна забезпечити необхідні перетворення руху, отримати необхідні траєкторії руху вихідної ланки механізму і, відповідно, робочого органа машини.

Кожна із механічних передач характеризується кінематичними та динамічними параметрами: передавальним числом, коефіцієнтом корисної дії, моментом чи силою, які здатний передавати цей механізм. Найпоширеніші передачі та їх характеристики наведені у табл. 5.1 [3]. Значення передавальних чисел механічних передач наведені у табл. 5.2,5.3, а їхні коефіцієнти корисної дії – у табл. 5.4 [3].

*Проектування кінематичної схеми.* Найбільш відповідальним етапом у проектуванні машини є розробка її кінематичної схеми, яка значною мірою визначає конструкцію окремих вузлів і деталей, а також експлуатаційні параметри машини.

Кінематична схема – це умовне площинне чи перспективне зображення всіх механізмів і ланок в їх взаємозв'язку, вона дає інформацію про розподіл потоків енергії, про кінетичні зв'язки елементів машини і взаємне розміщення ведучих ланок. Кінематична схема є вхідним документом для кінематичного і силового розрахунків машини.

Схему виконують без дотримання масштабу, дійсне просторове розміщення складових частин машини поточної лінії або не враховують взагалі, або враховують наближено. Всі елементи на схемі зображають умовними графічними позначеннями або спрощено – зовнішніми контурами. Кінематичну схему машини викреслюють у розгорнутому вигляді. Допускається кінематичні схеми вписувати в контур зображення машини, а також викреслювати в аксонометричних проєкціях.

Вали (крім вала двигуна) на кінематичній схемі нумерують римськими цифрами, а решту елементів – арабськими. Нумерацію виконують у порядку обходу схеми зліва направо чи справа наліво і пояснюють на вільному полі креслення текстовою частиною, наприклад, за допомогою таблиці. Елементи стандартних механізмів (наприклад, редукторів, варіаторів) не нумерують, а порядковий номер присвоюють усьому механізму в цілому. Порядковий номер елементів проставляють на поличці лінії-виноски. Під поличкою вказують основні характеристики і параметри елемента. Під поличкою лінії виноски двигуна вказують його тип, частоту обертання і потужність. Вали характеризуються частотою їх обертання. Характеристиками інших елементів схеми є: діаметри шківів, довжина і тип паса, кількість зубців коліс, зірочок, храповиків, модулі зубчастих передач, кроки ланцюгових і гвинтових передач, частоту і величину ходів робочих органів. На цифрові позначення схеми посилаються при описанні будови і принципу дії машини.

Знаючи загальні вимоги до приводу машини, яка проектується, можна вибрати типи окремих передач, з яких цей привід складається. Щоб раціонально вирішити питання, яка з передач важливіша, необхідно врахувати багато додаткових вимог: умови роботи, термін служби, допустимі габарити, вартість самого приводу і витрати на експлуатацію та його технологічність.

Розміщаючи окремі передачі в загальній схемі приводу, потрібно ближче до електродвигуна розмістити передачі, розміри яких знаходяться в оберненій залежності від швидкості руху (пасові і фрикційні), а також передачі, які забезпечують на високих швидкостях найменші вібрації (косозубчасті колеса).

Кінематичні схеми виконавчих механізмів зображають на кресленні в масштабі з точним дотриманням відносного розміщення ланок і пар. На схемі вказують відстань між нерухомими шарнірами, а також між ними і осьовими лініями ланок, які рухаються поступально, кутові характеристики зігнутих ланок. Нерухомі шарніри позначають літерою «O» з індексом внизу – порядковим номером; рухомі – великими літерами латинського алфавіту. Ланки нумерують арабськими цифрами. Напрямок обертання ведучої ланки вказують стрілкою. Поряд зі схемою розміщують таблицю, в якій вказують порядкові номери ланок, літерні позначення окремих частин ланок і їх розмірні характеристики.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кодра Ю. В., Стоцько З. А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: Навч. посібник / За ред. З. А. Стоцько. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 468 с.
2. Інжиніринг пакувального обладнання. Конспект лекцій з навчальної дисципліни : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» / А. Я. Карвацький. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 142 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23915>
3. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : моногр. Київ : НТУУ «КПІ», 2009. 264 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28259>
4. Організація виробництва : навч. посібник / В. В. Прохорова, О. Ю. Давидова. Харків : Вид-во Іванченка І.С., 2018. 275 с. URL : <http://ктеп.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Organizacziya-virobnicztva-Prohorov-V.-V..pdf>
5. Карвацький А.Я., Лазарєв Т.В. Метод. вказівки до викон. комп'ютерних практикумів з практичних занять студентів з дисципліни «Проектування поточних ліній», для студ. спец. «Машини і технологія пакування». Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 35 с. URL : [https://cpsm.kpi.ua/Doc/Metod\\_Pract\\_PPL.pdf](https://cpsm.kpi.ua/Doc/Metod_Pract_PPL.pdf)
6. Метод. вказівки до викон. самостійної роботи студентів з дисципліни «Проектування поточних ліній», для студ. спец. «Машини і технологія пакування» / Уклад.: А.Я. Карвацький. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 13 с. URL : [https://cpsm.kpi.ua/Doc/Metod\\_CPC\\_PPL.pdf](https://cpsm.kpi.ua/Doc/Metod_CPC_PPL.pdf)
7. Організація виробництва : підручник / А. І. Яковлев [та ін.] ; ред.: А. І. Яковлев, С. П. Сударкіна, М. І. Ларка ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків : НТУ "ХПІ", 2016. 436 с. URL : <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/28324>
8. Introduction to SolidWorks. 2014. · 207 p. · URL : <https://www.pdfdrive.com/introduction-to-solidworks-e13723438.html>
9. Tickoo Sham. Solidworks A Tutorial Approach. 2016, 593 p. URL : <https://www.pdfdrive.com/solidworks-a-tutorial-approach-e175343946.html>

10. Dassault Systems SolidWorks Corporation, a Dassault Systems S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA, 1995–2009, 534 p.
11. SOLIDWORKS: Drawings Online Class. URL : <https://www.linkedin.com/learning/solidworks-drawings>
12. SolidWorks. Training. Dassault Systems SolidWorks Corporation, a Dassault Systems S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA, 2010. 333 с.
13. SolidWorks Simulation. 2010. 146 p. URL : <https://www.pdfdrive.com/solidworks-simulation-e17219094.html>
14. Website: OpenFOAM. Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox – відкрита інтегрована платформа для числового моделювання задач механіки суцільних середовищ URL : <https://www.openfoam.com/>.
15. Сайт: MFiX. A Multiphase Flow Supercomputer Code // Режим доступу : <https://mfix.netl.doe.gov/>.
16. Сайт: Autodesk Inventor // Режим доступу : <http://www.autodesk.ru/products/autodesk-inventor-family/overview>.
17. Website: PTC Mathcad – програмне середовище для виконання на комп'ютері різноманітних математичних і технічних розрахунків. URL : <http://www.ptc.com/product/mathcad/>.
18. Website: LIGGGHTS Open Source Discrete Element Method Particle Simulation Code. URL : <https://www.cfdem.com/>.
19. Website: ANSYS Engineering Simulation & 3D Design Software ANSYS [Електронний ресурс]. URL : <https://www.ansys.com/>.
20. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування», «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів» / А. Я. Карвацький. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 391 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23916>
21. Segerlind Larry J. Applied Finite Element Analysis ; sec. edit. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1984. 393 p. URL : <https://www.scribd.com/doc/241729488/Applied-Finite-Element-Analysis-Larry-J-Segerlind-pdf>
22. Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів [Текст] : моногр. /

- А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, С. В. Кутузов та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 352 с.
23. Економіка та організація виробництва: підр. / за ред. В.Г. Герасимчука, А.Е. Розенплентера. Київ : Знання, 2007. 678 с.

## ДОДАТОК А

### Питання для самоконтролю

#### Лекція 1.1(1)

- 1) Охарактеризуйте основні ознаки поточного виробництва та ознаки поточної лінії, порівняйте їх.
- 2) Проаналізуйте класифікацію поточних ліній.
- 3) Проаналізуйте визначення поточної лінії.
- 4) Проаналізуйте принципи, на яких базується поточне виробництво.
- 5) Охарактеризуйте ритм поточної лінії.
- 6) Проаналізуйте організаційні форми поточних ліній.
- 7) Опишіть види поточних ліній.

#### Лекція 2.1(2)

- 1) Проаналізуйте основні етапи проектування поточних ліній.
- 2) Охарактеризуйте однопредметну і багатопредметну поточні лінії.
- 3) Проаналізуйте процедуру проектування режиму роботи лінії.
- 4) Опишіть коефіцієнт змінності.
- 5) Проаналізуйте змінне завантаження поточної лінії.
- 6) Охарактеризуйте розмір транспортної партії.
- 7) Проаналізуйте змінну програму ПЛ.

#### Лекція 3.1(3)

- 1) Проаналізуйте порядок розрахунку основних показників роботи перервно-поточної лінії.
- 2) Проаналізуйте місячний фонд часу; число видів виробів; число операцій.
- 3) Опишіть вихідні дані для розрахунку перервно-поточної лінії.
- 4) Проаналізуйте результати розрахунку поточної лінії.
- 5) Опишіть ступінь синхронізації ПЛ.
- 6) Проаналізуйте регламент роботи поточної лінії.
- 7) Охарактеризуйте умови оптимального регламенту ПЛ.

#### Лекція 4.1(4)

- 1) Опишіть побудову регламенту перервної поточної лінії.
- 2) Проаналізуйте варіанти регламенту поточної лінії.

- 3) Охарактеризуйте запаси поточної лінії: технологічний, транспортний, страховий або резервний, оборотний, міжопераційний оборотний.
- 4) Охарактеризуйте час зайнятості одиниці обладнання на кожній операції.
- 5) Проаналізуйте кількість робочих на неперервній поточній лінії.

### **Лекція 5.1(5)**

- 1) Охарактеризуйте варіанти планування поточних ліній.
- 2) Опишіть типи конвеєрів.
- 3) Охарактеризуйте норму вироблення.
- 4) Проаналізуйте порядок технічного обслуговування обладнання поточної лінії.

### **Лекція 6.1(6)**

- 1) Проаналізуйте методику розрахунку економічного ефекту від впровадження ПЛ.
- 2) Проаналізуйте методику розрахунку економічної ефективності проекту на базі чистої приведеної вартості проекту.
- 3) Проаналізуйте переваги поточної форми організації виробництва.
- 4) Охарактеризуйте чисту приведену вартість проекту та чистий грошовий потік.
- 5) Охарактеризуйте чистий грошовий потік проекту.
- 6) Охарактеризуйте індекс прибутковості проекту.
- 7) Охарактеризуйте термін окупності проекту.
- 8) Охарактеризуйте поняття внутрішньої норми рентабельності проекту.

### **Лекція 1.1(7)**

- 1) Охарактеризуйте технологічний процес як основу проектування технологічного обладнання поточного виробництва.
- 2) Охарактеризуйте апаратний та машинний ТП, машинну технологію.
- 3) Проаналізуйте призначення робочих і допоміжних органів машини, наведіть приклади.
- 4) Охарактеризуйте чотири класи машин за характером дії обробляючого інструмента на об'єкт обробки ТП.

### **Лекція 1.2(8)**

- 1) Охарактеризуйте технологічні машини і потокові лінії. Проаналізуйте основні поняття і визначення знарядь виробництва.
- 2) Проаналізуйте структуру автоматичної робочої машини.
- 3) Охарактеризуйте машину, її робочий та неробочий ходи.
- 4) Охарактеризуйте виробничий, технологічний, робочий, кінематичний, динамічний та енергетичний цикли машин ПЛ.
- 5) Охарактеризуйте ступінь автоматизації машини, напівавтомата, автомата, автоматичної лінії, поточної лінії.
- 6) Охарактеризуйте напівавтомат і автоматичну лінії, порівняйте їх роботу.

### **Лекція 1.3(9)**

- 1) Проаналізуйте структуру автоматичної лінії, поточної лінії, цеху.
- 2) Проаналізуйте класифікацію машин за характером переміщення об'єкта обробки. Наведіть приклади відповідних поточних ліній.
- 3) Проаналізуйте загальні етапи процесу проектування машин поточних ліній.
- 4) Охарактеризуйте спільність машин-автоматів і автоматичних ліній різного технологічного призначення.

### **Лекція 2.1(10)**

- 1) Проаналізуйте основні положення теорії продуктивності машин і праці. Проаналізуйте продуктивність робочих машин.
- 2) Охарактеризуйте технологічну і циклову продуктивність.
- 3) Охарактеризуйте фактичну продуктивність та коефіцієнт використання машини. Запишіть формули для їх обчислення.
- 4) Проаналізуйте види позациклових втрат. Охарактеризуйте фактичну продуктивність машини.
- 5) Охарактеризуйте сумарні позациклові втрати.
- 6) Проаналізуйте власні та організаційно-технічні втрати.
- 7) Охарактеризуйте баланс продуктивності машини.
- 8) Охарактеризуйте форми продуктивності машин – необхідна, очікувана і дійсна.
- 9) Проаналізуйте приклади розрахунку основних характеристик роботоздатності машин поточних ліній.

### **Лекція 2.2(11)**

- 1) Проаналізуйте методику розрахунку і аналізу продуктивності робочих машин в умовах експлуатації.
- 2) Опишіть затрати планового фонду часу машини.
- 4) Проаналізуйте розрахунок основних характеристик роботоздатності машин ПЛ та побудову балансу їх продуктивності.
- 5) Проаналізуйте та порівняйте технологічну і циклову продуктивність, наведіть формули для їх визначення.

### **Лекція 3.1(12)**

- 1) Проаналізуйте поняття про циклову діаграму машини.
- 2) Охарактеризуйте різні типи циклових діаграм: кругову, прямокутну та лінійну. Опишіть їхні переваги й недоліки.
- 3) Проаналізуйте поняття про синхронну діаграму машини. Наведіть приклади.
- 4) Проаналізуйте приклади розробки циклової діаграми машини.
- 5) Охарактеризуйте етапи побудови циклограм.

### **Лекція 4.1(13)**

- 1) Проаналізуйте особливості технологічних процесів автоматизованого виробництва.
- 2) Проаналізуйте складові робочого циклу машини. Наведіть приклади.
- 2) Охарактеризуйте принцип диференціації ТП та концентрації операцій, проаналізуйте їх вираження при проектуванні ПЛ.
- 3) Проаналізуйте суміщення операцій (багатоінструментальну обробку).
- 4) Охарактеризуйте структурні варіанти побудови машин ПЛ.
- 5) Проаналізуйте види багатопозиційних машин-автоматів.
- 6) Проаналізуйте принципи побудови багатопозиційних машин-автоматів і автоматичних ліній.

### **Лекція 4.2(14)**

- 1) Охарактеризуйте вибір оптимального ступеня диференціації і концентрації ТП.
- 2) Проаналізуйте розрахунок кількості позицій багатопозиційних машин послідовної дії поточного виробництва.

3) Проаналізуйте і наведіть приклади автоматів і ліній послідовно-паралельної дії.

4) Охарактеризуйте розвиток структурних схем компоновання автоматів і автоматичних ліній послідовної дії.

5) Проаналізуйте етапи розрахунку продуктивності машин.

### **Лекція 4.3(15)**

1) Проаналізуйте основні показники роторних машин.

Охарактеризуйте конвеєрні машини безперервної дії.

2) Охарактеризуйте призначення, класифікацію, функції та характеристики роторних механізмів.

3) Опишіть роторний автомат.

4) Охарактеризуйте автоматичну роторну лінію.

5) Охарактеризуйте автомати паралельної дії.

6) Проаналізуйте продуктивність машин паралельної дії.

7) Проаналізуйте продуктивність автоматів паралельної дії залежно від кількості позицій.

8) Проаналізуйте та порівняйте параметри роботи роторних та роторно-конвеєрних машин поточного виробництва.

### **Лекція 4.4(16)**

1) Опишіть схему типової роторної машини.

2) Охарактеризуйте технологічний (робочий) ротор.

3) Опишіть технологічні ротори для обробки інструментом.

4) Охарактеризуйте технологічні ротори для апаратної обробки.

Проаналізуйте принцип роботи ротора для дозованого розливання рідини.

5) Охарактеризуйте автомати і лінії послідовно-паралельної дії.

6) Проаналізуйте варіанти побудови автоматів і автоматичних ліній послідовно-паралельної дії

7) Охарактеризуйте продуктивність лінії послідовно-паралельної дії.

8) Охарактеризуйте універсальні та спеціальні автомати і напівавтомати. Наведіть приклади автоматів і ліній послідовно-паралельної дії.

### **Лекція 4.5(17)**

1) Опишіть транспортні ротори.

2) Охарактеризуйте типові схеми роторних та конвеєрно-роторних машин. Проаналізуйте основні поняття та визначення.

- 3) Охарактеризуйте приводи роторних машин та інструментальні блоки.
  - 4) Опишіть визначення параметрів роторних та роторно-конвеєрних машин.
  - 5) Охарактеризуйте автоматичну роторно-конвеєрну лінію.
  - 6) Опишіть технологічні ротори для обробки інструментом.
  - 7) Охарактеризуйте транспортні засоби на поточних лініях.
- Проаналізуйте особливості їх використання.

### **Лекція 5.1(18)**

- 1) Опишіть класифікацію, функції та характеристики механізмів.
- 2) Проаналізуйте класифікацію кулачкових механізмів.
- 3) Опишіть процедуру проектування кінематичної схеми.

## ДОДАТОК Б

### Приклади застосування FreeCAD для проектування деталей і вузлів ПЛ

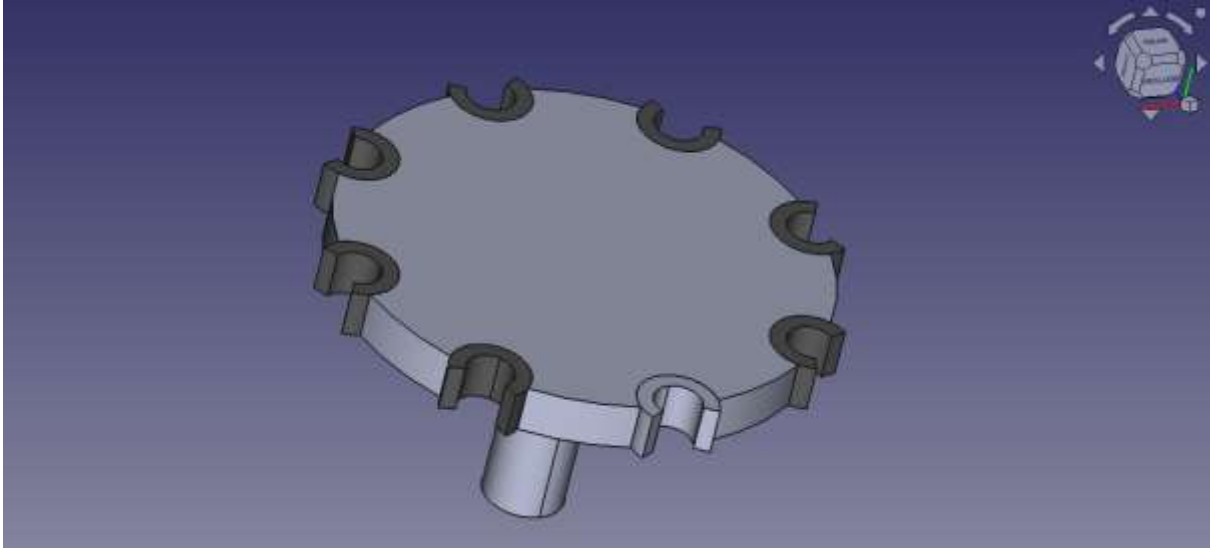


Рис. Б.1. Твердотільна модель транспортного ротора (FreeCAD)

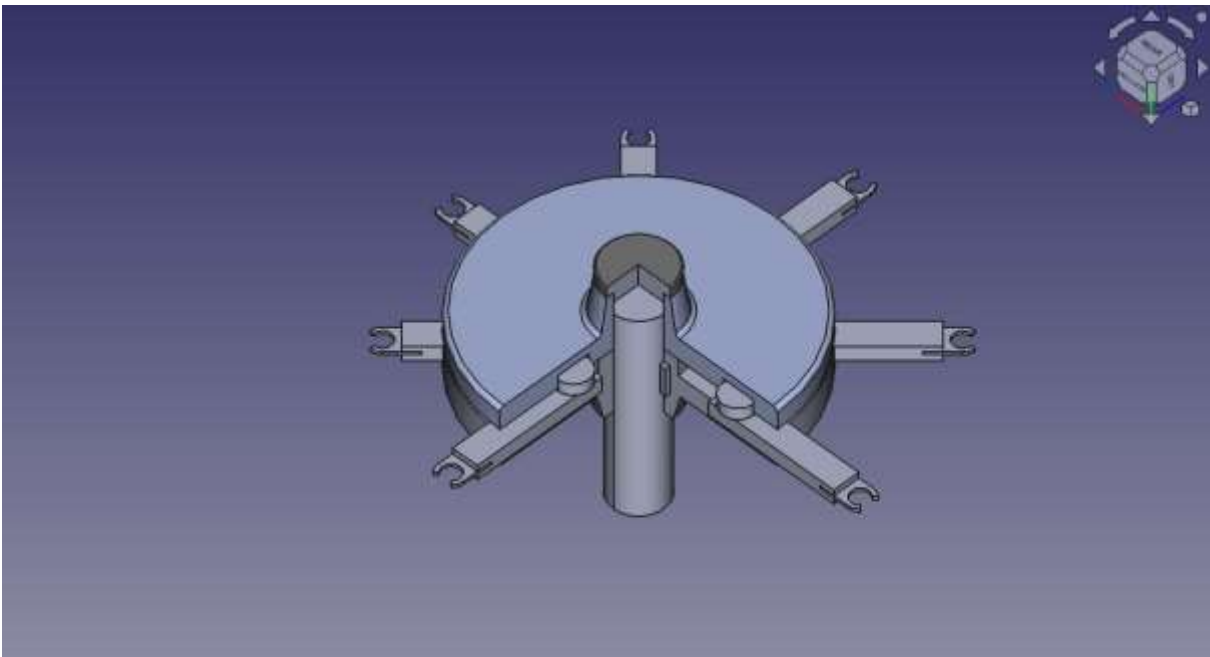


Рис. Б.2. Твердотільна модель транспортного ротора, робочі органи якого забезпечують зміну кроку передачі об'єкта обробки (FreeCAD)

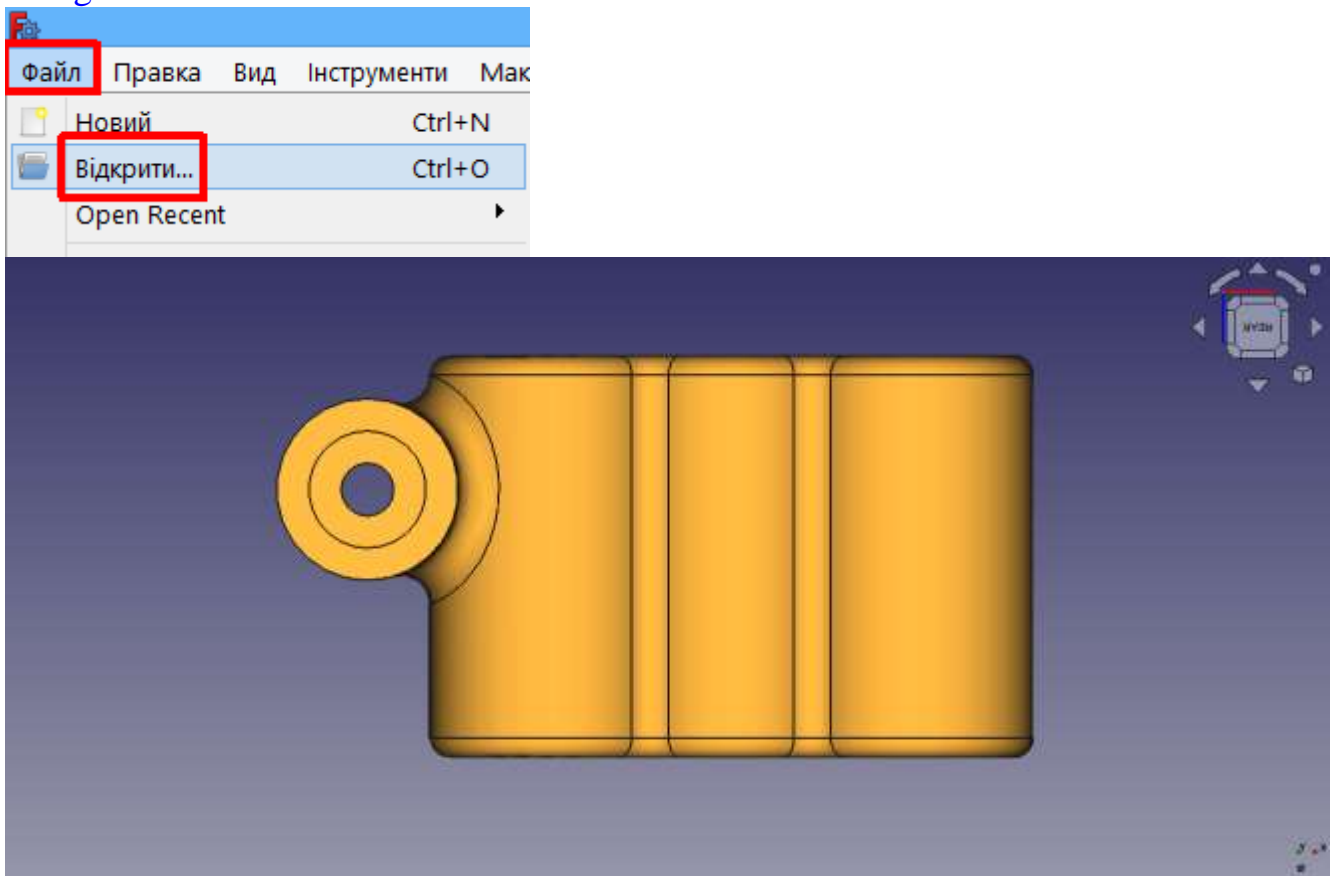
## TechDraw – створення креслення за 3D моделлю

### Вступ

Цей посібник знайомить нового користувача з деякими інструментами та методами, які використовуються в [https://wiki.freecad.org/TechDraw\\_Workbench](https://wiki.freecad.org/TechDraw_Workbench). Він не є повним і вичерпним посібником для TechDraw Workbench, тому в ньому багато інструментів і можливостей не розглядаються, але при цьому надає можливість користувачу через кроки, необхідні для створення технічних креслень деталі з [https://wiki.freecad.org/Basic Part Design Tutorial](https://wiki.freecad.org/Basic_Part_Design_Tutorial).

### Перш ніж почати

Завантажте файл 3D моделі деталі, створеної, наприклад в [Part Design](#).

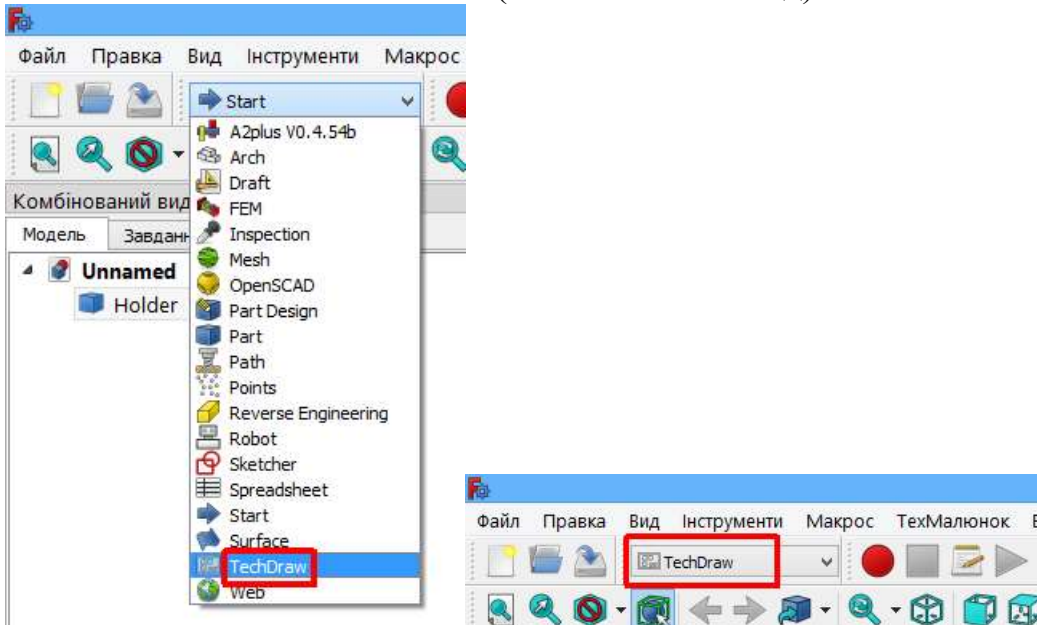


### Створення креслення


Спочатку відкрийте файл, що містить 3D-деталь. Потім переконайтеся, що ви перебуваєте в [TechDraw Workbench](#). Ви вибиратимете елементи у вікні [Drawing](#) та/або на панелі [Combo](#). Виділення в TechDraw працює так само, як і в 3D-вікні. Елементи стають жовтими, коли курсор знаходиться в позиції, щоб їх вибрати, і зеленими, коли їх

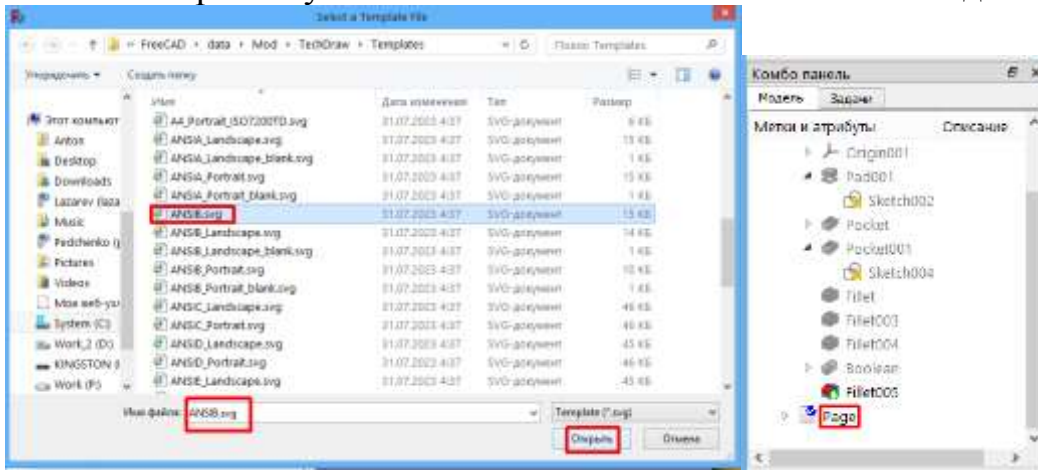
вибрано. Щоб вибрати кілька елементів, використовуйте клавішу **Ctrl** під час клацання.

### TechDraw Workbench і Combo (Комбінований вид)

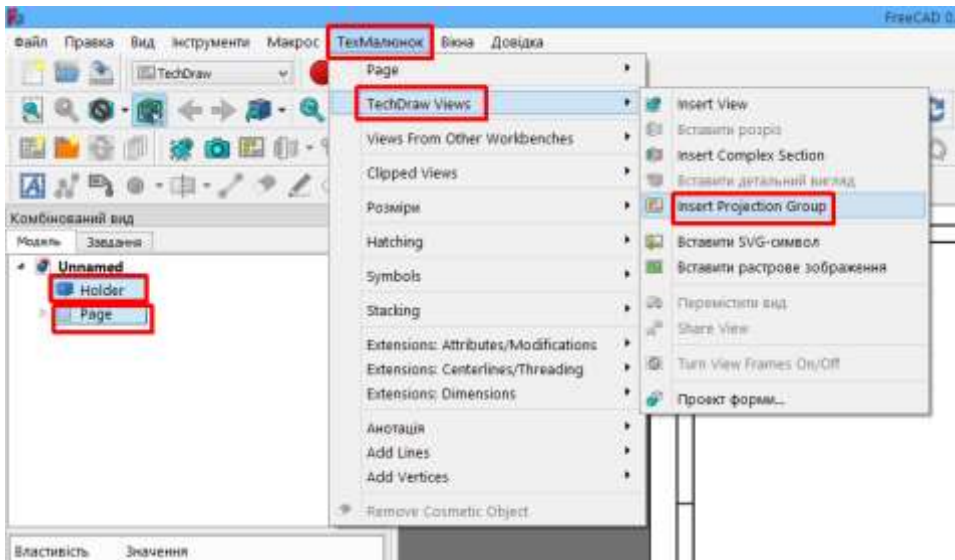


### Побудова кількох видів деталі

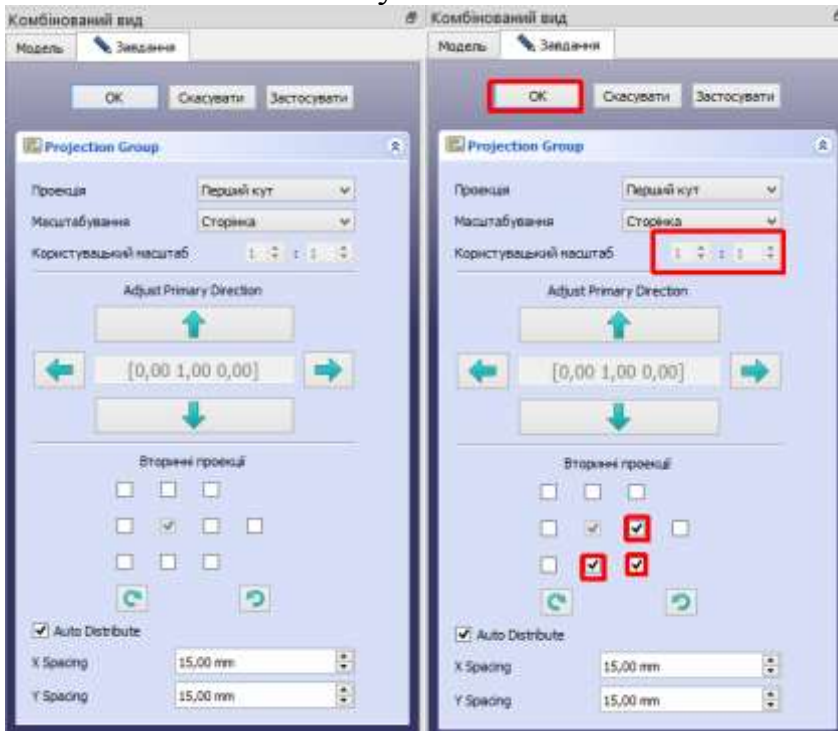
- 1) Клацніть на  **TechDraw PageTemplate**. З'явиться діалогове вікно вибору файлів. Виберіть файл шаблону. Ми будемо використовувати "**ANSIB.SVG**". З'явиться нова вкладка **Page**.



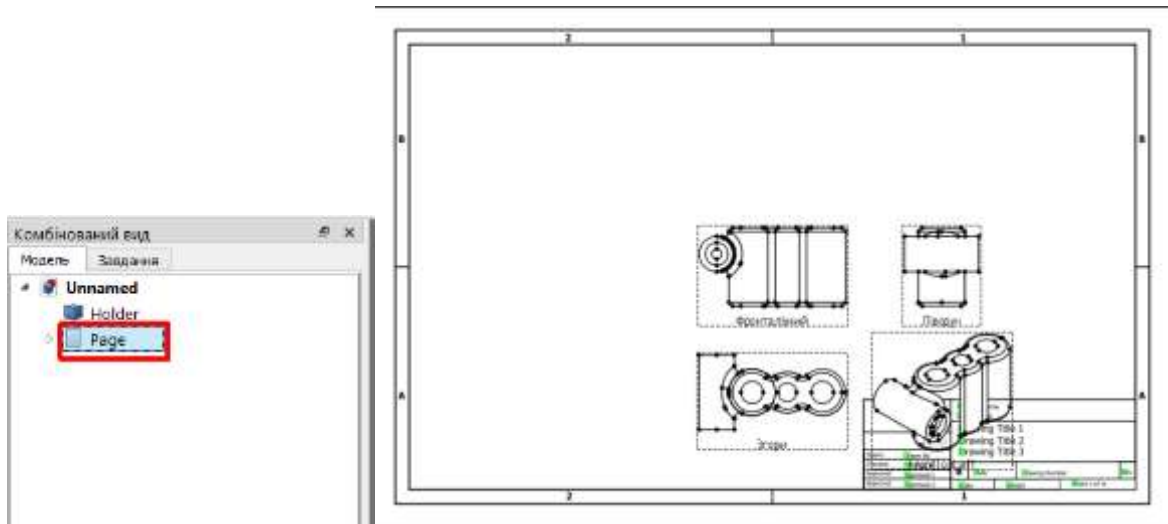
- 2) Виберіть «**Body**» і «**Page**» (якщо у вашому документі більше однієї сторінки, вам потрібно вказати **TechDraw**, яку з них використовувати).



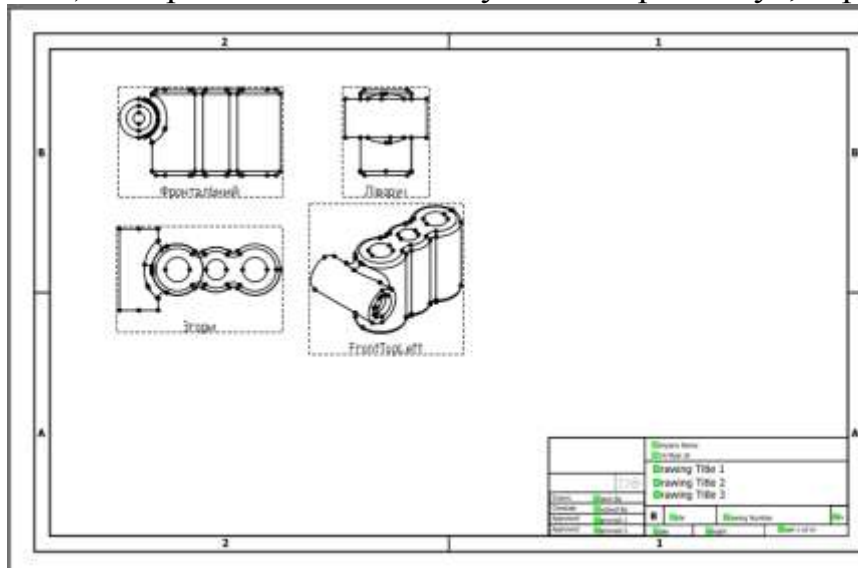
- 3) Відкриється вікно на панелі **Combo** (Комбінований вид) для вибору видів деталі, в якому поставте галочки на вказаних видах і натисніть **OK**. Тут також можна змінити масштаб за потреби.



- 4) На панелі **Combo** (Комбінований вид) натисніть на **Page**. У вікні **Drawing** з'являться такі види креслення.



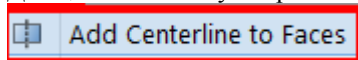
5) Перетягніть вид **Front** у лівий верхній кут, отримаєте.

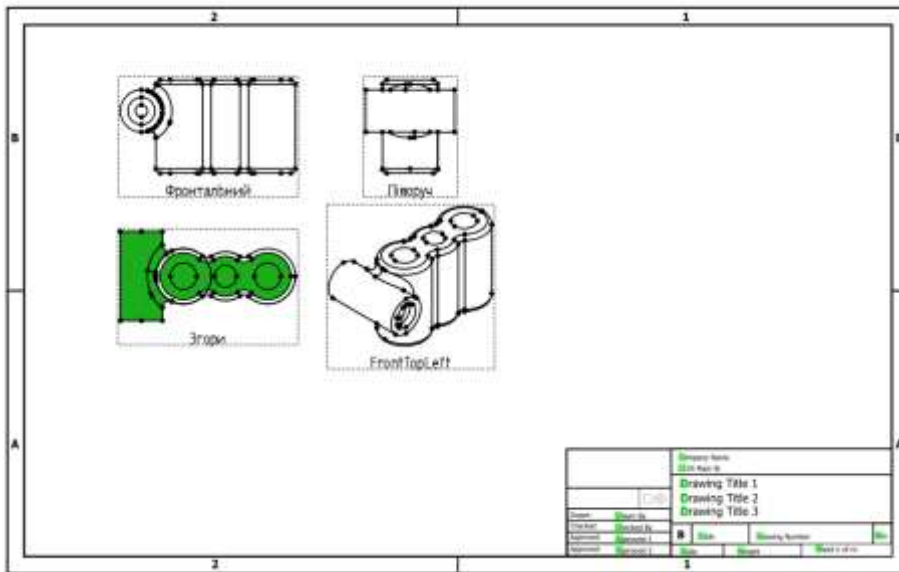


6) Далі на кресленні потрібно нанести осьові лінії з використанням таких інструментів

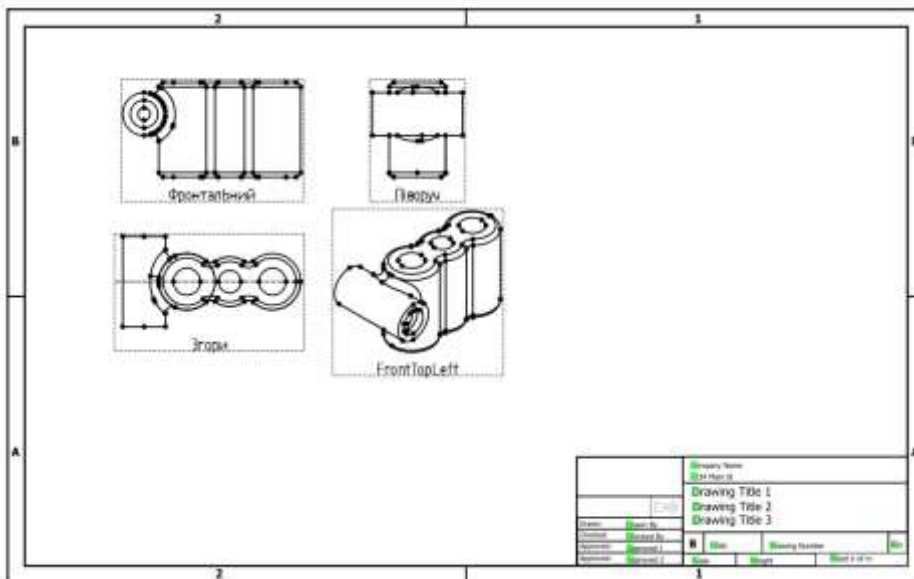


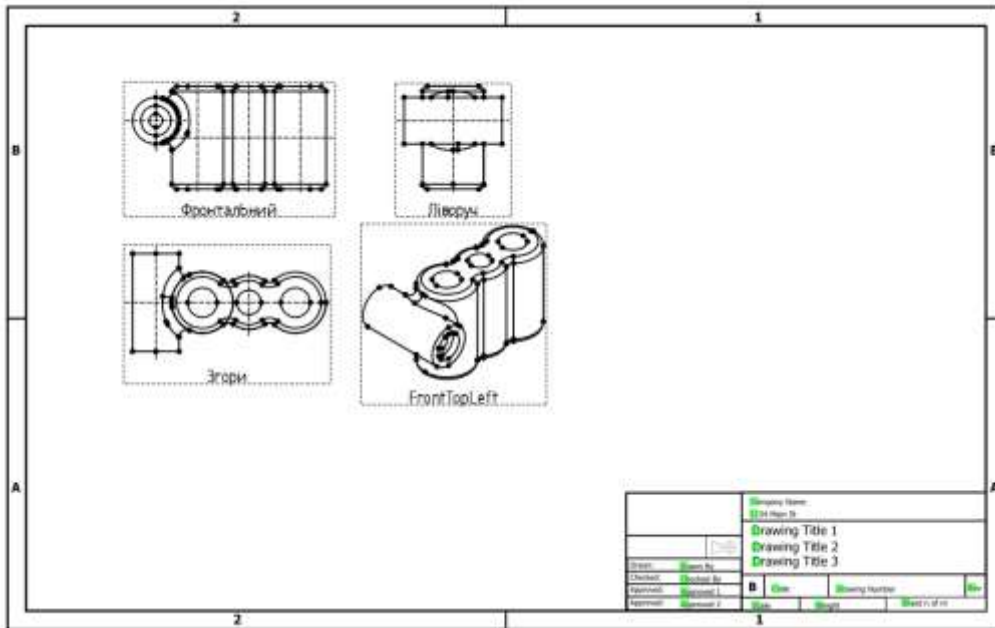
Для цього спочатку потрібно виділити грані, а потім натиснути на





Результат

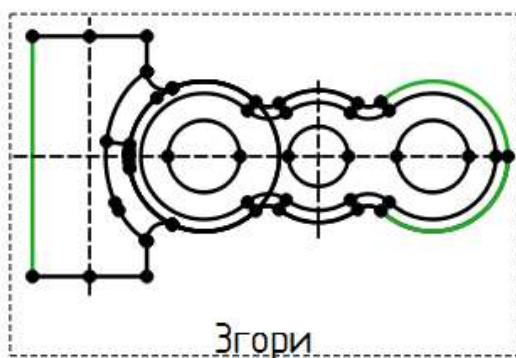
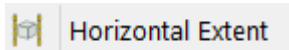




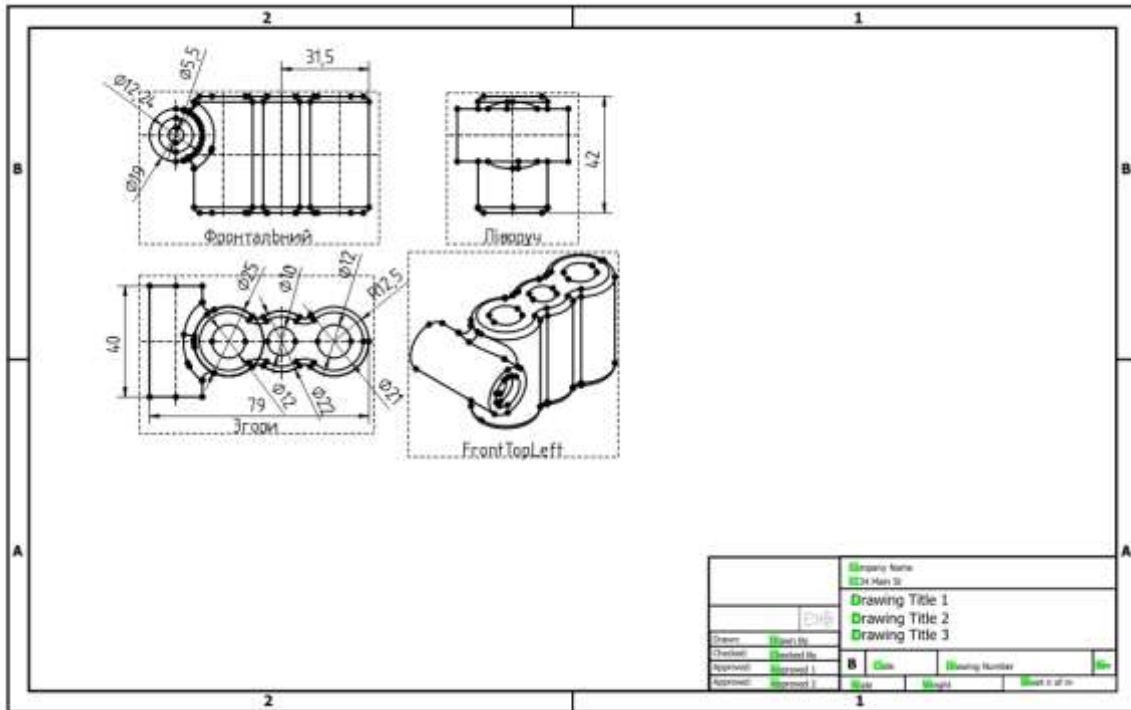
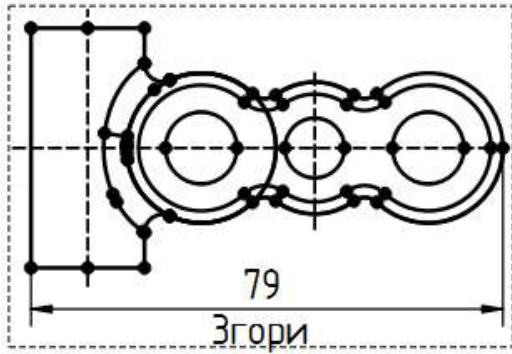
7) Далі на кресленні потрібно нанести розміри з використанням таких інструментів





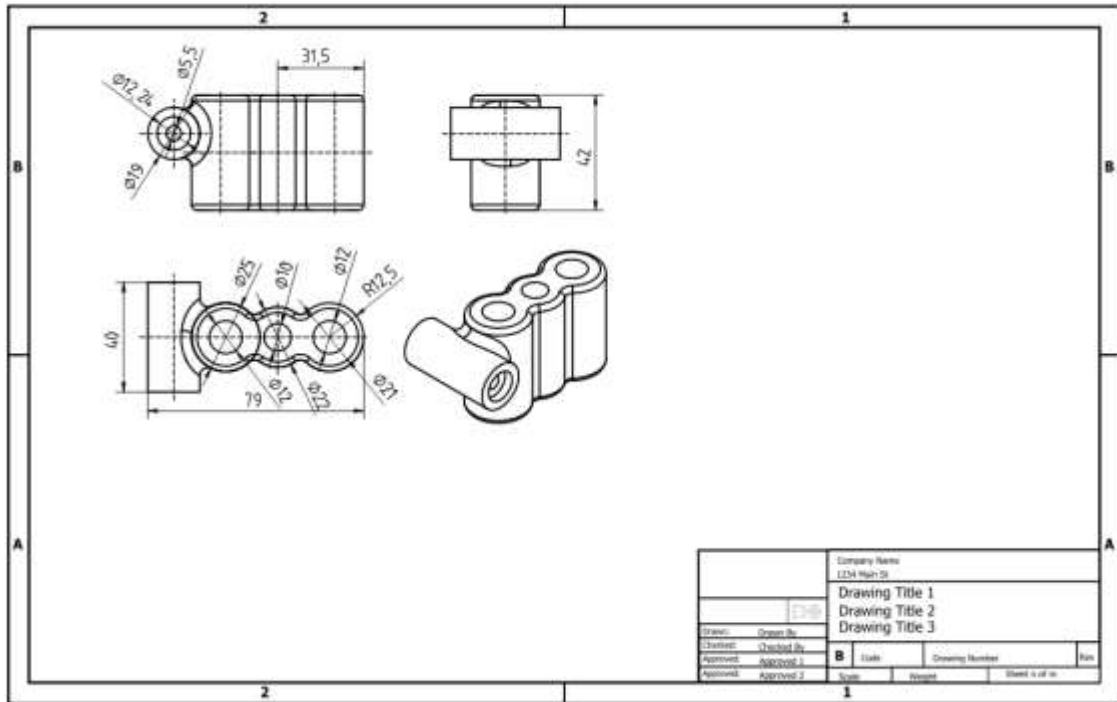
Для цього спочатку потрібно виділити грані, або точки, а потім натиснути на



Результат



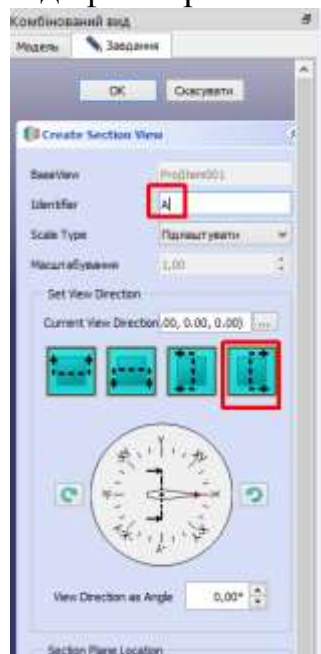
Перш ніж залишити цю сторінку, давайте подивимось, як вона виглядатиме, коли ми її надрукуємо. Клацніть на  [TechDraw ToggleFrame](#). Вершини та рамки перегляду зникнуть. Ви можете повернути їх, знову натиснувши на .



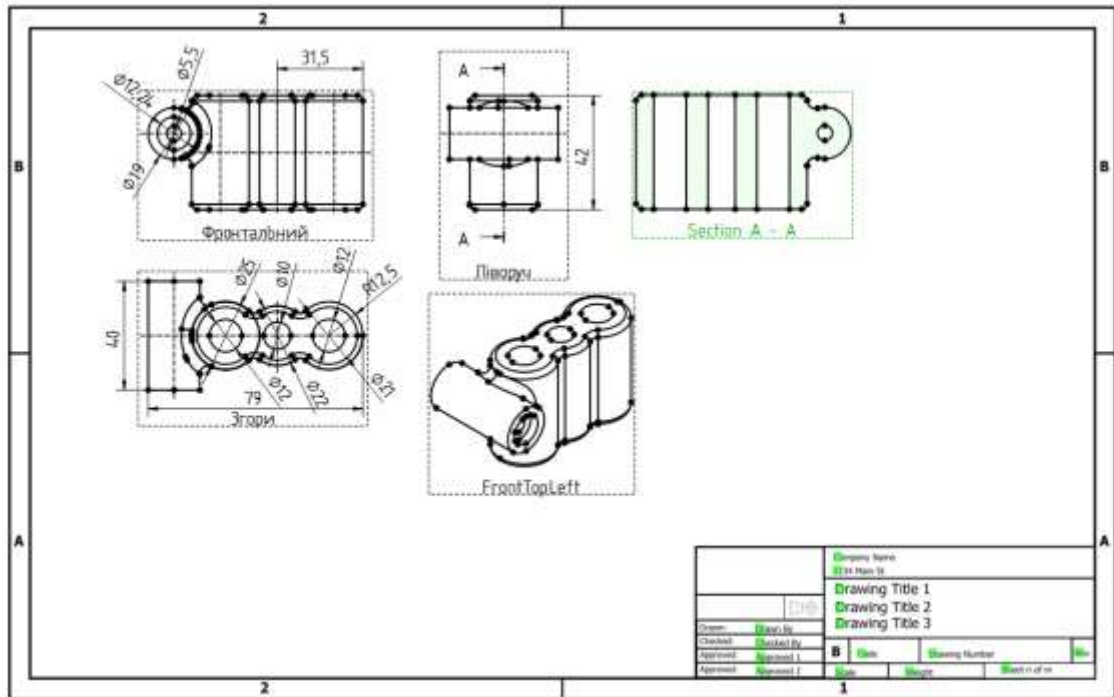
8) Розріз



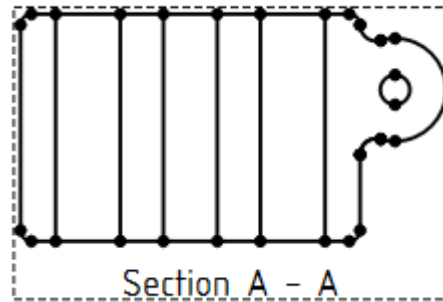
Потрібно виділити вид, натиснути на індифікатор А і вибрати тип розрізу у вікні Січення, вказати



отримуємо

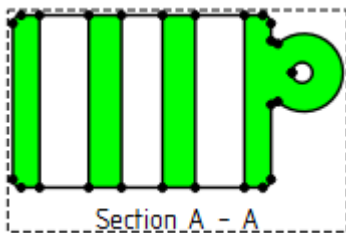


На панелі Комбінований вид вибрати **Section A - A** і в **Cut Surfac...**, обрати



отримаємо

вибрати через **Ctrl** частини січення, що підлягають штрихуванню

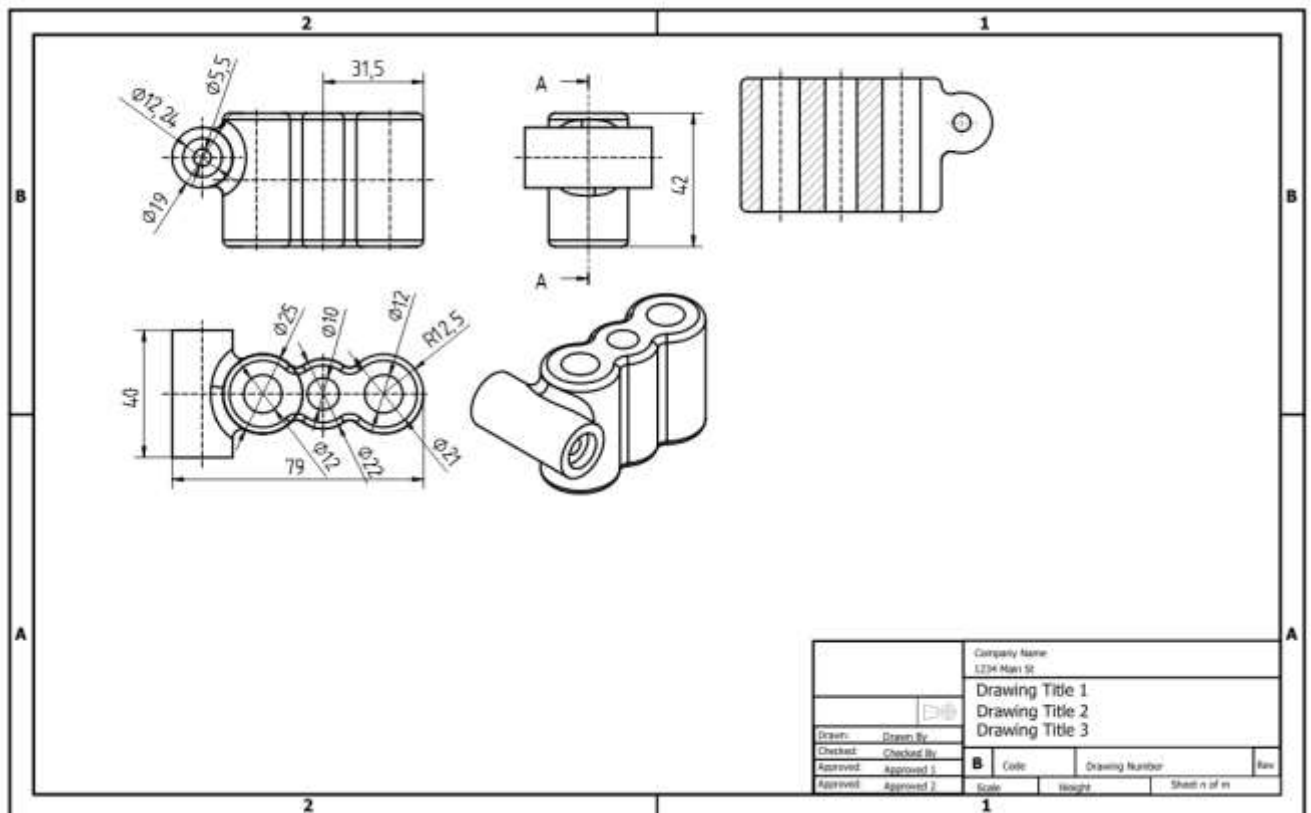
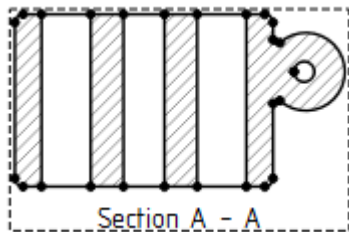


натиснути на кнопку 

На панелі **Комбінований вид** змінити масштаб штрихування на **2** і колір ліній на **чорний** натиснути **ОК**.



У результаті отримуємо





Електронне мережне навчальне видання

**Карвацький** Антон Янович, **Чемерис** Андрій Олегович

## **ПРОЄКТУВАННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙ**

### **Конспект лекцій**

*для здобувачів ступеня магістра  
за освітньою програмою «Інжиніринг паковань та пакувального обладнання»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»*

Комп'ютерна правка та верстка – *авторська*

Реєстр. № НП 23/24-478. Обсяг 6,3 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056

<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.