

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

САПР ТП: КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в
приладобудуванні»
спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,
174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Укладачі: К. С. Барандич, С. П. Вислоух, М. В. Філіппова

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензенти

Лакоза С. Л., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Гладський М.М., к.т.н., доц.
ТОВ «Прогрестех-Україна»

Відповідальний
редактор

Антонюк В. С., д.т.н., професор, академік Академії
інженерних наук України, лауреат Державної премії
України в галузі науки і техніки, лауреат Премії
Кабінету Міністрів за розроблення і впровадження
інноваційних технологій.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 8 від 02.06.2023 р.)
за поданням Вченої ради Приладобудівного факультету
(протокол № 5/23 від 29.05.2023 р.)*

Навчальний посібник призначено для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» приладобудівного факультету, які навчаються за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». В навчальному посібнику розглядаються основні терміни та визначення в області САПР ТП, методологічні та технологічні основи побудови САПР ТП, описано склад, структуру та компоненти автоматизованих систем проєктування, а також основні підходи автоматизації вирішення задач технологічного підготування виробництва. Серед них: автоматизація проєктування маршрутних технологічних процесів, технологічних операцій та переходів.

Реєстр. № НП 22/23-773. Обсяг 6,9 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 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.

© К.С. Барандич, С. П. Вислоух, М.В. Філіппова
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ САПР ТП.....	10
1.1. Основні поняття та визначення	10
1.2. Задачі автоматизації технологічної підготовки виробництва.....	13
1.3. Історія створення та розвитку САПР ТП	16
1.4. Зв'язок САПР ТП з іншими системами автоматизованого проєктування	19
1.5. САПР ТП як складова частина системи інформаційної підтримки життєвого циклу виробів	22
РОЗДІЛ 2. СКЛАД, СТРУКТУРА І КОМПОНЕНТИ САПР	31
2.1. Колектив або персонал АС	31
2.2. Комплекс засобів автоматизації АС	35
2.3. Програмні комплекси та підсистеми	40
2.4. Системні принципи та властивості САПР	42
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ САПР ТП	45
3.1. Технологічний процес як об'єкт проєктування.....	45
3.2. Різновиди технологічного проєктування.....	46
3.3. Технологічна уніфікація	52
3.4. Варіанти оброблення інформації в САПР ТП.....	54
3.5. Вхідна (початкова) інформація про деталь	56
3.6. Формалізація технологічного проєктування	62
3.7. Прийняття рішень при технологічному проєктуванні	63
3.8. Методи автоматизованого проєктування технологічних процесів	69
РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАВДАНЬ	75
4.1. Автоматизація визначення технологічності виробів	75
4.2. Формалізація і автоматизація завдань забезпечення технологічності конструкцій виробів.....	83
РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ МАРШРУТНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	85
5.1. Проєктування маршрутного технологічного процесу на основі методу адресації	86
5.2. Автоматизація проєктування маршрутного технологічного процесу на основі використання типових рішень	93
5.3. Синтез одиничних маршрутних технологічних процесів.....	110
5.4. Автоматизація формування маршруту оброблення деталі на основі аналізу її геометричної моделі	120

РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ	133
6.1. Загальна схема проєктування технологічних операцій.....	133
6.2. Алгоритм розрахунку припусків і міжопераційних розмірів	134
6.3. Вибір обладнання.....	145
6.4. Алгоритм вибору схеми установки деталі.....	150
6.5. Алгоритм вибору установчо-затискного пристосування	152
6.6. Алгоритм вибору числа і послідовності переходів в операції	152
РОЗДІЛ 7. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРЕХОДІВ	157
7.1. Алгоритм проєктування переходів	157
7.2. Визначення структури переходу.....	160
7.3. Призначення різального інструменту	160
7.4. Формування змісту переходу.....	165
7.5. Розрахунок оптимальних режимів різання	170
РОЗДІЛ 8. САПР ТП СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ	191
8.1. Поняття про процес складання виробу.....	191
8.2. Формалізація завдань проєктування ТП складання.....	194
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	198

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АПС – автостоматизована інформаційно-пошукова система

АРМ – автоматизоване робоче місце

АС – автоматизована система

АСП – автоматизована система проектування

АС ТГВ –автоматизована система технологічного готування виробництва

БД – база даних

ЄСКД – єдина система конструкторської документації

ІЗ – інформаційне забезпечення

КЗА АС – комплекс засобів автоматизації автоматизованої системи

КПЗ – комплекс параметрів застосовності

КТ – комплексна таблиця

КУЗ – комплекс умов застосовності

КТК – конструкторсько-технологічний код

ЛЗ – лінгвістичне забезпечення

МеЗ – методичне забезпечення

МЗ – математичне забезпечення

МУЗ – множина умов застосовності

МОП – маршрут оброблення поверхні

ОЗ – організаційне забезпечення

ПЗ – програмне забезпечення

ПТК – програмно-технічний комплекс

ПМК – програмно-методичний комплекс

ПМКД – параметрична модель комплексної деталі

САПР – системи автоматизованого проектування

САПР ТП – система автоматизованого проектування технологічних процесів

СКБД – система керування базами даних

ТЗ – технічне забезпечення

ТКВ – технологічність конструкції виробу

ТКД – технологічний класифікатор деталей
ТПВ – технологічне підготування виробництва
ТР – таблиця рішень
ТРО – таблиця рішень з обмеженими входами
УТП – уніфікований технологічний процес
ЧПК – числове програмне керування
ISO – International Standard Organization
ICC – International CALS-congress
EIA – Electronics Industry Association
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
NIIP – National Industrial Information Infrastructure Protocols
CORBA – Common Object Request Broker Architecture
STEP – STandard for the Exchange of the Product model data
PLIB – Parts library
GPME – General Production Model Environment
CALS – Continuous Acquisition and Life cycle Support
CAE – Computer Aided Engineering
CAD – Computer Aided Design
CAM – Computer Aided Manufacturing
CAPP – Computer Aided Process Planing
CAAP – Computer Aided Assembly Planing
PDM – Product Data Management
ERP – Enterprise Resource Planning
MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning
MES – Manufacturing Execution System
SCM – Supply Chain Management
CRM – Customer Relationship Management
SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition
CNC – Computer Numerical Control
SFA – Sales Force Automation

IETM – Interactive Electronic Technical Manuals

PLM – Product Lifecycle Management

ВСТУП

Науково-технічний прогрес і пов'язані з ним збільшення кількості та складності створюваних виробів, скорочення термінів їх морального старіння приводять до різкого зростання трудомісткості та складності конструкторських і технологічних робіт. Спостережувана впродовж останніх років тенденція до збільшення частки інженерної праці в спільній трудомісткості виробів поступово зростає. Одна з основних причин такого положення – невідповідність між рівнем і темпами механізації і автоматизації фізичної праці та праці інженерно-технічних працівників.

Технологічна підготовка нових виробів характеризується великою трудомісткістю і тривалими термінами проведення проектних робіт. Витрати часу на проектування операційної технології на одну деталь залежно від її складності складають від 5-6 годин до декількох тижнів. Ще більше часу необхідно на розробку керуючих програм для верстатів з ЧПК. У зв'язку з цим загальний час на розробку операційної технології і підготовку керуючих програм значно перевищує час виготовлення деталі.

У цих умовах традиційні методи проектування не можуть забезпечити якісне виконання робіт з технологічного підготування виробництва нових виробів і приходять в суперечність з вимогами науково-технічного прогресу. В даний час загальмувати прогресуюче зростання чисельності інженерно-технічних працівників, скоротити терміни і вартість технологічного підготування виробництва можливо на основі розробки і впровадження систем автоматизованого проектування.

За останній час була створена і пройшла дослідно-промислову перевірку велика кількість САПР для вирішення різних технологічних завдань, успішно застосовується обчислювальна техніка для підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПК, проектування операційної технології на токарні автомати тощо. Розроблені методологічні основи проектування технологічних процесів, засновані на методах типізації і груповій технології, які цілком виправдали

себе при автоматизованому проектуванні технології виготовлення деталей, що мають типову конфігурацію.

Подальший розвиток робіт з автоматизованого проектування технологічних процесів складніших деталей вимагав розробки теорії проектування, яка є придатною для математичного моделювання і алгоритмізації процесів проектування з метою виявлення різних чинників, що впливають на точність, продуктивність і економічну ефективність оброблення виробів.

Створення теорії проектування передбачає перехід від традиційних завдань аналізу, синтезу та емпіричних класифікацій до проблематики завдань синтезу технологічних процесів. В цьому випадку проектування виступає як комплексна проблема, у якій в складному взаємозв'язку переплітаються завдання аналізу, моделювання, оцінки, оптимізації і відбору варіантів. Для вирішення таких завдань застосовується методологія системного підходу.

Розширення початкової бази за рахунок введення таких понять, як структура, функція, організація, зв'язок, відношення тощо, забезпечує певну перевагу системному підходу перед традиційними методами і дозволяє створювати адекватніші дієві моделі складних об'єктів, технологічних процесів і процесів проектування.

Розробка і впровадження автоматизованого проектування технологічних процесів на приладо- і машинобудівних підприємствах країни викликали необхідність підготовки фахівців з САПР ТП. Проте навчання студентів з питань проектування технологічних процесів в автоматизованому режимі багато в чому утруднене через відсутність відповідної навчально-методичної літератури. В даному навчальному посібнику зроблена спроба узагальнити досвід розробки і впровадження САПР ТП на підприємствах країни і отримані останнім часом наукові результати про методи і принципи автоматизованого проектування технологічних процесів.

РОЗДІЛ 1.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ САПР ТП

1.1. Основні поняття та визначення

Система автоматизованого проєктування технологічних процесів (САПР ТП) призначена для автоматизованого проєктування технологічних процесів. Розглянемо основні поняття, що входять в це визначення.

Передусім дамо визначення поняттю *«проєктування»*. У загальному випадку, під проєктуванням розуміється процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об'єкта, на основі первинного опису даного об'єкта і (або) алгоритму його функціонування. Проєктування є складним творчим процесом цілеспрямованої діяльності людини, яка базується на глибоких наукових знаннях, використанні практичного досвіду і навичок у певній сфері. Від якості та термінів виконання проєктування багато в чому залежить конкурентоспроможність продукції, що випускається. Цією обставиною пояснюється постійне збільшення використання систем автоматизованого проєктування (САПР).

Під *системою автоматизованого проєктування* розуміється автоматизована система (АС), яка призначена для автоматизації технологічного процесу проєктування виробу, кінцевим результатом якого є комплект проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проєктування [1].

Відповідно до ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення» [1] *система автоматизована технологічного готування виробництва (АС ТГВ)* – це АС, яка призначена для автоматизації проєктування технологічних процесів та готування виробництва.

САПР класифікуються за кількома ознаками, найбільш важливим з яких є тип об'єкту проєктування. Об'єктом проєктування в САПР ТП є технологічний процес.

Технологічний процес (ТП) – це частина виробничого процесу, що її складають дії, спрямовані на змінювання та/чи визначання стану предмета праці (ДСТУ 2391-2010 [2]). Технологічний процес може бути віднесений до виробу, його складової частини або до методів оброблення, формоутворення і складання.

Окремим випадком технологічного процесу є **ТП механічного оброблення**, під яким розуміють частину виробничого процесу, що включає послідовні дії з перетворення вихідної заготовки в готову деталь шляхом зміни форми, розмірів, стану поверхонь обробленням металообробними інструментами.

Мета проєктування ТП (мета розробки його опису) – отримання для інженерно-технічного персоналу і робітників виробничих підрозділів (цехів, дільниць тощо) досить докладний опис технологічних прийомів виготовлення виробу, із зазначенням порядку їх виконання і розрахунковими значеннями норм витрати матеріалів, часу, режимів оброблення.

Надамо пояснення наведеним формулюванням.

Враховуючи те, що ТП – це частина виробничого процесу, слід відзначити, що **виробничий процес** є сукупність дій людей і знарядь виробництва, необхідних для виготовлення виробу. У виробничий процес входять не тільки процеси, які безпосередньо пов'язані зі зміною форми і властивостей оброблюваних деталей, складання складаних одиниць і виробів, але і всі необхідні допоміжні процеси: складування, пакування, відвантаження виробів; ремонт і модернізація обладнання; виготовлення інструменту і засобів механізації; контроль на всіх етапах тощо.

При виконанні ТП відбувається зміна стану предмета праці, що приводить до отримання виробу. При цьому до **«предметів праці»** у рівній

мірі відносяться заготовки, деталі та вироби. Отже, для уточнення цього поняття необхідно розглянути наступні поняття.

Матеріал – первинний предмет праці, який використовують для виготовлення виробу [2]. Матеріал може бути основним і допоміжним.

Основний матеріал – матеріал первинної заготовки. Основним матеріалом є матеріал, масу якого додають до маси виробу під час виконання ТП.

Допоміжний матеріал – це матеріал, який витрачають додатково до основного матеріалу при виконанні ТП [2]. Допоміжними можуть бути матеріали, які витрачають в процесі покривання, просочування, зварювання (наприклад, аргон), паяння (наприклад, каніфоль) тощо.

Напівфабрикат – це предмет праці, який підлягає подальшому оброблянню на підприємстві-споживачі [2].

Заготовка – це предмет праці, з якого виготовляють деталь, змінюючи форму, розміри, властивості поверхні та/чи матеріалу [2]. При цьому під первинною заготовкою розуміється заготовка перед першою технологічною операцією. Залежно від методу отримання заготовки можуть бути різних видів (виливки, поковки тощо).

Деталь – це виріб, який виготовляють із матеріалу однієї марки, не виконуючи складальні операції [3].

Виріб – одиниця промислової продукції, кількість якої обчислюють у штуках (екземплярах) [2]. До виробів відносяться завершені та незавершені предмети виробництва, зокрема заготовки. Інше джерело [3] дає наступне визначення. **Виріб** – це будь-який предмет або набір предметів, що їх виробляють на підприємстві.

Комплектувальний виріб – це виріб підприємства-постачальника, застосовуваний як складова частина виробу, що його випускає підприємство-виробник [2]. Складовими частинами виробу можуть бути деталі та складанні одиниці.

Складання одиниця – це виріб складові частини якого з'єднуються між собою на підприємстві-виробнику [3].

Складальний комплект – це група складових частин виробу, які подаються на робоче місце для складання виробу чи його складової частини [2].

1.2. Задачі автоматизації технологічної підготовки виробництва

Однією з особливостей сучасного розвитку виробництва є постійне зростання обсягів і складності проектних робіт в сфері технологічного підготовки виробництва (ТПВ). Це пов'язано з наступними причинами:

- збільшується номенклатура та складність машин і приладів, які характеризуються більш високими вимогами до їх якості, оснащеності електронікою, використанням нових конструкційних матеріалів;
- підвищуються вимоги до якості технологічних рішень, що забезпечують конкурентоспроможність виробів шляхом зниження собівартості і підвищення їх якості;
- розширюється номенклатура обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), що вимагає додаткового розроблення керуючих програм і детального проектування операційної технології;
- додаткові вимоги до скорочення термінів підготовки виробництва з випуску нових виробів внаслідок морального старіння приладів.

У цих умовах одним з головних напрямків вдосконалення ТПВ є її автоматизація, яка заснована на використанні автоматизованих систем проектування (АСП), АС ТГВ, банків даних в автоматизованих інформаційно-пошукових системах (АПС) для вирішення комплексу технологічних задач.

При проєктуванні технологічних процесів у технолога є такі сфери діяльності:

- оформлення технологічних документів (маршрутні, операційні карти, карти технологічного процесу тощо). Ця робота може бути повністю автоматизована.
- пошук інформації про інструменти, пристосування, обладнання, заготованки, припуски, нормативи режимів різання і норм часу тощо. Дана процедура автоматизується на основі використання АПС. При використанні АПС умову пошуку технолог вказує в режимі діалогу. Умови пошуку, які є стабільними (наприклад, для даного виробництва), можна зберігати в базі знань.
- стандартні розрахунки (розрахунок припусків, операційних заготованок, режимів різання тощо). Виконання таких розрахунків можна повністю автоматизувати.
- прийняття складних логічних рішень, а саме вибір методів виконання технологічних процесів і операцій, структури технологічного процесу і операцій, вибір баз тощо. Процес прийняття таких рішень повністю автоматизувати поки що не вдається.

Сучасна концепція застосування інформаційних технологій при проєктуванні технологічних процесів оброблення деталей і складання виробів ґрунтується на створенні людино-машинних систем, в яких спілкування технолога з комп'ютером відбувається в режимі діалогу [4].

Такі системи отримали назву «Системи автоматизованого проєктування технологічних процесів» або скорочено САПР ТП, які вимагають підвищення кваліфікації технолога за декількома напрямками.

По-перше, користувач САПР ТП має бути технологом високої кваліфікації, оскільки система сама виконує рутинні роботи з пошуку потрібної інформації, стандартних розрахунків і оформлення технологічної

документації. Технолог повинен вирішувати творчі завдання, які пов'язані з прийняттям складних логічних рішень, які не може виконати система.

По-друге, технолог повинен вміти експлуатувати САПР ТП.

По-третє, у технолога з'являється нова функція супроводу САПР ТП. Ця функція полягає у:

- коригуванні баз даних (знань) та в поповненні їх новою актуальною інформацією;
- знаходженні і усуненні алгоритмічних помилок;
- розробці алгоритмів для подальшого вдосконалення САПР ТП [4].

Основною метою створення САПР є підвищення ефективності праці інженерів [5], а саме:

- скорочення трудомісткості проєктування і планування;
- скорочення термінів проєктування;
- скорочення собівартості проєктування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості та техніко-економічного рівня результатів проєктування;
- скорочення витрат на натурне моделювання та випробування.

Досягнення мети створення САПР забезпечується шляхом [5]:

- автоматизації оформлення документації;
- інформаційної підтримки та автоматизації прийняття рішень;
- використання технологій паралельного проєктування;
- уніфікації проєктних рішень і процесів проєктування;
- повторного використання проєктних рішень, даних і напрацювань;
- заміни натурних випробувань і макетування математичним моделюванням на ЕОМ;

- підвищення якості управління проєктуванням;
- застосування методів варіантного проєктування та оптимізації;
- зменшення обсягу випробувань і доведення дослідних зразків в результаті підвищення рівня достовірності проєктних рішень і, отже, зниження тимчасових витрат.

Таким чином, основною функцією САПР є забезпечення автоматизованого проєктування об'єктів або процесів та їхніх складових частин на всіх або окремих стадіях проєктування.

1.3. Історія створення та розвитку САПР ТП

Розвиток комп'ютерної підготовки виробництва розпочався в 1960-х рр., коли вперше було впроваджено методологію групової технології [6]. У 70-80 рр. 20 ст. проводилися дослідження, розробки та впроваджувались автоматизовані системи для вирішення локальних завдань ТПВ.

У 1986 р. виникло поняття CAPP (Computer Aided Process Planning), яке фактично відповідає вітчизняному терміну АСТПВ як автоматизоване проєктування технологій оброблення (без технології з використанням верстатів з ЧПК), планування та управління ТПВ. З 1987 р. починають створювати інтелектуалізовані технології ТПВ з використанням експертних систем, а в 1992 р. виникає поняття життєвого циклу виробу та комплексної автоматизації всіх його етапів.

З цього часу починається розгляд процесів проєктування, планування та управління ТПВ у поєднанні з іншими етапами життєвого циклу виробу. Сформувалося поняття спеціалізованих та інтегрованих автоматизованих систем виробничого призначення, таких як CAM, CAD, CAE, PDM тощо, поняття CALS-технологій, розширених підприємств тощо. Науковими центрами промислово розвинутих країн за цей час розроблено, апробовано та

впроваджено у виробництво технології, які забезпечили створення комп'ютерних систем комплексної автоматизації всіх етапів життєвого циклу виробу. Розробленню теоретичних та методологічних основ комплексної автоматизації технологічної підготовки промислового виробництва і нині приділяють значну увагу вчені США, Німеччини, Японії та інших країн.

У зв'язку з виниклими практичними потребами комітетами й комісіями в межах міжнародних організацій розпочато створення інформаційних технологій зі взаємодії підприємств і міжнародних стандартів, що їх визначають [6]. Наприклад, у Міжнародній організації стандартизації (International Standard Organization – ISO) цими питаннями займається підкомітет SC4 комітету TC184. В SC4 є кілька робочих груп, які займаються конкретними серіями стандартів. Саме цей комітет координує стандарти з управління виробничими процесами та методологію побудови CAPP-систем. На сьогоднішній день у передових індустріальних країнах світу створено національні органи, які координують роботу в області CALS-технологій. На міжнародному рівні розвитком CALS крім ISO займаються й такі організації, як ICC (International CALS-congress), EIA (Electronics Industry Association), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) тощо.

Наприклад, американським консорціумом NIIP (National Industrial Information Infrastructure Protocols) виконуються дослідні та проєктні роботи з розвитку методології створення розширених підприємств з метою об'єднання зусиль і можливостей промислових підприємств [6]. За основу побудови інформаційної інфраструктури взято стандарт CORBA (Common Object Request Broker Architecture) та стандарти ISO 10303 (STEP), ISO 13584 (PLIB), які дають змогу створювати відкриті системи, працювати в інтегрованому інформаційному середовищі незалежно від автоматизованих систем, що використовуються, а також мати доступ до виробничих і проєктних процесів окремих учасників проєкту. Проблемами створення глобального інформаційного середовища проєктних галузевих та міжгалузевих рішень, уніфікацією цих рішень, багатогалузевим їх використанням та зближенням

національних стандартів займаються в межах Європейської асоціації STEP, організації EC/CALS (Японія), організації KSSTEP (Корея) тощо.

Європейський Союз фінансує та координує кілька програм у цьому напрямі за галузевим принципом [6]. На базі стандарту STEP розроблено методологію обміну проєктною, виробничою та іншою інформацією через Інтернет та інші комунікаційні засоби, що дає можливість реально об'єднувати різні організації в єдине розширене підприємство. В Японії розроблено методологію глобального середовища моделі виробу GPME (General Production Model Environment), яка ефективно об'єднує проєктні галузеві та інші рішення в інтегроване інформаційне середовище. Для оптимізації процесів ТПВ використовують технології інжинірингу бізнес-процесів та управління потоками робіт. Слід відзначити, що роботи з оптимального управління процесами ТПВ промислових підприємств дискретного типу в інформаційному середовищі розподілених виробничих систем як у США, Німеччині, Японії, так і в інших промислово розвинутих країнах до цього часу перебувають на стадії розроблення та наукових досліджень.

У розробці теоретичних і методологічних основ побудови АСТПВ та методів управління ТПВ, великий внесок зробили вчені країн СНГ: Р. А. Аллик, А. П. Гавриш, Г. К. Горанський, К. Д. Жук, С. П. Митрофанов, І. П. Норенков, В. В. Павлов, А. І. Петренко, П. О. Руденко, В. І. Скурихін, В. Д. Цветков, Б. Є. Челіщев тощо. Ними закладено основи методології комп'ютеризації технологічної підготовки виробництва, що розвинулися до сучасних інтегрованих систем. Обчислювальна база, на якій будувались АСТПВ до початку 1990-х рр., відрізнялася вкрай малою за сьогоденніми мірками швидкістю та невеликими обсягами оперативної та зовнішньої пам'яті, та не мала можливостей роботи в інтерактивному графічному режимі, не давала можливостей здійснити ефективну організацію обчислювальних мереж тощо. У цих умовах було розроблено ряд принципів, на основі яких будувались АСТПВ, які були орієнтовані на побудову складних програмних систем з урахуванням інструментальних засобів.

Наукові праці українських вчених у галузі побудови АСТПВ [6], таких як Л. С. Глоба, В. Ф. Забашта, К. В. Кошкін, Г. О. Кривов, Л. С. Ямпольський, В. О. Остаф'єв, С. П. Вислоух тощо є значним внеском у розвиток сучасних інформаційних технологій, у машинобудівну, суднобудівну, авіакосмічну, приладобудівну та інші галузі промисловості України. Розроблені в процесі досліджень методики та програмні засоби представляють технології автоматизованої підтримки конструктивно-технологічних рішень із використанням об'єктно-орієнтованого підходу, баз даних і знань, методологію побудови віртуальних виробництв на основі моделювання процесів виробництва тощо.

При розв'язанні задач, які пов'язані з побудовою АСТПВ необхідна докладна формалізація предметної галузі для розроблення сучасних методів управління функціями ТПВ. В Україні процеси технологічної підготовки промислових виробництв дискретного типу (машинобудування, приладобудування, авіакосмічна галузь тощо) розроблялися згідно зі стандартами та методологією ЄСТПВ, які принципово відрізняються від методологій, за якими побудовані системи САРР та в цілому методології технологічної підготовки підприємств розвинутих країн.

Проте останні десятиліття Державним підприємством «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» прийнято ряд національних нормативних документів, які гармонізовані з міжнародними та європейськими нормативними документами в області інженерії систем та програмного забезпечення [7, 8].

1.4. Зв'язок САПР ТП з іншими системами автоматизованого проєктування

За видом діяльності відповідно до [1] виділяють наступні види АС:

- система керування автоматизована комплексна (КАСК);
- система керування автоматизована (АСК);
- система автоматизована інтегрована (ІАС);
- система наукових досліджень автоматизована (АСНД);
- система проєктування автоматизована (АСП);
- система керування технологічним процесом автоматизована (АСК ТП);
- система керування підприємством автоматизована (АСКП);
- система автоматизована технологічного готування виробництва (АС ТГВ);
- система автоматизована транспортно-складська (АСТС);
- система автоматизації адміністративної діяльності (АСАД);
- система ситуаційного керування автоматизована (АССК);
- система автоматизована контролю й випробувань (АСКВ);
- система інформаційно-пошукова автоматизована (АПС);
- система керування автоматизована службами життєзабезпечення підприємства (АСКСЖ);
- система автоматизована лексичного фонду
- система автоматизована інформаційно-термінологічного обслуговування (АСІТО);
- система оброблення інформації автоматизована.

В умовах реального виробництва всі види автоматизованих систем в тій чи іншій мірі взаємодіють між собою. Схему такої взаємодії для етапів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва представлено на рис. 1.

Взаємодія різних автоматизованих систем здійснюється шляхом обміну інформацією. Від АСКП всі системи отримують інформацію планового характеру, а також про фактичну наявність матеріальних і трудових ресурсів. Із АСНД, АСП, АС ТГВ, до складу якої входить САПР ТП, в АСКП надходить

інформація про виконання планових завдань, а також про потреби різних ресурсів (трудових, матеріальних, фінансових).

АСНД виконує роботи, які пов'язані з математичним моделюванням об'єкту, розрахунками окремих конструкцій і вузлів, на основі чого розробляються технічні завдання на проектування виробу. Результати роботи АСНД у вигляді окремих технічних рішень, що отримані в результаті дослідження об'єкту, передаються в АСП, де здійснюється розроблення конструкторської документації. Але при комплексному проектуванні зникають грані між чистими дослідженнями і проектуванням.

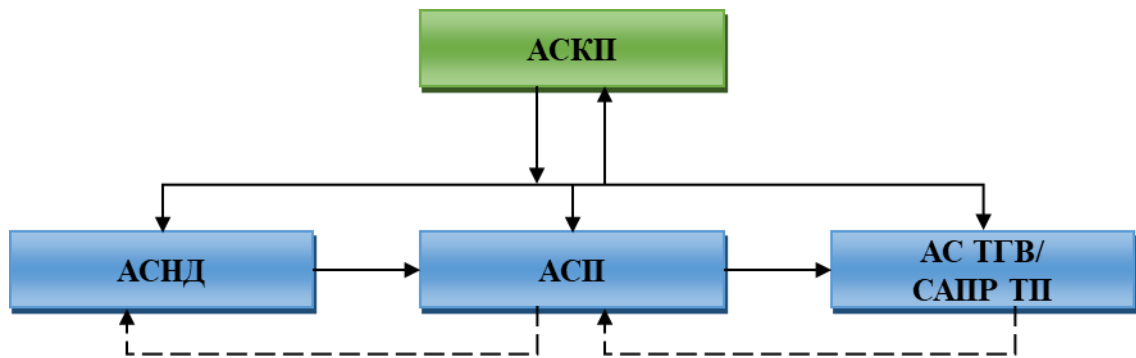


Рисунок 1 – Схема взаємодії автоматизованих систем

В процесі розроблення конструкторської документації можуть з'явитися рішення, що потребують додаткових розрахунків та перевірок на початковій моделі. В цьому випадку завдання на виконання цих робіт поступає із АСП до АСНД у вигляді зворотного зв'язку. Результати роботи АСП у вигляді конструкторської документації передається до АС ТГВ, де здійснюється проектування технологічних процесів, спеціальної технологічної оснастки, обладнання, інструменту тощо.

Але при розробленні технологічної документації може виникнути потреба в доопрацюванні або ж в зміні конструкції виробу, окремих вузлів, деталей, деталі або її конструктивних елементів через їх не технологічність. Завдання

на це доопрацювання передається із АС ТГВ до АСП у вигляді зворотного зв'язку.

АСП та АС ТГВ, як правило, є складовими частинами комплексної САПР виробів і технології. Це відображає об'єктивне поєднання проєктування і виробництва.

1.5. САПР ТП як складова частина системи інформаційної підтримки життєвого циклу виробів

У сучасних економічних умовах ключовим фактором успішного функціонування приладо-, машинобудівних підприємств є максимально можливе скорочення термінів проєктування та освоєння нової продукції [9]. Існує необхідність організації узгодженої роботи багатьох організацій, оскільки в процесі проєктування, виробництва та експлуатації виробу керування здійснюється зазвичай за допомогою АС, що вимагає інформаційної взаємодії таких систем [5].

Крім того з розвитком техніки та технологій відбувається постійне підвищення рівня складності виробів, що обумовлює збільшення об'єму даних про виріб. Це спричиняє збільшення кількості учасників проєкту, які задіяні на різних етапах життєвого циклу виробів (ЖЦВ), що може призводити до проблем при їх комунікації та обміні інформацією (наприклад, через не сумісність використовуваних комп'ютерних систем). Також слід враховувати, що метою виробництва є створення виробів необхідної якості, що є технологічними та зручними у використанні та обслуговуванні, тому необхідна інформаційна взаємодія між виробником і споживачем продукції.

Один зі шляхів вирішення такої задачі є використання інформаційних технологій підтримки ЖЦВ, що випускаються, які мають назву ***CALS-технології*** [5].

CALS це аббревіатура від англ. *Continuous Acquisition and Life cycle Support* – безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу виробів або інформаційна підтримка процесів життєвого циклу виробів (рис. 2).

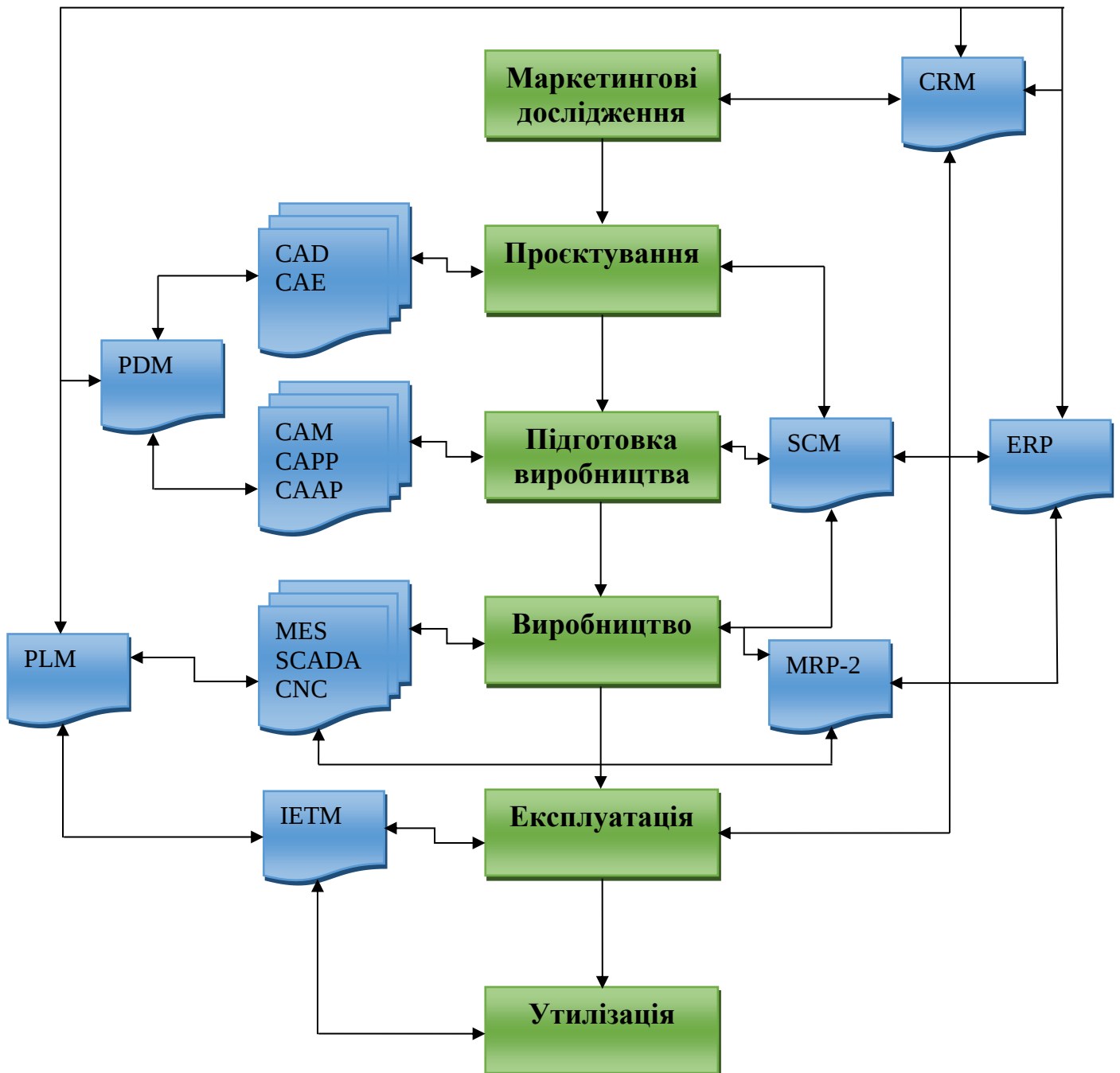


Рисунок 2 – Етапи життєвого циклу виробів та системи їх інформаційної підтримки

Відповідно до чинного ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення» [10] **життєвий цикл продукції (виробу)** – це сукупність взаємопов’язаних процесів зміни стану продукції від початку дослідження та обґрунтування розроблення до припинення експлуатації виробу, застосування (зберігання) матеріалу.

Умовно вважають, що на початкових стадіях життєвого циклу продукція існує як задум, вимоги технічного завдання, розроблена технічна документація, макети, експериментальні та дослідні зразки.

Також згідно з [10] у життєвому циклі поштучної продукції виділяють такі стадії:

- дослідження та обґрунтування розроблення;
- розроблення, виробництво;
- експлуатація та капітальний ремонт (для виробів, які підлягають капітальному ремонту).

Оскільки на сьогодні велика увага приділяється охороні довколишнього середовища, повторному використанню сировини, безвідходному виробництву тощо до заключної стадії (етапу) ЖЦВ відносять також утилізацію.

Відповідно до даних відкритих інформаційних джерел **CALS-технології** – це підхід до проєктування і виробництва високотехнологічної та наукомісткої продукції, що полягає у використанні комп’ютерної техніки та інформаційних технологій на всіх стадіях ЖЦВ. Тобто це методологія створення **єдиного інформаційного простору**, що забезпечує взаємодію всіх автоматизованих систем, які стосуються вирішення як інженерних задач, так і задач планування та керування виробництвом та ресурсами підприємства.

Формування CALS-технологій почалося в 80-х роках минулого століття в оборонному комплексі США в зв’язку з необхідністю підвищення ефективності управління та скорочення витрат на інформаційну взаємодію в

процесі замовлень, поставок і експлуатації засобів озброєння. За останні десятиліття термін CALS пройшов певну еволюцію, зокрема:

1985 р. – Computer Aided of Logistic Support – комп'ютерна підтримка логістичних систем;

1988 р. – Computer Aided Acquisition and Lifecycle – комп'ютерні поставки та підтримка ЖЦВ;

1993 р. – Computer Aided Acquisition and Lifecycle – підтримка безперервних поставок та ЖЦВ;

1995 р. – Commerce at Light Speed – бізнес в високому темпі;

1997 р. – Continuous Acquisition and Lifecycle Support – безперервна підтримка ЖЦВ.

На початкових етапах задачею було створення єдиного інформаційного простору, який міг забезпечити оперативних обмін даними між замовником, федеральними органами, виробництвом та споживачем продукції. Тобто з самого початку ця концепція базувалася на ідеології ЖЦВ та охоплювала етапи виробництва та експлуатації.

Застосування CALS виявилось настільки вдалим, що за короткий проміжок часу цей досвід швидко переймають представники промисловості, будівництва, транспорту тощо, а CALS-технології охоплюють всі етапи ЖЦВ.

Стратегією CALS є створення єдиного інформаційного простору для всіх учасників ЖЦВ. Створення єдиного інформаційного простору дозволяє подолати інформаційний хаос і комунікаційні бар'єри між учасниками ЖЦВ. Це призводить до підвищення ефективності процесів ЖЦВ та взаємодії між його учасниками. А саме, можна виділити такі переваги [5]:

- забезпечується цілісність даних;
- виконується мінімум перетворень інформації (наприклад, зміна форматів файлів) при переході від одного етапу ЖЦВ до іншого;
- зміни даних бачать всі і одразу;
- підвищення швидкості пошуку та доступу до даних;

- можливість організації географічно віддаленого доступу до даних.

На сьогодні CALS-технології є набором методів та засобів створення єдиного інформаційного простору, до них відносяться:

CAE – Computer Aided Engineering (автоматизировані розрахунки та аналіз);

CAD – Computer Aided Design (автоматизироване проєктування);

CAM – Computer Aided Manufacturing (автоматизирована технологічне підготовлення виробництва);

CAPP – Computer Aided Process Planing (автоматизоване проєктування технологічних процесів (ТП), яка дозволяє з різним ступенем автоматизації проєктувати одиничні, групові та типові технологічні процеси з багатьох напрямків: механооброблення, гальванізація, зварювання, термооброблення тощо.);

CAAP – Computer Aided Assembly Planing (автоматизоване проєктування процесів складання);

PDM – Product Data Management (управління проєктними даними);

ERP – Enterprise Resource Planning (планування та управління ресурсами підприємства);

MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планування виробництва);

MES – Manufacturing Execution System (виробнича виконавча система);

SCM – Supply Chain Management (управління ланцюгами поставок);

CRM – Customer Relationship Management (управління взаємовідносинами з замовниками);

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське управління виробничими процесами);

CNC – Computer Numerical Control (комп'ютерне числове управління);

SFA – Sales Force Automation (автоматизація діяльності з продажу);

IETM – Interactive Electronic Technical Manuals (інтерактивні електронні технічні керівництва);

PLM – Product Lifecycle Management (управління даними ЖЦВ).

Таким чином, відповідно до етапів ЖЦВ [5]:

- маркетингові дослідження виконуються за допомогою CRM-систем;
- проектування та аналіз виконується за допомогою CAD/CAE-систем;
- технологічне підготування виробництва виконується за допомогою CAM, CAPP та CAAP-систем;
- безпосередньо виробництво виконується засобами MES, SCADA, CNC та MRP-2;
- експлуатація виробу реалізується під керуванням CRM та IETM систем;
- управління утилізацією здійснюється системою IETM.

До САПР відносять зазвичай CAE/CAD/CAM- системи. Для забезпечення спільного функціонування компонентів САПР різного призначення, тобто координації роботи CAE/CAD/CAM- систем, управління проєктними даними і проєктуванням розробляються системи, що отримали назву PDM – Product Data Management (системи управління проєктними даними). Системи PDM або входять до складу модулів конкретною САПР, або є самостійними і можуть працювати спільно з різними САПР.

На більшості етапах ЖЦВ, розпочинаючи з визначення підприємств-постачальників матеріалів і компонентів та закінчуючи реалізацією продукції, необхідні системи управління ланцюжками постачань – SCM – Supply Chain Management. Управління ланцюгами поставок передбачає переміщення матеріального потоку з мінімальними витратами.

Координація роботи багатьох підприємств-партнерів покладається на системи управління даними в інтегрованому інформаційному просторі CPC – Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес).

Інформаційна підтримка етапу виробництва продукції здійснюється автоматизованими системами управління підприємством (АСУП) і автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУТП). До АСУП відносяться системи планування і управління підприємством ERP (Enterprise Resource Planning), планування виробництва і вимог до матеріалів MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning) і згадані вище системи SCM. Найбільш розвинені системи ERP виконують різні бізнес-функції, що пов'язані з плануванням виробництва, закупками, збутом продукції, аналізом перспектив маркетингу, управлінням фінансами, персоналом, складським господарством, обліком основних фондів тощо. Системи MRP-2 орієнтовані здебільшого на бізнес-функції, які безпосередньо пов'язані з виробництвом. В деяких випадках системи SCM і MRP-2 входять як підсистеми в ERP.

Між АСУП і АСУТП розташована виробнича виконавча система MES (Manufacturing Execution Systems), яка призначена для вирішення оперативних завдань управління проєктуванням, виробництвом і маркетингом.

До складу АСУТП входить система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), що виконує диспетчерські функції (збір і обробку даних про стан устаткування і технологічних процесів) і допомагає розробляти програмне забезпечення для вбудованого устаткування. Для безпосереднього програмного управління технологічним устаткуванням використовують системи CNC на базі контролерів (спеціалізованих комп'ютерів, що називаються промисловими), які вбудовані в технологічне устаткування з ЧПК.

На етапі реалізації продукції виконуються функції управління відносинами із замовниками і покупцями, проводиться аналіз ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на плановані вироби. Ці функції покладені на систему CRM. Функції навчання обслуговуючого персоналу покладені на інтерактивне електронне технічне керівництво IETM (Interactive Electronic Technical Manuals), з їх допомогою виконуються діагностичні

операції, пошук компонентів, що відмовили, замовлення додаткових запасних деталей і деякі інші операції на етапі експлуатації систем.

Управління даними в інформаційному просторі, єдиному для різних автоматизованих систем, покладається на систему управління життєвим циклом продукції, що реалізовує технології PLM (Product Lifecycle Management). Технології PLM об'єднують методики і засоби інформаційної підтримки виробів упродовж усіх етапів ЖЦВ. Характерна особливість PLM – забезпечення взаємодії як засобів автоматизації різних виробників, так і різних автоматизованих систем багатьох підприємств, тобто технології PLM (включаючи технології CPC) є основою, яка інтегрує інформаційний простір, в якому функціонують САПР, ERP, PDM, SCM, CRM і інші автоматизовані системи багатьох підприємств.

Єдиний інформаційний простір у відповідності зі стратегією CALS не лише забезпечує вирішення конструкторських та технологічних задач, організацію та керування бізнес-процесів, фінансування, постачання, безпосередньо виробництво тощо при наскрізному управлінні ЖЦВ виключно в електронному вигляді від ідеї створення виробу до його утилізації після корисного терміну експлуатації.

Згідно міжнародного стандарту ISO 9004-1-94 схему єдиного інформаційного простору можна представити як на рис. 3.

Стратегія CALS зі створення та ефективного використання єдиного інформаційного простору базується на дотриманні низки стандартів представлення інформації про вироби [11].



Рисунок 3 – Схема єдиного інформаційного простору

РОЗДІЛ 2.

СКЛАД, СТРУКТУРА І КОМПОНЕНТИ САПР

Аналіз наукових основ і напрямів розвитку стандартизації в області комп'ютерних технологій і систем показав тенденцію до виділення загальних (інваріантних) принципів, методів і підходів створення автоматизованих систем різного призначення [5]. Формалізація і абстрагування від специфіки предметної області характерно практично для всіх наук, особливо природничо-наукового напрямку. Це дозволяє посилити концентрацію і прогностичні можливості наукового знання.

Однак для практичної реалізації виявлених наукою принципів і закономірностей необхідний механізм конкретизації і розгортання абстрактних понять в сукупність предметно-орієнтованих рекомендацій та описів, які є достатніми для вирішення завдань виконавчого рівня.

Як при проектуванні виробів приладо- або машинобудування та технологічних процесів їх створення, так і при створенні нових інформаційних технологій і автоматизованих систем здійснюється багаторівневе ітераційне розширення і уточнення описів (проектів) від загальної концепції системи аж до робочого проекту, який представляється у вигляді комплексу технічної документації.

2.1. Колектив або персонал АС

Під системою автоматизованого проектування зазвичай розуміють програму для проектування приладо- та машинобудівних виробів та/або технологічних процесів їх створення та оформлення відповідної технічної документації. Однак таке визначення є неповним і, головне, виключає з системи людини, що виступає в якості основного елемента – суб'єкта процесу автоматизованого проектування.

У процесах технічного підготовки виробництва завжди мають місце завдання, вирішення яких можливе тільки на основі використання творчих здібностей людини, її досвіду та інтуїції. Тому при розробленні промислових АС велика увага приділяється проблемі поділу функцій і організації ефективної взаємодії між людиною і комп'ютером з урахуванням їх якостей та можливостей.

За своєю суттю САПР – це людино-машинна система, що ініціюється та керується користувачем [5]. А якщо більш точно, то цілим колективом користувачів, що становлять невід'ємну організаційну частину системи. Згідно з принципами системного підходу, пропонується розглядати САПР в процесі її функціонування в єдності і взаємному впливові всіх складових компонент системи. Можна дати таке визначення САПР:

САПР – це організаційно-технічна система, що входить в структуру проєктної організації і здійснює проєктування за допомогою комплексу засобів автоматизації проєктування. Або «система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій».

Тобто, **САПР** – це сукупність колективу проєктувальників (персоналу) і набору (комплексу) комп'ютерних засобів і технологій, які об'єднані в рамках єдиної організаційної структури для вирішення задач розроблення і супроводження виробів.

Дане визначення вказує на те, що АС слід розглядати, в першу чергу, з організаційної точки зору, враховуючи при цьому персонал, який приймає рішення і виконує керування за підтримки програмних, технічних та інших засобів (рис. 4). Поняття «персонал» відрізняється від простої сукупності людей або абстрактних користувачів АС тим, що це ретельно підібраний і підготовлений колектив фахівців, організаційно структурованих, які виконують узгоджену діяльність у відповідності зі своїми посадовими обов'язками.

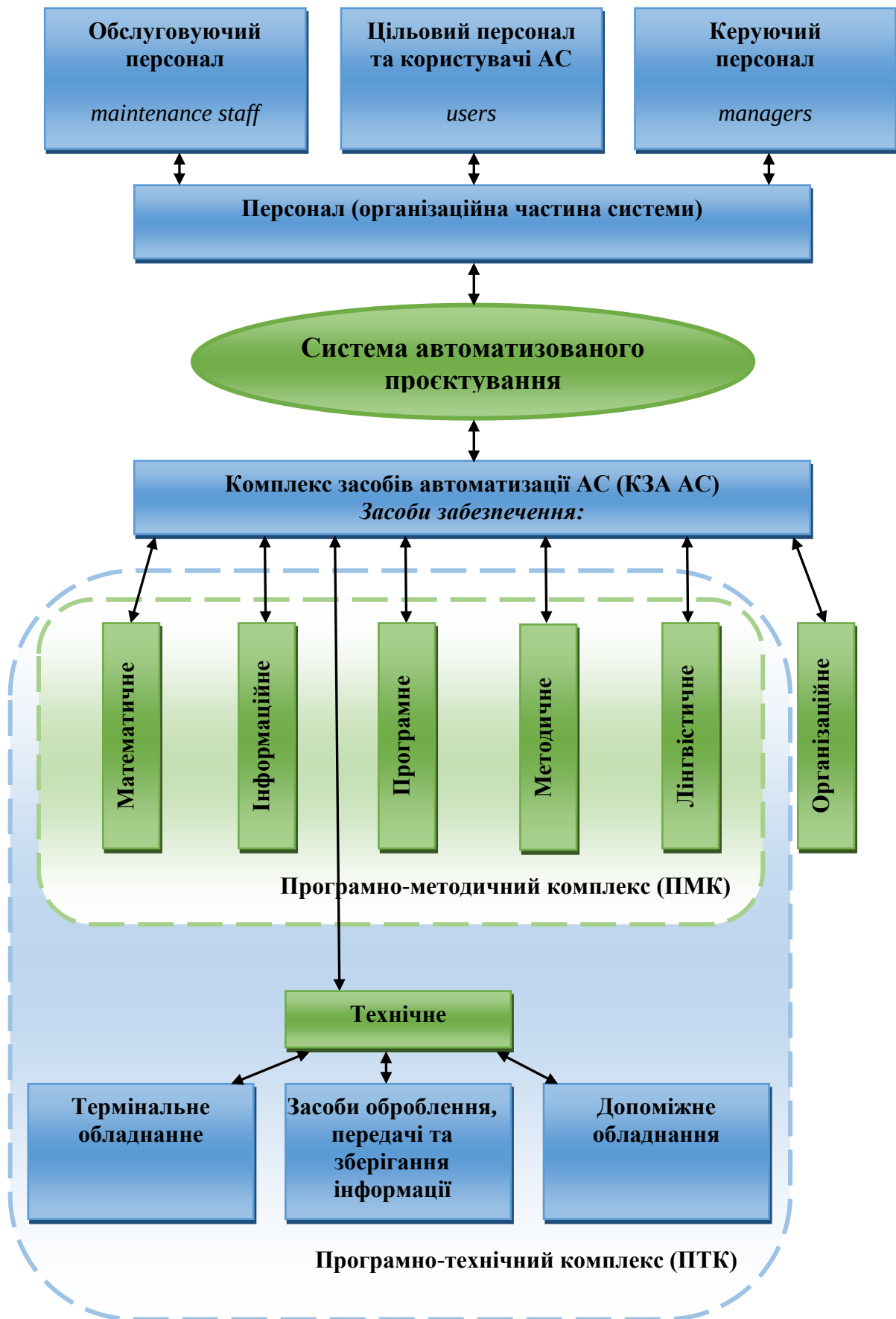


Рисунок 4 – Структура системи автоматизованого проєктування

Зі складу колективу АС можна виділити, перш за все, **цільовий (експлуатаційний) персонал**, до якого відносяться інженерно-технічні працівники, які виконують основні проєктні операції та процедури.

До **користувачів** автоматизованої системи (users) можна віднести не тільки фахівців, які безпосередньо беруть участь в проєктуванні та конструюванні виробів, розробці технічної документації і проєктуванні технологічних процесів, але й інших співробітників підприємства, що використовують електронні моделі і документи та беруть участь в операціях їх проходження і перетворення змістовної інформації. Наприклад, працівники відділу маркетингу беруть участь в розробленні та узгодженні технічного завдання на виріб, робітники цеху використовують документацію, моделі, програми для верстатів і формують відомості про результати проходження виробничих процесів, служба управління якістю, що аналізує дані про продукцію і формує результати контролю і вимірювань тощо.

Користувачами АС підприємства є і керівники всіх ланок, які отримують зведені звіти та аналітичну інформацію про процеси життєвого циклу виробів і надають на основі отриманих даних своєчасні оперативні дії на відповідні їх компетенції автоматизовані процеси.

До **керуючого персоналу** відносяться керівники (менеджери), які безпосередньо керують впровадженням, функціонуванням та розвитком АС. Такими фахівцями можуть бути ІТ-менеджери, керівники відділів автоматизації та інформаційних технологій, системні адміністратори і адміністратори баз даних, які регламентують роботу технічних і програмних засобів, адмініструють права користувачів і управляють електронним документообігом і трафіком комп'ютерних мереж.

Обслуговуючий персонал виконує інформаційне обслуговуванням АС і забезпечує безперебійне функціонування, ремонт, проведення планових і регламентних робіт всіх складових комплексу засобів забезпечення. До цієї важливої категорії персоналу, без повсякденної діяльності якого неможлива підтримка АС в робочому стані, відносяться інженери-електроніки, системні

програмісти, техніки, оператори, лаборанти та інші фахівці, які безпосередньо не пов'язані з проєктуванням.

2.2. Комплекс засобів автоматизації АС

Комплекс засобів автоматизації АС (КЗА АС) [1] або комплекс засобів забезпечення автоматизованої системи – це сукупність взаємоузгоджених компонентів і комплексів технічного, програмного, інформаційного та лінгвістичного забезпечень, що розробляються, виготовляються та постачаються як продукція виробничо-технічного призначення і використовуються під час створення й функціонування АС (рис. 4).

У загальному випадку комплекс засобів автоматизації будь-якої АС складається з програмно-технічних (ПТК), програмно-методичних (ПМК) комплексів і окремих компонентів таких основних забезпечень:

- математичного;
- програмного;
- інформаційного;
- методичного;
- лінгвістичного;
- організаційного;
- технічного.

Математичне забезпечення (МЗ) (mathematical support) АС включає в себе всю сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів оброблення інформації, які використовуються при функціонуванні системи.

Головна вимога до МЗ – це його повнота, достатня для забезпечення формалізації процесу всього проєктування в цілому, а також зручність для аналізу та оброблення людиною, оскільки його практичне використання реалізується в програмному забезпеченні. Для свідомої та успішної роботи

користувачів в складі САПР велике значення має можливість вивчення та розуміння МЗ.

Програмне забезпечення (ПЗ) (software) АС є сукупністю комп'ютерних програм, процедур, правил та документації, що стосується функціонування АС [1]. Згідно з вимогами, ПЗ повинно мати ієрархічну структуру та складатися із окремих модулів і підсистем. Програмний модуль повинен виконувати функціонально закінчене перетворення інформації, бути написаним на одній із стандартних мов програмування і задовольняти домовленостям про представлення даних у вигляді, що є прийнятим для даної САПР.

Виділяють загальне програмне забезпечення АС (або загальносистемне – *heave-duty software*) як частину програмного забезпечення, що є сукупністю програмних засобів, які розроблені поза зв'язком зі створенням даної АС. Загальносистемне ПЗ складають програми, призначені для організації обчислювального процесу, і програмні рішення завдань оброблення інформації, наприклад, операційні системи, системи управління базами даних, текстові і табличні редактори тощо.

Також виокремлюють спеціальне (або прикладне – *application software*) програмне забезпечення автоматизованої системи, що представляє собою сукупність програм, розроблених при створенні даної АС, і призначене для реалізації проєктних процедур, операцій та інформаційних технологій. Іноді вживають термін базове програмне забезпечення, щоб виділити найбільш важливу і часто вживану в інших програмних моделях і підсистемах частину ПЗ, наприклад, геометричне ядро або блок управління САПР.

Інформаційне забезпечення (ІЗ) (information support) АС становить сукупність різномірної інформації, яка використовується в процесах автоматизованого проєктування. ІЗ включає архів технічних документів, довідники, класифікатори, комплекс нормативної документації, набір вхідних і вихідних даних комп'ютерних програм тощо.

ІЗ переважно міститься в базах даних (БД). Сукупність БД САПР має забезпечувати інформаційну сумісність і незалежність даних на логічному і фізичному рівнях, в тому числі інваріантність до програмного забезпечення. Створення, підтримка і використання БД може здійснюватися системою керування базами даних (СКБД), що є як загальносистемною, так і спеціальною частиною ПЗ.

Методичне забезпечення (MeЗ) (*methodical support*) АС є сукупністю документів [1], які описують технологію функціонування АС, методи вибору і використання користувачами технологічних прийомів для отримання конкретних результатів (проектних рішень) при функціонуванні АС.

Найчастіше методичне забезпечення комерційних ПМК представляється у вигляді різного роду посібників, що поставляються виробниками програмного забезпечення:

- керівництво користувача АС;
- керівництво адміністратора АС;
- керівництво системного і прикладного програміста, оператора тощо.

Більшість розробників ПМК включають в стандартну поставку ліцензій збірники типових рішень (*Examples*) і посібники, в яких детально описуються приклади. В останні роки частою практикою стало створення вбудованих або автономних електронних підручників та інтерактивних електронних посібників, які істотно прискорюють і полегшують процес освоєння САПР користувачами.

Лінгвістичне забезпечення (ЛЗ) (*linguistic support*) АС визначається як сукупність засобів і правил для формалізації природної мови, які використовуються при спілкуванні персоналу АС з комплексом засобів автоматизації. До складу ЛЗ входить сукупність мов, які застосовуються при створенні програмного забезпечення, розробленні інших засобів забезпечення, а також прийомів і способів інтерактивної взаємодії «людина – машина», що здійснюються в проектних процедурах САПР. Це можуть бути і універсальні

алгоритмічні мови програмування, і спеціалізовані проблемно-орієнтовані мови проєктування. Наприклад, мова управління завданнями в пакетних режимах роботи або графічний інтерфейс користувача (GUI) при інтерактивній взаємодії, також СУБД використовуються інформаційно-пошукові мови, що забезпечують опис умов пошуку.

До складу більшості сучасних ПМК входять спеціалізовані об'єктно-орієнтовані мови та засоби прикладного інтерфейсу користувача (API), що дозволяють допрацьовувати і доповнювати програмне забезпечення АС.

Організаційне забезпечення (ОЗ) (*organizational support*) АС представляється сукупністю документів, що встановлюють організаційну структуру системи, права і обов'язки користувачів і обслуговуючого персоналу; принципи діяльності в умовах функціонування системи, а також форми представлення результатів діяльності. За формою ОЗ може складатися з положень, інструкцій, наказів, штатних розкладів, посадових інструкцій та інших організаційно-розпорядчих документів, що регламентують організаційну структуру підрозділів проєктної організації і їх взаємодію з КЗА АС.

Технічне забезпечення (ТЗ) (*hardware*, або технічні засоби) АС включає сукупність всіх технічних (апаратних) засобів, які задіяні при функціонуванні АС. Компоненти ТЗ можна поділити за призначенням на декілька функціональних груп.

Термінальне обладнання включає:

- персональні комп'ютери і робочі станції, які використовуються для організації автоматизованих робочих місць (АРМ);
- стандартне периферійне обладнання введення-виведення інформації;
- спеціалізовані засоби введення і відображення графічної інформації, контрольно-вимірювальну апаратуру тощо.

Тобто це всі цифрові пристрої, які використовує користувач для організації інтерактивної роботи.

Засоби оброблення, передачі і зберігання інформації складають групу засобів ТЗ, що включають:

- сервери;
- комп'ютери колективного доступу (mainframe) і комп'ютерні кластери;
- апаратуру організації та підтримки масивів внутрішньої і зовнішньої пам'яті, сховищ даних різної фізичної природи;
- обладнання локальних і глобальних комп'ютерних мереж.

Тобто це та частина комп'ютерних апаратних засобів, які не підтримують безпосередню взаємодію з цільовим персоналом.

Допоміжне обладнання використовується для забезпечення функціонування основних пристроїв, що входять в дві перші групи. Сюди можна віднести:

- пристрої безперебійного живлення (UPS);
- прилади діагностики та тестування;
- інструменти і засоби ремонтування і профілактичного обслуговування;
- кондиціонери, а також інше обладнання, необхідне для підтримки здоров'я і продуктивної роботи персоналу в складі АС.

До ТЗ можна віднести і ергономічне забезпечення, що є сукупністю рішень з узгодження психологічних, психофізіологічних, антропометричних, фізіологічних характеристик і можливостей користувачів з технічними характеристиками КЗА АС і параметрами робочого середовища на робочих місцях персоналу.

Програмно-методичний комплекс (ПМК) системи автоматизованого проєктування (*software-methodical complex*) – це взаємопов'язана сукупність

компонентів МЗ, ПЗ, ІЗ і МеЗ, включаючи іноді компоненти ЛЗ, що необхідні для отримання закінченого проєктного рішення відносно об'єкта проєктування або виконання уніфікованої процедури.

Як правило, ПМК і є комерційними інформаційними продуктами, які розробляються фірмами-виробниками, що спеціалізуються в області САПР. При впровадженні на конкретному підприємстві ПМК оснащується ОЗ та іншими відсутніми компонентами, а потім інтегрується до складу системи автоматизації.

Програмно-технічний комплекс (ПТК) АС складається з взаємопов'язаних ПМК і ТЗ, які є достатніми для автоматизованого виконання певного завдання.

Наприклад, АРМ користувача САПР визначається як ПТК, що призначений для автоматизації діяльності певного виду; цифрова контрольно-вимірювальна машина може поставлятися разом зі спеціалізованим ПЗ в складі ПТК.

2.3. Програмні комплекси та підсистеми

У відповідності з системним принципом декомпозиції АС, структурними частинами САПР [5], які пов'язані з її функціональним призначенням або організаційною структурою підприємства, є підсистеми, на які можна поділити комплексну АС (рис. 5).

Підсистеми можуть функціонувати автономно (незалежно одна від одної) або бути вбудованими в базову комплексну систему. В свою чергу підсистеми можуть мати свій власний внутрішній поділ на рівні – підсистеми, для яких верхній рівень розглядається як «батьківська» система.

Наприклад, CAD-, CAM-, CAPP-системи можна розглядати як підсистеми комплексної (інтегрованої) САПР, а до складу CAD-системи

входять підсистеми геометричного моделювання та розробки проектно-конструкторської документації.



Рисунок 5 – Ієрархічна структура автоматизованої системи проектування

За призначенням підсистеми поділяються на проєктуючі та обслуговуючі.

Проектуючі підсистеми мають об'єктну орієнтацію і реалізують певний етап (стадію) проєктування, наприклад, підсистема проєктування деталей з листового матеріалу або підсистема розрахунку технологічних процесів механічної оброблення.

Обслуговуючі підсистеми мають загальносистемне застосування і забезпечують підтримку функціонування проєктуючих (прикладних) підсистем, наприклад, це підсистеми трансляції даних, введення-виведення

файлів і друку документів, віддаленого доступу, архівування та відновлення даних тощо.

2.4. Системні принципи та властивості САПР

Узагальнення досвіду досліджень і розроблення автоматизованих систем, і в тому числі САПР, дозволило сформулювати основні загальносистемні принципи їх побудови [5].

Принцип системної єдності (системності) стверджує, що система і створюється, і експлуатується як єдина сукупність взаємодіючих підсистем, робота яких підпорядкована загальній меті. Принцип системності полягає в тому, що при декомпозиції системи повинні бути встановлені такі зв'язки між структурними елементами системи, які забезпечують цілісність АС і її взаємодію з іншими системами.

Принцип сумісності (інтеграції) повинен забезпечувати спільне функціонування складових частин САПР і зберігати відкритість системи в цілому.

Принцип інтеграції полягає в тому, що при створенні в системі повинні бути реалізовані інформаційні інтерфейси, завдяки яким вона може взаємодіяти з іншими підсистемами відповідно до встановлених правил і стандартів, що має забезпечувати можливість її інформаційної інтеграції з іншими АС і комплексами підтримки життєвого циклу виробу (ЖЦВ).

Принцип типізації (стандартизації та уніфікації) полягає в орієнтації на переважне створення і використання типових і уніфікованих елементів при проєктуванні і впровадженні системи. Цей принцип поширюється в тому числі і на проєктні рішення, пакети прикладних програм, комплекси, компоненти автоматизованих систем.

Принцип розвитку полягає в необхідності забезпечення постійного поповнення, вдосконалення, розширення та оновлення системи. Він поєднується з принципом відкритості. При створенні об'єктів автоматизації

відразу повинна бути передбачена можливість проведення робіт із їх модернізації.

Принцип відкритості полягає в тому, що, виходячи з перспектив розвитку об'єкта автоматизації, АС повинна створюватися з урахуванням можливості поповнення та оновлення функцій і складу АС без порушення її функціонування.

Принцип ефективності полягає в досягненні раціонального співвідношення між витратами на створення АС і цільовими ефектами, включаючи кінцеві результати, які отримані в результаті автоматизації.

Принцип інваріантності передбачає, що по можливості система повинна бути інваріантною до об'єкту проєктування і галузі, тобто максимально предметно-незалежною та універсальною.

Принцип тиражованості та адаптації стверджує, що система повинна бути тиражованою і легко адаптуватися до можливих змін об'єкта проєктування і умов експлуатації.

Універсальна САПР характеризується своєю багатфункціональністю. Хоча її створення набагато фінансово затратніше і складніше в порівнянні зі спеціалізованою САПР, яка призначена для виконання визначених, обмежених процедур або об'єктів виробництва (наприклад, САПР ТП виготовлення деталей типу тіла обертання), але універсальна САПР набагато більш придатна для тиражування (копіювання) та розповсюдження.

Умови експлуатації будь якої тиражованої системи можуть відрізнятися від тих, для яких вона спочатку розроблялася. Наприклад, може видозмінюватися об'єкт проєктування або середовище її використання. Якщо принцип інваріантності не було дотримано, то виникають труднощі в адаптації системи до змінених умов експлуатації та об'єкту проєктування. Тому універсальна система відрізняється наявністю великої кількості діалогових і програмних налаштувань.

Принцип живучості передбачає, що система повинна забезпечувати виконання заданих функцій при впливах зовнішнього середовища і відмовах

її компонентів в заданих межах. Дотримання принципу живучості забезпечує стійкість САПР до позаштатних впливів зовнішнього середовища і відмов її компонентів. Підвищенню живучості сприяють модульність побудови системи, дублювання підсистем, взаємозамінність окремих компонентів підсистем тощо.

Крім цього, виділяють такі *системні властивості САПР* [5]:

- інтелектуальність – можливість здійснювати цілеспрямовані раціональні дії;
- ергономічність – зручність використання, а також можливість адаптації до стану і психофізичному типу користувача;
- колективність – можливість забезпечення колективної роботи та паралельного проектування;
- модульність – можливість виділення окремих функціональних частин і підсистем;
- ієрархічність – можливість угруповання модулів за кількома рівнями;
- придатність до декомпозиції – можливість роздільного і автономного використання підсистем;
- мультимедійність – здатність сприйняття і виведення інформації в різних форматах.

РОЗДІЛ 3.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ САПР ТП

3.1. Технологічний процес як об'єкт проєктування

В основу розробки ТП виготовлення виробів приладо- та машинобудування [15] покладені два принципи – технічний і економічний. Відповідно до першого з них спроектований процес повинен повністю забезпечити виконання всіх вимог конструкторської документації та технічних умов. Згідно з другим принципом виготовлення виробу повинно здійснюватися з урахуванням мінімальних витрат праці та виробничих витрат.

Проектування ТП – багатоваріантна задача. Для виготовлення однієї і тієї ж деталі або складальної одиниці можуть бути спроектовані різні ТП, що відрізняються техніко-економічними показниками і, перш за все, витратами на виготовлення і продуктивністю, а також надійністю забезпечення заданої якості виробу.

Технічний і економічний принципи проєктування ТП, відображаючи різні сторони виготовлення виробів, знаходяться в протиріччі. Вирішення даного протиріччя досягається за рахунок компромісу і оптимізації ТП. Найбільш часто досягають компроміс між продуктивністю і витратами. При рівній продуктивності зіставляють ТП, вибирають процес, що забезпечує мінімум витрат. При рівних витратах зазвичай вибирають більш продуктивний ТП. При різних витратах і продуктивності вибирають ТП, що забезпечує мінімум витрат, за умови, що продуктивність всіх порівнюваних варіантів не нижче заданої. При випуску особливо важливої продукції або в екстремальних умовах на певний період часу перевагу віддають більш продуктивному ТП. Для виробів високої відповідальності, наприклад, газотурбінних авіадвигунів, незалежно від типу виробництва перевагу віддають ТП, що більш надійно забезпечує задану якість виготовлення.

Якщо вибір ТП за результатами порівняння окремих показників неможливий, використовують комплексні критерії (K_K), наприклад:

$$K_K = \frac{Q}{Z},$$

де Q – корисний ефект від реалізації спроектованого ТП;

Z – витрати на проєктування і реалізацію ТП.

В якості опції корисного ефекту для ТП можна використовувати продуктивність, надійність забезпечення домінуючих показників якості тощо. Кращим вважають процес, що забезпечує $K_K \rightarrow \max$.

Виготовлення будь якого виробу об'єднує процеси, що відповідають таким основним етапам: заготівельному, виготовлення деталей, складання. Головну увагу зазвичай приділяють проєктуванню ТП виготовлення деталей та складальня.

Будь який із зазначених ТП представляє собою складну, ієрархічно організовану, цілеспрямовану систему. Елементарний склад і структура системи залежить від рівня її розгляду.

Маршрутний ТП виготовлення деталі може бути представлений, наприклад, послідовністю етапів, на кожному з яких вирішують відповідні технологічні завдання (табл. 1). Кожен етап ТП складається з окремих технологічних операцій, що виконуються в певній (заданій) послідовності.

3.2. Різновиди технологічного проєктування

Як зазначалося раніше, технологічне проєктування (рис. 6) поділяється на три основні частини [14]:

- виготовлення заготовок;
- оброблення деталей;
- складання виробу.

Таблиця 1.

Характеристика та завдання етапів технологічного процесу

Найменування етапу	Точність розмірів	Технологічні завдання
Заготівельний	$IT \geq 14$	Забезпечення якості вихідної заготовки
Чорновий	$14 \geq IT \geq 12$	1. Оброблення базових поверхонь. 2. Попереднє формоутворення основних поверхонь
Напівчистовий	$11 \geq IT \geq 9$	Формоутворення основних і другорядних поверхонь
Чистовий	$9 \geq IT \geq 7$	1. Забезпечення точності розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь. 2. Формування поверхневого шару деталі
Оздоблювальний	$7 \geq IT$	Досягнення заданих показників якості деталі (в комплексі)

Основними факторами, що визначають вид заготовки, є матеріал деталі, її конфігурація, габаритні розміри і обсяг випуску або тип виробництва.

У проектуванні ТП оброблення розрізняють такі стадії: розроблення маршруту оброблення окремої поверхні, розроблення принципової схеми ТП, розроблення переходів, розроблення операцій, розроблення технологічного маршруту.

Принципова схема ТП – це послідовність етапів оброблення. Етап – це одна або кілька операцій, які пов'язані з рішенням якоїсь конкретної задачі (підготовка технологічних баз, чорнове оброблення поверхонь, термооброблення тощо).

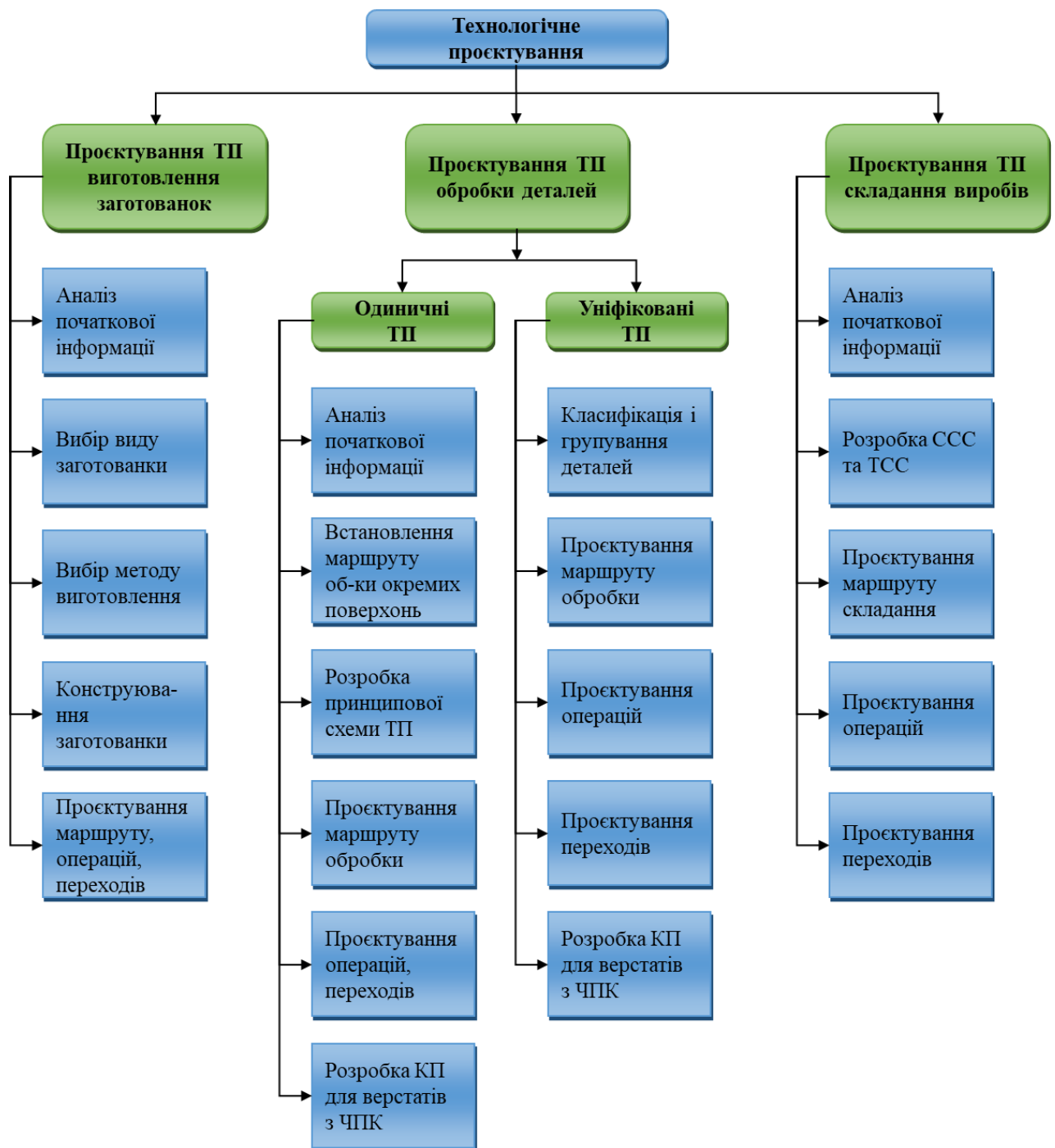


Рисунок 6 – Різновиди технологічного проєктування

З точки зору послідовності виконання названих стадій розробки ТП можливі два підходи:

Перший підхід містить наступну послідовність стадій:

принципова схема ТП → маршрут → операція → перехід.

На кожній наступній стадії рішення попередньої стадії деталізується (як правило, в декількох варіантах) і вибирається оптимальне.

Другий підхід заснований на аналізі окремих поверхонь і проєктуванні переходів їх оброблення. Далі переходи упорядковуються в операції, а операції – в маршрути оброблення деталі. Такий підхід має наступну послідовність:

перехід → операція → маршрут.

При великому різноманітті оброблюваних деталей за формою, розмірами може бути використана лише типізація маршруту оброблення окремих поверхонь. Виходячи з цього, вибирають другий підхід до проєктування (перехід → операція → маршрут).

Якщо вироби, що випускаються, характеризуються більшим обсягом випуску і меншою номенклатурою, проєктування ТП виконують на базі уніфікованих ТП за першою схемою (маршрут → операція → перехід).

Незалежно від підходу до проєктування ТП механічного оброблення все розпочинається з вивчення і аналізу вихідних даних: робочого креслення деталі з відповідними технічними умовами виготовлення, креслення вихідної заготовки і програми випуску.

Після цього за технологічними класифікаторами деталей аналізується можливість виготовлення деталі за існуючими на підприємстві типовим і груповим ТП.

Типовий ТП – це ТП виготовлення або ремонтування групи виробів зі спільними конструктивними та технологічними ознаками [2].

Зміст і послідовність більшості технологічних операцій і переходів для таких виробів збігаються. Вони застосовуються як інформаційна база для розроблення одиничних ТП, а також стандартів на типові ТП. Автором ідеї типізації технології був А.П. Соколовський.

Типізація ТП базується на класифікації виробів за ознаками спільності конфігурації і єдності технологічних завдань, вирішення яких необхідне для виготовлення певного типу виробів.

Наприклад, А.П. Соколовський виділяв такі типи деталей: вали, осі, втулки, диски, плити, станини, рами тощо. Типізація ТП дозволяє узагальнити існуючі передові ТП, поширити досвід впровадження прогресивного оснащення, інструменту. Ця ідея впроваджена на багатьох підприємствах масового виробництва.

Груповий ТП – це ТП виготовлення або ремонтування групи виробів зі спільними технологічними, але різними конструктивними ознаками [2].

Групову технологію запропонував С.П. Митрофанов. Групова технологія є розвитком ідей типізації і її метою є побудова технології виготовлення або складання виробів, при якій значно зменшується витрати часу на переналагодження обладнання. В основу групової технології також покладено класифікацію виробів і комплектування їх груп. Але конструктивна подібність виробів при цьому є вторинною ознакою. При груповій технології ТП проєктується на комплексну деталь, що є або реально існуючою найбільш складною деталлю групи, або штучно створюється як деталь, що має усі поверхні окремих деталей групи.

Розроблений для комплексної деталі ТП є, як правило, надлишковим для конкретних деталей, тому що може включати технологічні операції і переходи для оброблення відсутніх у неї поверхонь. На основі групового ТП розробляють одиничні ТП шляхом виключення із групового зайвих операцій і переходів, уточнюючи технологічне оснащення.

При відсутності можливості використання існуючих уніфікованих ТП після проведення зазначеної підготовчої роботи технолог виконує проєктування одиничного ТП.

Одиничний ТП – це ТП, виготовлення або ремонтування виробу однієї назви, типорозміру та викону незалежно від типу виробництва [2].

Проектування ТП є складним багатоваріантним завданням, правильне рішення якого вимагає проведення необхідних розрахунків. При проектуванні процесів оброблення складних деталей розробляється декілька можливих варіантів оброблення, остаточний вибір якого виконується на підставі розрахунків і зіставлення точності, що досягається, трудомісткості, технологічної собівартості і терміну окупності капітальних витрат.

На початку проектування технолог попередньо встановлює види і маршрут оброблення окремих поверхонь і методи досягнення їх точності, що відповідають вимогам креслення, серійності виробництва та наявного на підприємстві обладнання. Після цього розробляється принципова схема ТП. Далі ТП проектується в межах етапів: призначаються технологічні бази, встановлюється послідовність переходів, зміст і послідовність операцій, тобто технологічний маршрут оброблення.

Щодо проектування ТП складання виробів, то конструктор виробу при створенні складальних креслень має вирішити питання про метод забезпечення заданої точності замикаючих ланок розмірних ланцюгів виробу. При аналізі вихідної інформації технолог перевіряє обране рішення. Прийнятий метод складання повинен бути достатньо повно відображений в складальному кресленні та технічних умовах на приймання виробу. Аналіз виробу, що складається, завершується складанням технологічних схем загального і вузлового складання. Ці схеми відображають послідовність складання виробу і його складових частин. Схеми складання доповнюють написами, що пояснюють характер складальних робіт і виконуваного при складанні контролю (запресування, паяння, клепання, вивірення тощо).

Маршрут складання включає встановлення послідовності технологічних і допоміжних операцій на основі технологічних схем. Зміст операцій визначають залежно від типу виробництва і темпу складання. При проектуванні операцій остаточно вибирають обладнання, пристосування і інструменти, встановлюють послідовність переходів, призначають режими роботи складального обладнання та механізованих інструментів.

3.3. Технологічна уніфікація

Науково-технічний прогрес в приладо- та машинобудуванні зумовлює прискорення темпів створення більш досконалих виробів, збільшення кількості їх типів, ускладнення конструкцій [14]. Це обумовлює зростання витрат часу і коштів на технологічну підготовку. У зв'язку з цим є актуальною задача технологічної уніфікації.

Технологічна уніфікація – приведення до єдиної системи методів оброблення.

Завдання, які вирішуються технологом при проектуванні ТП, можна поділити на розрахункові та нерозрахункові. До розрахункових відносяться задачі з визначення припусків на обробку, технологічних розмірів, режимів різання, норм часу і витрат матеріалів. Рішення таких завдань зводиться до виконання розрахунків за формулами, тобто рішення їх формалізовано. Неважко скласти алгоритм, що дозволяє вирішувати ці завдання з використанням комп'ютерної техніки. Однак більшу частину складають нерозрахункові завдання. Це такі завдання, як вибір методів оброблення, типу обладнання, виду інструменту, визначення схеми базування, способу установки деталі, формування складу операцій, визначення послідовності операцій, вибір виду заготованоки, визначення послідовності переходів в операції.

Яким же чином технолог приймає рішення в кожному з перерахованих випадків?

Розглянемо як приклад завдання про вибір методу оброблення. Нехай в деталі потрібно обробити отвір. Для вирішення даної задачі технолог застосує вже апробовані методи. В технології відомі перевірені на практиці методи

оброблення отворів. Чорнове оброблення – свердління, розсвердлювання, zenкування, розточування; чистове – розгортання, розточування, протягування, шліфування і хонінгування.

Отже, є кінцевий набір відомих методів оброблення (типових рішень), і завдання технолога полягає в обґрунтованому виборі одного з них, тобто прийняття одного з типових рішень даної задачі.

Необхідно відзначити, що типові рішення є основою автоматизованого проєктування ТП.

При проєктуванні ТП використовуються *три рівні технологічної уніфікації*:

- 1) типізація маршруту оброблення окремих (елементарних) поверхонь, таких як зовнішній циліндр, конус, сфера, отвір або площина тощо;
- 2) типізація маршруту оброблення сполучень поверхонь (паза, зубів);
- 3) комплексна типізація ТП оброблення заготовок в цілому.

Типізація ТП на будь-якому рівні має починатися з класифікації деталей, поєднань поверхонь і елементарних поверхонь. Основним завданням класифікації є приведення всього різноманіття заготовок, поверхонь, їх поєднань до мінімальної кількості типів, для яких можна розробити уніфіковані ТП.

Типізація маршрутів оброблення елементарних поверхонь. У машино- та приладобудуванні накопичений великий досвід розроблення та використання типових маршрутів оброблення різних поверхонь. Багато з цих маршрутів зафіксовані в довідкових матеріалах. Число можливих варіантів маршруту може бути досить великим. Всі вони, однак, різні за ефективністю. Вибір заключного варіанта за цими показниками важливий, але складний і трудомісткий. Маршрут вибирають наближено, оцінюючи трудомісткість варіантів за сумарним основним часом оброблення і використовуючи для розрахунку нормативні матеріали. Більш точно вибирають маршрут при порівнянні сумарної собівартості оброблення.

Типізація маршрутів оброблення сполучень поверхонь. Під поєднанням або сполученням розуміють зазвичай набір елементарних поверхонь, що утворюють конструктивний елемент деталі певного функціонального призначення (наприклад, набір поверхонь, що утворюють шпонковий паз, шліци). Такі набори поверхонь називаються конструкторсько-технологічним елементом деталі. Ознаками класифікації конструкторсько-технологічних елементів на підгрупи, типи є: функціональне призначення, конфігурація і розміри поверхонь, матеріал деталі, необхідна точність.

Комплексна типізація ТП оброблення заготованок. Ця типізація базується на класифікації деталей за конструктивно-технологічними ознаками. Вона включає в себе аналіз і впорядкування окремих деталей і складальних одиниць з метою об'єднання конструктивно і технологічно подібних деталей до відповідних класів, груп, типів. Під типом розуміють сукупність близьких за формою і розмірами деталей одного класу, які можна обробити за загальним типовим ТП. До групи включаються деталі з різними конструктивними, але спільними технологічними ознаками. Для їх оброблення використовується однакове устаткування і оснащення при виконанні всіх або окремих операцій.

3.4. Варіанти оброблення інформації в САПР ТП

Проектування ТП починається з аналізу креслення деталі [12]. Після цього формується **змінна (або вхідна) інформація** – інформація про деталь, для якої необхідно спроектувати ТП. Ця деталь називається поточною. Вхідна інформація може бути представлена у вигляді коду, таблиці кодованих відомостей, машинної графіки або на формалізованій мові.

Умовно-постійна інформація – це інформація, необхідна для проектування ТП, виходячи зі змісту змінної інформації. До цієї інформації належать відомості про застосовуване обладнання, засоби технологічного

оснащення, нормативні матеріали для вибору режимів оброблення та розрахунку норм часу.

При кожному проєктуванні ТП на різні деталі введена інформація для проєктування ТП буде різною. Тому цю інформацію і назвали змінної. Інформація про обладнання та оснащення при проєктуванні ТП на різні деталі змінюється набагато рідше, хоча теж може змінитися. Тому вона називається умовно-постійною.

Змінна інформація про деталі, на які проєктувалися або будуть спроектовані ТП, зберігається в БД.

Умовно-постійна інформація може зберігатися в БД і в базах знань. Її вибір і рішення інших задач проєктування може виконуватися за розробленими технологіями алгоритмами.

Опрацювання інформації при проєктуванні ТП може виконуватися наступними способами.

Перший – ручне оброблення інформації. В цьому випадку всі рішення технолог приймає самостійно. Виконується лише аналіз інформації про деталь без розробки і введення змінної інформації в ЕОМ. Такий метод проєктування називається методом прямого документування, а САПР ТП – технологічним редактором.

Другий варіант – автоматизований. Він передбачає рішення деяких завдань без участі людини і введення інформації про деталь або у вигляді змінної інформації, або в ході проєктування ТП в діалозі. ЕОМ в основному вирішує розрахункові завдання, тобто визначає параметри ТП: масу заготовки, режими оброблення, норми часу. Дані, які необхідні для розрахунку, повинні знаходитись в БД.

Третій варіант проєктування – автоматичний, з обов'язковим введенням змінної інформації. Тут і розрахункові, і нерозрахункові завдання ЕОМ вирішує без участі технолога за введеними раніше алгоритмами. При роботі в автоматичному режимі технолог вводить тільки інформацію про деталь. У цьому випадку необхідна наявність і БД, і бази знань. САПР ТП такого рівня

складні в організації, відносяться до експертних систем – різновид штучного інтелекту. Для зниження складності таких систем використовується локалізацію – звуження номенклатури деталей до визначеного типу або групи. У цьому випадку використовується проектування на основі типізації.

3.5. Вхідна (початкова) інформація про деталь

Як було відзначено, автоматизоване проектування ТП починається з аналізу креслення деталі. Після цього формується змінна вхідна (або початкова) інформація – інформація про деталь, для якої необхідно спроектувати ТП [14]. Вхідна інформація може бути представлена у вигляді коду, таблиці кодованих відомостей або на формалізованій мові.

Класифікація та кодування інформації про деталі

Класифікацією називають поділ множини об'єктів на підмножини на основі врахування загальних ознак об'єктів і закономірних зв'язків між ними. Сукупність методів і правил класифікації утворює систему класифікації.

Ознакою класифікації називають властивість або характеристику об'єкта, які можуть приймати якісне або кількісне вираження, яке називається значенням ознаки класифікації.

Існує два основні методи класифікації: ієрархічний та фасетний. При ієрархічному методі задана множина об'єктів послідовно поділяється на підлеглі класифікаційні угруповання. Фасетний метод передбачає паралельний поділ множини об'єктів на незалежні класифікаційні угруповання за різними ознаками класифікації.

З класифікацією безпосередньо пов'язаний процес кодування.

Код – сукупність знаків (символів) і система певних правил, за допомогою яких інформація може бути представлена у вигляді набору символів для передачі, оброблення та зберігання.

Кодування – перетворення інформації в код.

Процес кодування виконується на основі класифікаторів, які представляють собою упорядкований перелік найменувань об'єктів класифікації, ознак класифікації і класифікаційних угруповань і їх кодових позначень.

З метою створення єдиної системи конструкторсько-технологічної класифікації деталей розроблені «Класифікатор ЄСКД» та «Технологічний класифікатор деталей машинобудування і приладобудування» (ТКД). Процес кодування деталей полягає в присвоєнні деталі цифрового коду класифікаційної характеристики її конструктивних ознак, доповненого буквено-цифровими кодами основних технологічних ознак.

Відповідно до [13] встановлюється така структура позначення основного конструкторського документа (кресленика деталі або специфікації), що складається з 13 знаків (рис. 7)

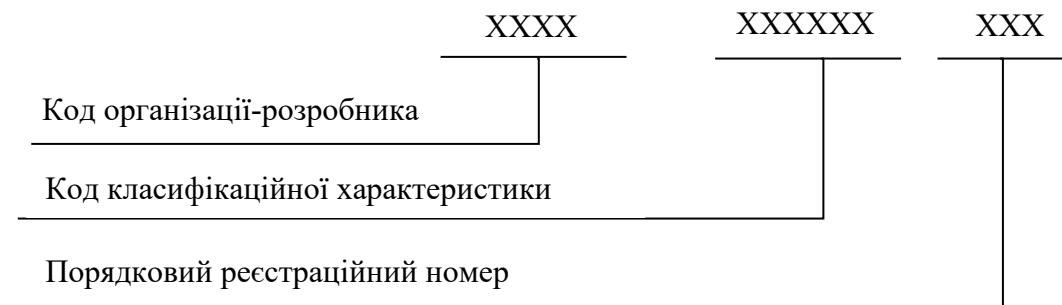


Рисунок 7 – Структура конструкторського коду

Чотиризначний буквений код організації-розробника призначається за кодифікатором організації-розробника.

Код класифікаційної характеристики присвоюється за класифікатором ЄСКД і має наступну структуру (рис. 8)

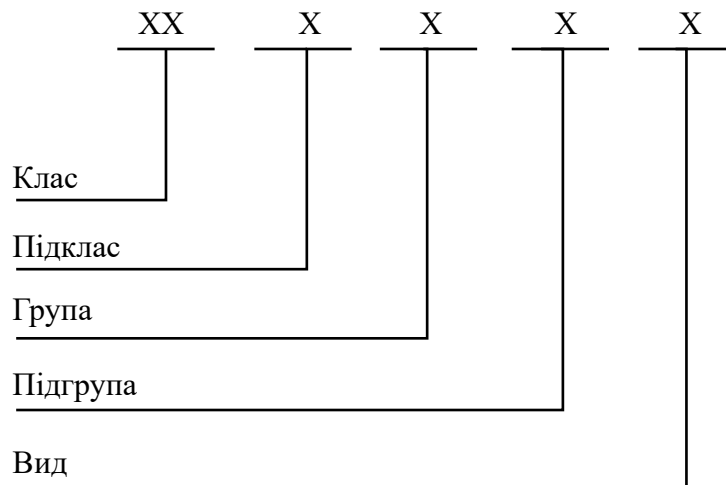


Рисунок 8 – Структура коду класифікаційної характеристики

Класифікатор ЄСКД містить 99 класів. Наприклад, клас 04 об'єднує металорізальне і деревообробне обладнання; клас 21 – прилади та пристрої для вимірювання; для всіх видів технологічної оснастки призначені класи 28 і 29.

Класи 71 – 76 містять коди деталей машинобудування і приладобудування. При їх класифікації враховується геометрична форма, функціональне призначення, конструктивні особливості.

Клас 71 об'єднує деталі-тіла обертання (кільця, втулки, вали). До класу 72 відносяться ті ж деталі, що і до класу 71, але з елементами зубчастого зачеплення, а також труби, розрізні сектори, сегменти тощо; клас 73 виділений для деталей, які не є тілами обертання (для корпусів, кришок, кронштейнів тощо); клас 74 включає ті ж деталі, що і клас 73, але вигнуті з листів, смуг і стрічок; в класі 75 розглядаються деталі, які є тілами обертання та не є ними (кулачкові, карданні, арматури, оптичні тощо); клас 76 включає деталі технологічного оснащення та інструменту.

Наприклад, кодування деталей 71 класу виконується так, як показано в табл. 2.

Таблиця 2. Класифікація деталей 71 класу

Клас 710000		Деталі – тіла обертання типу кілець, дисків, шківів, втулок, стаканів тощо			
Підклас 711000		З L до 0,5D включно (кільця диски, тарілки, кришки, фланці, шківів тощо) з зовнішньою циліндричною поверхнею			
Група 711300		Без закритих уступів, ступінчаті, односторонні, без зовнішньої різьби			
Без центрального отвору		без кільцевих пазів на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711311
				з отв. поза віссю деталі	711312
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711313
				з отв. поза віссю деталі	711314
		з кільцевими пазами на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711315
				з отв. поза віссю деталі	711316
з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі		711317		
	з отв. поза віссю деталі		711318		
З центральним наскрізним отвором, круглим в поперечному перерізі	циліндр. без різьби, гладкий	без кільцевих пазів на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711341
				з отв. поза віссю деталі	711342
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711343
				з отв. поза віссю деталі	711344
		з кільцевими пазами на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711345
				з отв. поза віссю деталі	711346
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711347
				з отв. поза віссю деталі	711348
	циліндр. без різьби, ступінч.	без кільцевих пазів на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711351
				з отв. поза віссю деталі	711352
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711353
				з отв. поза віссю деталі	711354
		з кільцевими пазами на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711355
				з отв. поза віссю деталі	711356
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711357
				з отв. поза віссю деталі	711358
З центральним наскрізним отв., некруг. в поперечному перерізі		без кільцевих пазів на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711391
				з отв. поза віссю деталі	711392
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711393
				з отв. поза віссю деталі	711394
		з кільцевими пазами на торцях	без пазів та шліців на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711395
				з отв. поза віссю деталі	711396
			з пазами та/або шліцами на зовн. поверхні	без отв. поза віссю деталі	711397
				з отв. поза віссю деталі	711398

За технологічним класифікатором технологічний код підрозділяється на основний і додатковий і має наступну структуру (рис. 9).

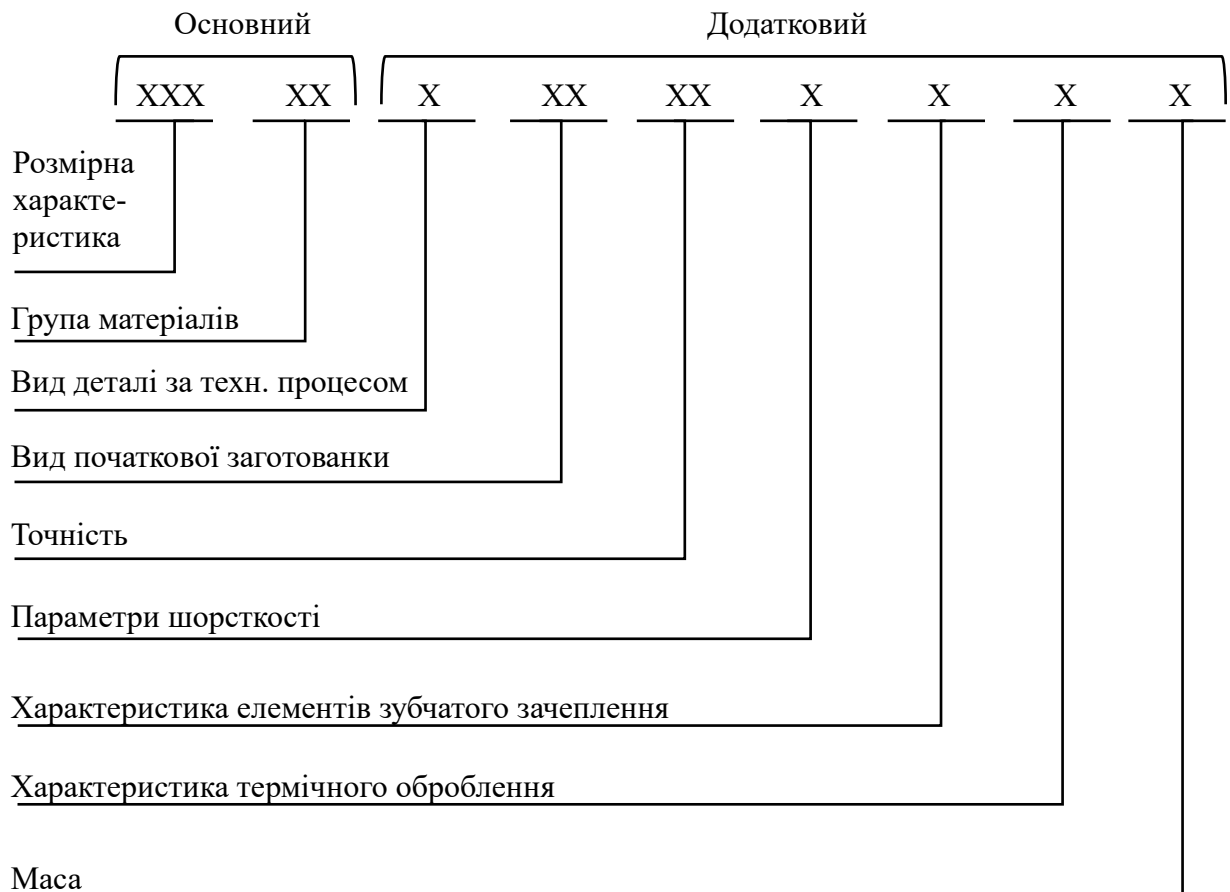


Рисунок 9 – Структура технологічного коду

Відповідно своєї назви, код класифікаційної характеристики визначає призначення і геометрію деталі, а технологічний код уточнює геометрію, матеріал, вид заготовки, термічного оброблення. Ці два коди об'єднуються як КТК – конструкторсько-технологічний код, і він може використовуватися при проєктуванні ТП за аналогом для знаходження деталі-аналога і при автоматизованому проєктуванні ТП на основі типізації.

Таблиця кодованих відомостей

Опис деталі у вигляді таблиці наближений до машинної форми зберігання інформації. Таблиця кодованих відомостей – це кілька масивів, які поєднують інформацію про різні характеристики деталі. Поверхням деталі присвоюються номери від лівого крайнього торця до крайнього правого торця.

Масив є множиною рядків відповідно до кількості елементарних поверхонь деталі. Кожен рядок складається зі стовпців, що описують характеристики поверхонь: форму, розмір, точність розмірів, шорсткість, відносне розташування.

За допомогою однієї таблиці кодованих відомостей створюється один рядок опису, а повний опис деталі складається з п'яти різновидів таблиць кодованих відомостей:

1 – використовується одноразово, містить три стовпці (комірки): позначення, найменування і матеріал деталі.

2 – одноразово для загальних відомостей про деталі: твердість, точність невказаних граничних відхилень, невказана шорсткість.

3 – заповнюється для кожної поверхні і містить номер поверхні (рис. 10), код форми поверхні, розміри поверхонь.

4 – заповнюється у разі наявності у поверхні особливостей. Наприклад, якщо задано відхилення розташування поверхні щодо інших.

5 – за відсутності явно заданої довжини і для вказання габаритної довжини деталі.

Таблиця кодованих відомостей містить повну інформацію про деталі і застосовується при автоматизованому або автоматичному проєктуванні на основі типізації та синтезу ТП. Приклад номерування елементарних поверхонь деталі показано на рис. 10.

Для опису деталі використовують також спеціальну мову. Опис деталі на одній з перших формалізованих мов, яка запропонована В.Д. Цветковим, включає наступні групи даних:

- А. Найменування і позначення деталі.
- Б. Загальні відомості про деталі.
- В. Відомості про елементарні поверхні.
- Д. Дані про форму деталі.
- Е. Відомості про різні зв'язки і технічні вимоги.

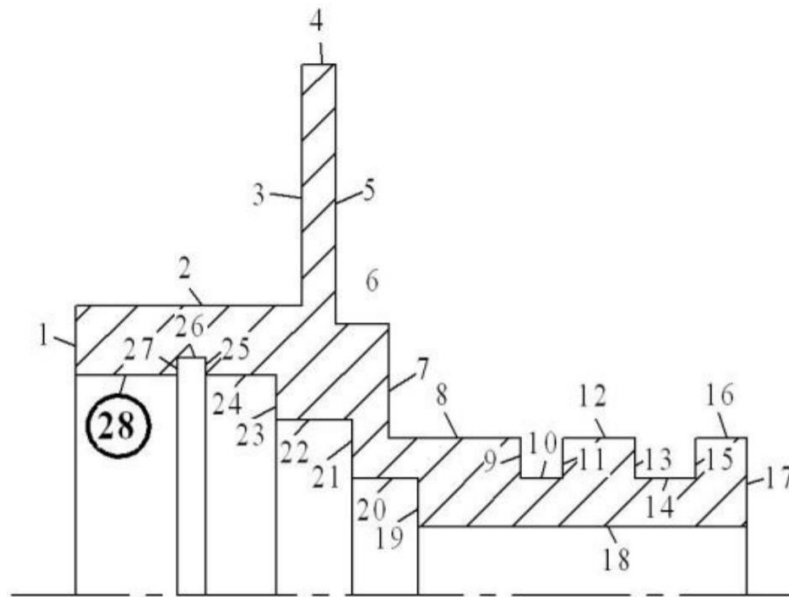


Рисунок 10 – Номери поверхонь деталі

Опис на формалізованій мові більш компактний і менш формалізований, ніж таблиця кодованих відомостей, тобто дозволяє довільне представлення даних. Він містить також повну інформацію про деталі і має таку ж застосовність.

3.6. Формалізація технологічного проектування

Рішення будь-якої задачі технологічного проектування вимагає наявності аналітичних або інших видів залежностей, що відображають кількісну, а не якісну сторону процесу проектування [14]. Тому для автоматизації технологічного проектування необхідно виконати формалізацію технології (або її частини), тобто провести заміну (перетворення) змістовних речень формулами.

Цей процес, називається формалізацією, забезпечує можливість створення універсальних алгоритмів і програм щодо початкових і кінцевих умов, тобто щодо форми і розмірів деталі, характеру виробництва,

характеристик устаткування і оснащення, і тим самим дозволяє більш ефективно застосовувати комп'ютери в проєктуванні різних технологічних процесів для деталей різних класів і будь-якої складності: корпусів, валів, важелів тощо.

Формалізація завдання перетворює процес технологічного проєктування з процесу міркувань і побудови аналогій в процес суворого розрахунку. При цьому форма утворення технологічного процесу і його складових елементів може бути виражена за допомогою апарату математичної логіки, зміст технологічних процесів, що характеризується рядом властивостей об'єктів технології, описано засобами теорії множин, а якісні відношення представляються кількісними залежностями за допомогою логічних функцій.

3.7. Прийняття рішень при технологічному проєктуванні

Розв'язання завдання технологічного проєктування за допомогою комп'ютерів є моделювання діяльності технолога, який проєктує технологічний процес [14]. Тому важливо знати, яким чином технолог знаходить те або інше рішення, і які методологічні принципи закладені в його діяльності.

Множина часткових технологічних завдань, які вирішує технолог в процесі проєктування, можна звести в дві групи. Першу групу складають *завдання, які легко піддаються формалізації*. До таких завдань слід віднести розрахунок режимів різання, припусків на механічне оброблення, норм часу тощо. Вирішення цих завдань зводиться до виконання розрахунків за формулами. Для них легко скласти формальний алгоритм, що дозволяє для вирішення використовувати ЕОМ. Однак таких завдань при технологічному проєктуванні небагато.

Більшу частину – другу групу – складають *завдання, які умовно називають складно формалізованими*. До таких завдань відносяться: вибір

методу оброблення, обладнання, інструменту, призначення схеми базування, вибір виду заготовки, визначення послідовності операцій тощо. Ці задачі об'єднує те, що для них в технології приладо- та машинобудування обмаль формальних методів вирішення, тобто обмаль встановлених функціональних співвідношень, які дозволяють формально отримувати рішення з урахуванням вихідних даних.

Наприклад, розглянемо задачу про вибір методу оброблення отвору заданих розмірів і точності. Для її вирішення технологу не потрібно визначати нові методи оброблення отворів, а слід використовувати вже відомі, апробовані рішення. У технології приладо- та машинобудування застосовується ряд перевірених на практиці методів оброблення отворів:

- для чорнових операцій (переходів) – свердління, розсвердлювання, зенкування, розточування;
- для чистових операцій (переходів) – розточування чистове, розгортання, протягування, хонінгування.

Отже, є кінцевий набір відомих методів оброблення (типових рішень), і завдання технолога полягає в обґрунтованому виборі одного з них.

Кожен з методів оброблення (типове рішення) має область раціонального застосування. Наприклад, при відсутності отвору в заготованці першим чорновим проходом призначають свердління. Якщо остаточні розміри отвору великі, спочатку свердлиться отвір меншого діаметру, а потім – розсвердлюється до більшого. У крупносерійному і масовому виробництві застосовують більш точні методи отримання заготованок, тому в заготованці отвір, як правило, є. Тоді в якості типового проходу використовують зенкерування. Однак зенкери виготовляють діаметром до 150 мм. Тому при великих розмірах отвору необхідно виконувати розточування.

Чистове оброблення отворів за сьомим квалітетом ведеться розгортанням. Але стандартні розгортки мають діаметр до 80 мм, тому для

отримання великих отворів застосовують чистове розточування. А у масовому виробництві часто використовують протягування.

Таким чином, основний принцип діяльності технолога при вирішенні даної задачі полягає в обґрунтованому виборі (прийнятті) типового рішення з урахуванням комплексу умов.

Слід зазначити, що однією з проблем процесу формалізації є те, що існуючі в технології приладо- та машинобудування емпіричні залежності кількісних співвідношень виражаються громіздкими таблицями, що мають велику кількість значень, або емпіричними формулами, які не охоплюють різних умов виробництва. У зв'язку з цим дуже важливими є роботи, що виконуються в області теоретичних і експериментальних досліджень з встановлення більш точних кількісних залежностей, що пов'язують продуктивність, точність оброблення і якість поверхні з методами і режимами різання для різних умов оброблення.

Грунтуючись на математичному аналізі і статистичному дослідженні, таблиці і емпіричні формули замінюються математичними виразами. У цьому випадку підвищується ефективність і точність розрахунку багатьох параметрів.

Формалізація процесів технологічного проєктування нерозривно пов'язана з описом кількісних зв'язків інформаційної структури деталі з технологічними особливостями її оброблення. Між конструкцією, геометричною структурою і іншими характеристиками деталей та структурою ТП існують об'єктивні зв'язки. Так, геометрична структура деталей зумовлює методи досягнення необхідної точності, вибір технологічних і вимірювальних баз, послідовність оброблення елементарних поверхонь деталей і їх вимірювання, міжопераційні розміри, припуски і допуски тощо. Щоб отримати повний опис геометрії конструкції, необхідно описати її структуру, форму, розміри і взаємне розташування окремих її елементів.

Для цього достатньо представити весь набір типових рішень, а також умов, при яких може бути прийнято кожне з них, в формалізованому вигляді.

Тоді процес вибору зводиться до перевірки відповідності вихідних даних і умов застосовності типового рішення. У разі виконання всіх умов відповідне типове рішення приймається.

Розглянемо задачу вибору шліфувального круга на операцію круглого зовнішнього шліфування методом врізання. Для вирішення цього завдання необхідно:

- сформувати множину типових рішень;
- сформувати комплекс умов застосовності;
- сформувати масив параметрів вживаності;
- розробити алгоритм логічної перевірки відповідності вихідних даних і умов застосовності.

Припустимо, на деякому підприємстві є шліфувальні верстати трьох моделей – вони і складають **множину типових рішень**:

$$MTP = \{3Y12B, 3Y131M, 3M163B\}$$

Сформуємо комплекс умов застосовності виявлених типових рішень.

Комплекс умов застосовності – це множина параметрів, перевірка яких з достатньою достовірністю дозволить вибрати те чи інше рішення. Умовами вживаності в даному випадку є розміщення деталі в робочій зоні верстата і можливості оброблення її на даному типі обладнання. Перша група умов регламентує габаритні розміри деталі – діаметр вала D і довжина L (рис. 11) повинні знаходитися в межах, які допустимі робочою зоною верстата. Другу групу умов складають наступні вимоги: довжина шліфованої шийки l не повинна перевищувати висоту шліфувального круга H ; висота бурту h у шийки деталі 3 не повинна бути більшою, ніж перепад шліфувального круга l і планшайби 2, що його закріплює.

Умови застосування типового рішення є обмеженнями на параметри, що характеризують вихідні дані даної задачі. Це дозволяє описати комплекс умов застосовності (КУЗ) математичними засобами:

$$КУЗ = \left\{ \begin{array}{l} D_{min} \leq D \leq D_{max} \\ L_{min} \leq L \leq L_{max} \\ l_{min} \leq l \leq l_{max} \\ h_{min} \leq h \leq h_{max} \end{array} \right\}$$

Сукупність параметрів, які регламентовані комплексом умов застосування, називають комплексом параметрів застосовності (КПЗ). В даному випадку

$$КПЗ = \{D, L, l, h\}$$

Відповідно до КПЗ формуються вихідні дані завдання і характеристики типових рішень.

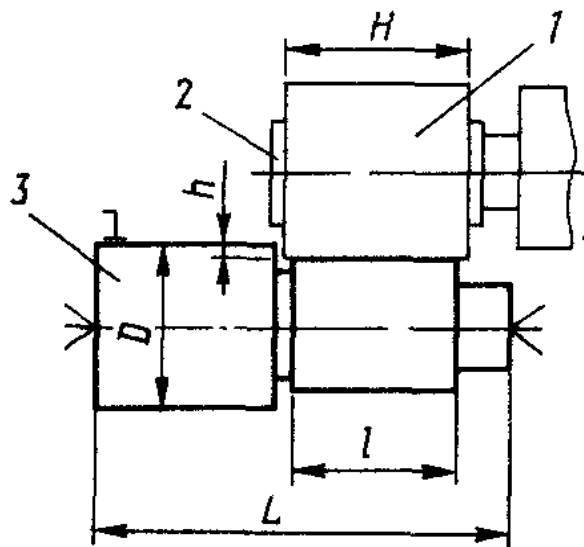


Рисунок 11 – Схема оброблення деталі на шліфувальному верстаті

Для вирішення цієї задачі потрібно визначити допустимі для кожного типового рішення діапазони параметрів застосування. Відповідні характеристики шліфувальних верстатів і оброблюваних деталей наведені в табл. 3.

Далі формується масив умов застосовності (МУЗ):

$$МУЗ = \begin{matrix} 3У12В \\ 3У131М \\ 3М163М \end{matrix} \begin{pmatrix} D & L & l & h \\ 200 & 500 & 40 & 50 \\ 280 & 700 & 50 & 75 \\ 280 & 1400 & 200 & 75 \end{pmatrix}.$$

Таблиця 3.

Умови застосовності шліфувальних верстатів

Модель верстату	Параметри верстатів, мм			
	D	L	l	h
ЗУ12В	≤ 200	≤ 500	≤ 40	≤ 50
ЗУ131М	≤ 280	≤ 700	≤ 50	≤ 75
ЗМ163В	≤ 280	≤ 1400	≤ 200	≤ 75

Відповідно до комплексу умов застосування для заданого набору вихідних даних (параметрів деталей) $U_d = \{D_d, L_d, l_d, h_d\}$ з трьох наявних приймається те рішення, яке задовольняє нерівностям КУЗ.

Процедуру перевірки цих умов можна описати за допомогою формального алгоритму (рис. 12).

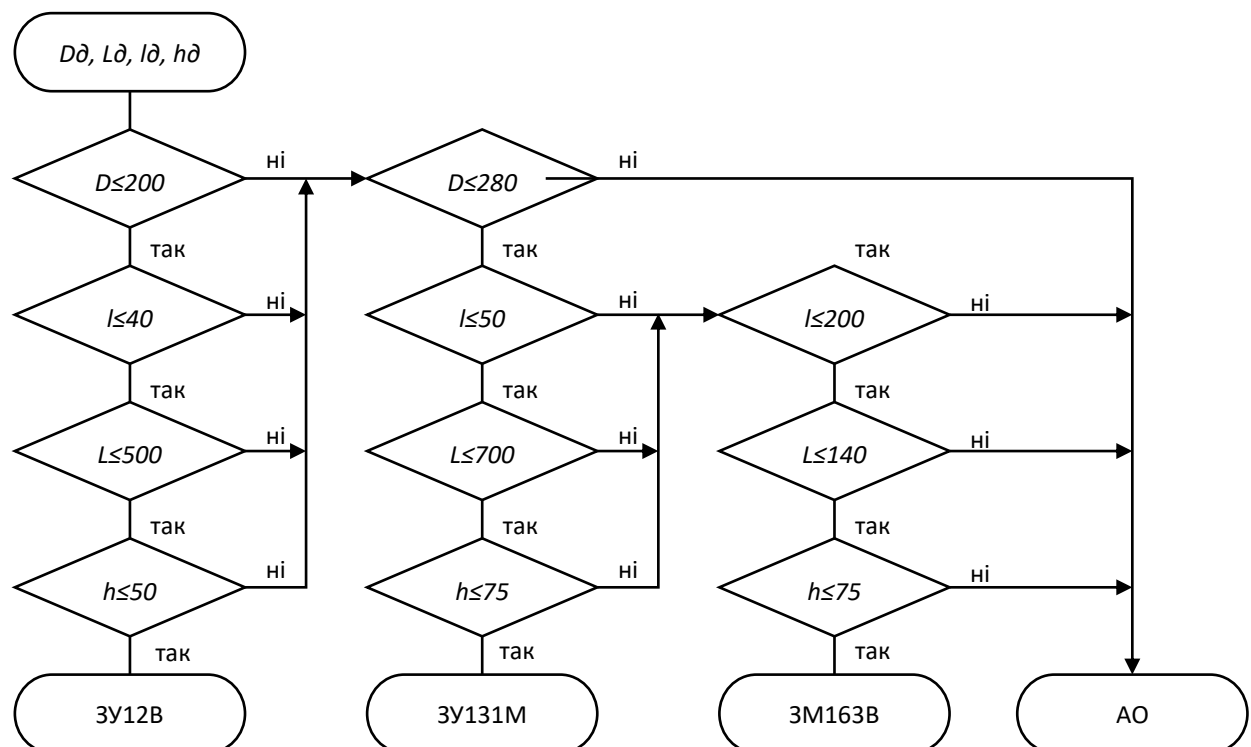


Рисунок 12 – Схема алгоритму вибору шліфувального верстата

На основі цього алгоритму може бути складена програма, що дозволяє для будь-якого набору Уд вибрати модель шліфувального верстата або вказати, що такого верстату немає на виробництві.

Найважливішим етапом в розробленні алгоритму розв'язання задачі логічного типу є формування КУЗ. У розглянутому прикладі виділені лише умови, що визначають принципову можливість оброблення. У виробничих умовах цей комплекс може бути розширено.

Отже, при вирішенні будь-яких технологічних завдань із застосуванням комп'ютера необхідно в кожному випадку сформулювати множину типових рішень, КУЗ кожного типового рішення, МУЗ, а також розробити правила перевірки цих умов – алгоритм рішення. Для всіх часткових технологічних задач, які є складовими елементами технологічного процесу, також вирішується весь комплекс питань технологічного проєктування. На підставі отриманих рішень формується повний технологічний процес.

3.8. Методи автоматизованого проєктування технологічних процесів

Процес формування ТП в загальному випадку [14] – сукупність процедур структурного і параметричного синтезу з прийняттям і наступним аналізом проєктних рішень. Ухвалення рішення по кожній задачі, за винятком задач розрахункового характеру, виконуються в результаті вибору відомих типових рішень з урахуванням умов застосовності. Для цього досить описати весь набір типових рішень, а також умов, при яких може бути вибрано кожне з рішень.

За рівнем розв'язуваних завдань типові рішення поділяються на дві групи: локальні і глобальні. *Локальне типове рішення* відноситься до часткової технологічної задачі, яка визначає технологічний елемент (наприклад, модель верстата при призначенні верстата на операцію). *Глобальне типове рішення* охоплює все коло завдань. Прикладом такого

рішення є типовий ТП виготовлення деталей певного типу, який вибраний з множини типових ТП.

З огляду на характер вирішуваних завдань (розрахункові або нерозрахункові), різновиди типових рішень (локальні або глобальні), використовувані рівні уніфікації оброблення, можна виділити наступні методики проектування ТП (рис. 13):

- пряме документування;
- параметричне проектування;
- використання аналогів;
- проектування на основі типізації або уніфікованих ТП;
- синтез.



Рисунок 13 – Схема методів проектування технологічних процесів

Розглянемо особливості наведених методів автоматизованого проектування технологічних процесів.

Метод прямого документування

Цей метод використовує засоби оформлення документації, відбору інформації з БД і надає технологу наступні можливості:

- набору і коригування тексту проєктного документа в спеціалізованому редакторі;
- перегляду і роздруківки даних, копіювання, видалення записів по одному і блоками, нумерації переходів та операцій;
- звернення до довідників, баз даних засобів оснащення, типових текстів, нормативів;
- підключення нових довідкових інформаційних масивів;
- формування архіву та роботи з ним;
- автоматичного формування технологічної документації.

З переліку виконуваних функцій зрозуміло, що рівень автоматизації дуже низький, а проєктування – трудомісткий процес. При цьому методі не потрібен спеціальний опис інформації про деталі. Технолог працює з кресленням деталі, як і у разі ручного проєктування, і всі рішення приймає сам. Даним методом можна отримати ТП на будь-яку деталь.

Параметричний метод

Сутність параметричного методу полягає в поділі функцій між ЕОМ і людиною. Технологічне проєктування в цьому випадку складається з двох етапів.

Перший етап – безмашинне проєктування ТП. На цьому етапі вручну вирішуються такі складноформалізовані творчі за характером завдання:

- формування структури ТП (технологічного маршруту і послідовності переходів в операціях);
- вибір моделі обладнання та методів оброблення;
- вибір технологічних баз, схем установки і типів пристроїв;

- встановлення розмірної структури ТП і технічних вимог на розташування поверхонь.

Другий етап – автоматизоване проєктування параметрів ТП і окремих операцій. Він починається з введення в ЕОМ інформації про деталь (найменування, матеріал, фізико-механчні характеристики, покриття тощо), структуру ТП (номер, найменування операцій, переходів), розмірну структуру. Потім в автоматичному режимі вирішуються наступні завдання проєктування:

- розрахунок припусків на обробку, операційних розмірів і допусків на них;
- вибір засобів технологічного оснащення (різального, допоміжного та вимірювального інструментів);
- розрахунок режимів різання та норм часу;
- формування документації;
- формування інформації для АСКП.

САПР ТП розглянутого типу легко адаптуються до виробничих умов, вимагають введення невеликого обсягу вихідних даних і легко сприймаються технологами. З їх допомогою можна проєктувати ТП для широкої номенклатури деталей, включаючи і складні. Проте ефективність рішень в таких системах багато в чому залежить від кваліфікації та досвіду технолога.

Як і в випадку прямого документування, тут не потрібен спеціальний опис інформації про деталі. Дані про деталі і заготованку, які необхідні для виконання розрахунків, вводяться за запитом системи в діалоговому режимі.

Системи параметричного проєктування є АС низького рівня.

Метод використання аналогів

В основу методу використання аналогів покладено принцип запозичення раніше прийнятих технологічних рішень. В процесі експлуатації системи проєктування накопичуються типові, групові та одиничні технології,

уніфіковані операції, плани оброблення конструктивних елементів і поверхонь. При формуванні поточної технології користувачеві надано доступ до відповідних архівів та бібліотек, що зберігають накопичені рішення. Схема автоматизованого отримання ТП в цьому випадку буде наступна:

деталь → деталь-аналог → процес на деталь-аналог → процес на деталь.

Для знаходження деталі-аналога необхідні аналіз креслення деталі і визначення класу, групи деталі за конструктивними і технологічними ознаками. Вибір деталі-аналога і ТП на цю деталь виконується за сформованим кодом або текстовим описом деталі. ТП на деталь-аналог піддається перетворенню на основі інформаційної моделі поточної деталі: структура ТП перетворюється шляхом виключення зайвих структурних елементів ТП (операцій, переходів) або внесення необхідних елементів, якщо в ТП деталі-аналога такі елементи структури відсутні. Всі ці дії виконуються за методикою прямого документування. Метод аналога частіше застосовується при проєктуванні ТП для деталей типових форм, що відрізняються тільки розмірами (наприклад, одновінцеві зубчасті колеса, вали-шестерні).

Метод вимагає введення інформації про деталі на рівні конструкторсько-технологічного коду. Рівень автоматизації низький, підвищується продуктивність праці технолога, скорочуються терміни і трудомісткість технологічної підготовки виробництва.

Метод проєктування на основі типізації

Метод проєктування на основі типізації та метод використання аналогів називають також методом аналізу, або адресації. Після введення опису деталі знаходиться тп на аналогічну деталь або уніфікований ТП на комплексну деталь.

Комплексна деталь – це абстрактна деталь, що включає всі поверхні деталей, що входять в групу подібних деталей. Далі для формування індивідуального ТП необхідно організувати другу процедуру – аналіз і

доопрацювання знайденого аналогічного або уніфікованого ТП на комплексну деталь відповідно до креслення поточної деталі. У методі типізації використовуються всі три рівня уніфікації оброблення, і метод втілює ідею «від загального до конкретного».

Проектування на основі уніфікованих ТП є основним методом проектування ТП при експлуатації гнучких виробничих систем. Застосування цього методу дає найбільший ефект при наявності на виробництві групових і типових ТП, тому що метод не порушує існуючої спеціалізації виробничих підрозділів, спрощує процес проектування САПР, не вимагає складно формалізованих процедур синтезу нових структур.

Метод синтезу

Цей метод використовується для оригінальних деталей. Його не можна зарахувати до методів, які значно скорочують трудомісткість проектування, але в той же час його використання виправдане у випадках виготовлення унікальних для даного виробництва деталей. Базу методу складають локальні типові рішення. Технологічний процес в цілому формується (синтезується) з рішень часткових завдань, що визначають елементи ТП. Часткові завдання вирішуються по-різному: в діалозі (автоматизоване проектування) або за алгоритмами з бази знань експертної системи. Цей поділ визначається рівнем участі людини при ухваленні рішення в процесі проектування.

При діалоговому проектуванні технолог всі головні рішення (про структуру і параметри ТП, операцій, переходів, про обладнання та оснащення) приймає самостійно, а ЕОМ надає йому методичну, організаційну та інформаційну допомогу.

Метод прямого документування, параметричний і, як видно уже з назви, синтез ТП відносяться до групи методів проектування синтезом. У цих випадках ТП створюється, складається, синтезується з типових рішень або з використанням, або без використання баз знань.

РОЗДІЛ 4.

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАВДАНЬ

4.1. Автоматизація визначення технологічності виробів

Розробка нового виробу – складна конструкторська задача [16], яка пов'язана не тільки з досягненням необхідного технічного рівня цього виробу, але і з наданням його конструкції таких властивостей, які дозволяють максимально знизити витрати праці, матеріалів, енергії на його розроблення, виготовлення, технічне обслуговування і ремонт, тобто із забезпеченням його технологічності.

Використання CAD/CAM/CAE-систем відкриває можливості на новому рівні вирішити задачу відпрацювання конструкцій виробів на технологічність конструктивних форм, забезпечити формалізоване представлення технологічних рекомендацій, знизити суб'єктивність якісної оцінки шляхом документування колективних знань і досвіду.

Одним з основних етапів конструкторсько-технологічного підготовки виробництва є відпрацювання виробу на технологічність (оцінка технологічності виробу).

Технологічність конструкції виробу (ТКВ) – це сукупність властивостей конструкції виробу, які забезпечують досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску і умов виконання робіт.

Забезпечення ТКВ є функцією підготовки виробництва, яка передбачає взаємозалежне рішення конструкторських і технологічних задач, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних трудових і матеріальних витрат і скорочення часу на виробництво, в тому числі і монтаж поза підприємства-виробника, технічне обслуговування і ремонт виробу.

За областю прояву розрізняють такі види ТКВ: **виробничу, експлуатаційну та ремонтну.**

Виробнича технологічність характеризує пристосованість виробу до скорочення витрат ресурсів, часу на підготовку виробництва, виготовлення та монтаж виробу поза підприємством-виробником.

Експлуатаційна технологічність проявляється в мінімізації витрат на технічне обслуговування, поточний ремонт, зберігання і транспортування, а також діагностування та утилізацію.

Ремонтна технологічність проявляється в скороченні витрат на заміну елементів, відновлення і монтаж-демонтаж виробу.

Залежно від об'єкта проєктування можна виділити технологічність **конструкції деталі, складального з'єднання і складальної одиниці.**

Технологічність конструкції деталі повинна задовольняти загальним вимогам, що пред'являються до виробу, до складу якого вона входить, і частковим вимогам, які пов'язані безпосередньо з її технологічністю. Так, конструкцію деталі слід відпрацьовувати на технологічність комплексно, враховуючи залежності від технологічності вихідної заготовки деталі, від кожного виду оброблення в технологічному процесі виготовлення, від технологічності складальної одиниці, у яку ця деталь входить як складова частина.

При визначенні найбільш **технологічного з'єднання** слід враховувати витрати праці, матеріалів і енергії на утворення з'єднання конструктивних елементів і можливість використання тих видів з'єднань, які раніше прийняті і освоєні в даних виробничих умовах, забезпечені сучасними засобами технологічного оснащення та мають достатні техніко-експлуатаційні характеристики.

Конструкція складальної одиниці повинна задовольняти вимогам виготовлення, експлуатації та ремонту найбільш продуктивними і економічними способами при заданих умовах виробництва, експлуатації та ремонту. Технологічність конструкції складальної одиниці розглядається

щодо всього виробу і його складових частин з урахуванням умов складання, випробування, монтажу поза підприємства-виробником, технічного обслуговування і ремонту.

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність здійснює безпосередній вплив на її технічну сутність шляхом надання конструкції комплексу властивостей, які забезпечують її технологічну раціональність і наступність. Наслідком цього впливу є зміна трудомісткості, матеріаломісткості, енергоємності та інших можливих видів ресурсоемності виробу (див. рис. 14).

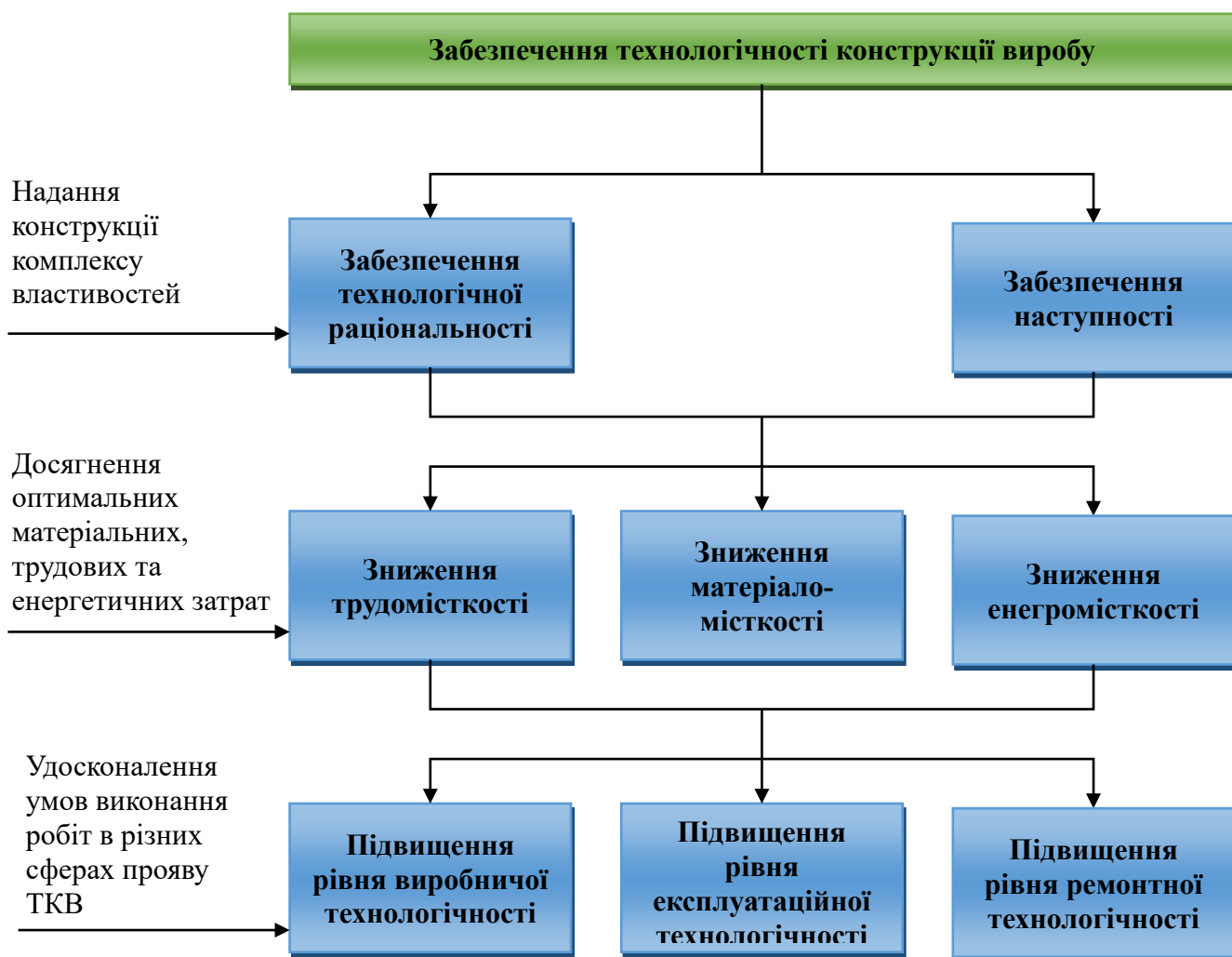


Рисунок 14 – Схема зв'язків робіт з забезпечення ТКВ

Забезпечення ТКВ є складовою частиною робіт з проектування та прийняття рішень щодо вдосконалення конструкції виробу, технології його виробництва, експлуатації та ремонту. У формалізованому вигляді процес забезпечення ТКВ можна представити як вплив на множину параметрів конструкції $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, який призводить до досягнення екстремальної мети при дотриманні сформульованих обмежень виду $g_i(X) = 0$ та $h_j(X) \geq 0$.

$$Q(X) \rightarrow \max(\min),$$
$$S: \begin{cases} g_i(X) = 0, & i = \underline{1, I}; \\ h_j(X) \geq 0, & j = \underline{1, J}, \end{cases}$$

де Q , g , h – функції, які визначаються виходячи з конструктивних особливостей виробу і різноманітних виробничих, експлуатаційних і ремонтних факторів, що впливають на ТКВ.

Обмеження визначаються з урахуванням прийнятих на підприємстві або галузі граничних норм і вимог до числових характеристик ТКВ, які встановлені в стандартах або інших документах.

Досягнення екстремальної мети пов'язано з вирішенням основних задач:

- прогнозування, встановлення і застосування базових показників ТКВ для даного виду виробів (кількісна оцінка ТКВ);
- відпрацювання конструкції на технологічність при технічній підготовці виробництва;
- вдосконалення умов виконання робіт при виробництві, експлуатації та ремонті;
- якісна оцінка ТКВ;
- технологічний контроль конструкторської документації;
- підготовка і внесення в конструкторську документацію змін, що забезпечують досягнення базових показників ТКВ, відповідно до результатів технологічного контролю.

Найбільша ефективність відпрацювання конструкції виробу на технологічність може бути досягнута на стадіях розроблення проєктної конструкторської документації, тому що найважливіше значення для технологічності проєктованого виробу мають конструктивні рішення, що приймаються на стадіях розробки технічної пропозиції, ескізного і технічного проєктів.

Технологічні фактори повинні враховуватися безпосередньо в процесі розробки проєкту, починаючи з перших стадій – складання завдання на проєктування, де поряд з технічними параметрами має бути зазначено:

- число необхідних виробів і намічений для них тип виробництва;
- технічна характеристика обладнання підприємства, на якому планується організувати виробництво нових виробів;
- вимоги до конструктивної наступності нового виробу з наявними на виробництві.

При цьому оцінка ТКВ ускладнюється тим, що кожен виріб має розглядатися як об'єкт проєктування, виробництва і експлуатації. Потреба в оцінюванні виникає тоді, коли необхідно вибрати з декількох можливих варіантів найкращий, або переконатися, що намічене рішення є прийнятним, або розглянути кілька "конкуруючих" проєкти виробів одного призначення.

Оцінка ТКВ – комплекс взаємопов'язаних заходів, що включають послідовне виявлення ТКВ в цілому або окремих розглянутих її властивостей, зіставлення виявлених властивостей даного виробу з властивостями виробу, конструкція якого прийнята в якості бази для порівняння, і представлення результатів зіставлення в формі, яка прийнятна для прийняття управлінських рішень зі вдосконалення конструкції розроблюваного виробу. Розрізняють два види оцінки ТКВ: *якісна* і *кількісна*.

Під *якісною оцінкою ТКВ* розуміється оцінка відповідності конструктивних рішень, які приймаються (або прийнятих) при проєктуванні виробу і його складових частин (складальних одиниць, деталей) вимогам

оптимальних ТП виготовлення, технічного обслуговування і ремонту. Вимоги забезпечення високого рівня технологічності даної конструкції може бути виконано за умови, якщо прийнятий варіант конструктивного рішення з ряду технічно можливих рішень дозволяє застосовувати прогресивну технологію виробництва, технічного обслуговування і ремонту. Якісна оцінка технологічності дозволяє провести такий аналіз і вибрати з усіх можливих варіантів оптимальний за даним критерієм.

Даний вид оцінки характеризує технологічність конструкції узагальнено на підставі досвіду виконавця. Якісна порівняльна оцінка варіантів конструкції допустима на всіх стадіях проектування, коли вибирається краще конструктивне рішення і не потрібне визначення ступеня відмінності технологічності порівнюваних варіантів.

В результаті якісної оцінки відбираються ті варіанти, які в більшій мірі відповідають технологічним вимогам. Так, при оцінці виробничої технологічності до нетехнологічних будуть віднесені конструкції, виготовлення яких відомими засобами або неможливо, або викликає значні, не виправдані ускладнення технологічних операцій і збільшення трудомісткості, наприклад, вироби з глибокими і вузькими внутрішніми виточками, з дуже вузькими пазами в деталях, які виготовлені холодним штампуванням. Технологічною вважають таку конструкцію, яка по формоутворенню, застосовуваним матеріалам і технології оброблення та складання забезпечує найбільш просте і економічне виготовлення за умови виконання нею заданих функцій.

Для визначення рівня технологічності деталей в результаті якісної оцінки при описі конструктивних і технологічних ознак виробу застосовуються шкали інтенсивності цих ознак.

При цьому технологічність конструкцій деталей оцінюється на основі порівняння їх конструкцій з "ідеальною" деталлю, тобто такою деталлю, конструкція якої відповідає всім вимогам технологічності відповідно до конкретних умов виготовлення.

Мета *кількісної оцінки технологічності* розроблювальної конструкції виробу – забезпечення ефективного відпрацювання виробу на технологічність при зниженні витрат часу і коштів на його розробку, ТПВ, виготовлення, експлуатацію та ремонт. Кількісна оцінка ТКВ заснована на інженерно-розрахункових методах і проводиться за конструктивно-технологічними ознаками, які істотно впливають на виконання основних вимог до неї. **Інженерно-розрахунковий метод оцінки ТКВ** – сукупність прийомів, за допомогою яких розробник конструкції визначає і порівнює розрахунковим шляхом числові значення показника технологічності конструкції проєктованого виробу та відповідного показника конструкції виробу, прийнятого в якості бази для порівняння.

Така система показників, включає:

- базові (вихідні) значення показників технологічності, які є граничними нормативами технологічності, обов'язковими для виконання при розробці виробу;
- значення показників технологічності, які досягнуто при розробці виробу;
- показники рівня технологічності конструкції розроблюваного виробу.

Цільова функція управління процесом розробки виробу за заданими показниками ТКВ може бути представлена у формалізованому вигляді

$$Y(Q, Q_B) \rightarrow \max(\min),$$

де Q, Q_B – значення відповідно досягнутого і базового показників ТКВ;

S – область допустимої зміни показника ТКВ.

Кількісна оцінка ТКВ може проводитися за планованими показниками, коли виріб розробляється за самостійним технічним завданням, яким встановлено базові показники ТКВ, і за неплановими показниками – при

виникненні альтернативи ТКВ для вибору кращого конструктивного рішення з ряду рівноцінних щодо запропонованих властивостей.

Необхідність кількісної оцінки ТКВ, а також номенклатура показників і методика їх визначення встановлюються в залежності від виду виробів, типу виробництва та стадії розробки конструкторської документації галузевими стандартами і стандартами підприємства. При цьому кількість показників має бути мінімальною, але достатньою для оцінки технологічності.

Рекомендується 11 показників ТКВ:

- 1) трудомісткість виготовлення виробу;
- 2) питома матеріаломісткість (питома металоємність, питома енергоємність тощо);
- 3) технологічна собівартість виробу;
- 4) середня оперативна трудомісткість технічного обслуговування (ремонту) даного виду;
- 5) середня оперативна вартість технічного обслуговування та/або ремонту даного виду;
- 6) середня оперативна тривалість технічного обслуговування та/або ремонту даного виду;
- 7) питома трудомісткість виготовлення виробу;
- 8) трудомісткість монтажу;
- 9) коефіцієнт застосовності матеріалу;
- 10) коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів;
- 11) коефіцієнт складаності.

Визначення чисельних значень показників на стадіях дослідного і серійного виробництва виробу не викликає особливих труднощів, так як для розрахунку є вся необхідна інформація: конструкторська і технологічна документація, відомості норм витрати матеріалів тощо.

Оцінка показників технологічності на ранніх стадіях проектування, так як саме на них приймаються конструктивні рішення, багато в чому має велике

значення, які визначають технологічність розроблюваної конструкції. Особливо це відноситься до таких показників ТКВ, як трудомісткість, матеріаломісткість, які прямо визначають витрати на виробництво виробу.

Якісна і кількісна оцінки ТКВ є нерозривними частинами загального процесу відпрацювання конструкцій виробів на технологічність, що взаємодоповнюють один одного. Застосування різних оцінок конструкції на етапах проєктування дозволяє забезпечити в кінцевому підсумку високий рівень технологічності виробу.

На сьогодні розвиток обчислювальної техніки, нових інформаційних технологій, широке застосування у виробничій практиці інтегрованих систем автоматизованого проєктування дозволило спростити і автоматизувати рішення багатьох завдань щодо забезпечення ТКВ, переглянути і поставити на якісно новий рівень організаційні питання забезпечення ТКВ.

4.2. Формалізація і автоматизація завдань забезпечення технологічності конструкцій виробів

При автоматизованому вирішенні задач забезпечення ТКВ застосовується математичне моделювання.

Об'єктами моделювання, як правило, є:

- конструкція виробу;
- процеси конструювання, ТПВ, експлуатації та ремонту виробу;
- системи конструкторсько-технологічного підготовки виробництва, експлуатації та ремонту виробу.

При цьому вирішуються такі основні завдання:

- аналіз можливостей виробничої системи, систем експлуатації і ремонту;
- розрахунок показників технологічності виробу;

- розробка вимог до конструкції виробу з метою поліпшення його технологічності;
- розробка рекомендацій про зміст і порядок вдосконалення виробничої системи, систем експлуатації і ремонту.

В даний час найбільш формалізованим і автоматизованим завданням в галузі дослідження технологічності конструкцій є кількісна оцінка ТКВ.

Для кількісної оцінки ТКВ використовується дослідно статистичне оброблення даних методом кореляційно-регресійного аналізу та побудова математичних моделей, що відтворюють взаємозв'язок основних показників технологічності (трудомісткості та собівартості) з конструктивними і технологічними факторами. Регресійні моделі застосовуються при досить великій кількості об'єктів вивчення, інтерполяційні емпіричні формули – при малому числі реалізацій. Використання таких легкоформалізованих моделей на стадії проєктування дозволяє з певним ступенем точності оцінювати трудомісткість (собівартість) виробів і, отже, оцінювати рівень технологічності виробів за цим показником. Неминуче те, що на ранніх стадіях проєктування оцінка досягнутих показників технологічності в більшості випадків носить лише характер прогнозування.

Для автоматизації вирішення задач відпрацювання виробів на технологічність розроблено велику кількість автоматизованих систем, в яких вирішуються такі завдання, як контроль властивостей поверхонь, виявлення невідповідності точності і шорсткості поверхонь, контроль розмірних зв'язків, виявлення відсутності розмірів і наявності замкнутих ділянок, виявлення суперечливих вимог по точності у взаємопов'язаних розмірних ланцюгах.

РОЗДІЛ 5.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ МАРШРУТНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Автоматизація проєктування маршрутних технологічних процесів є одним із складних і складноформалізованих завдань ТПВ. Велика кількість конструктивних форм деталей і технічних вимог до них, а також можливість використання різних методів оброблення одних і тих же елементів заготовки на різних видах технологічного обладнання призводить до багатоваріантності рішень.

Вихідними даними для автоматизації проєктування маршрутних ТП є інформаційна модель деталі. Основним джерелом інформації про деталі є її креслення, представлене у графічному електронному вигляді. Інформаційна модель повинна включати загальні відомості про деталь, її характеристики, перелік елементів конструкції (поверхонь), що складають деталь і значень їх параметрів.

В даний час в САПР ТП використовуються різні за рівнем автоматизації методи проєктування маршрутних ТП – від ручного, що використовує оперативний набір інформації на комп'ютері із застосуванням різних баз даних технологічного призначення (всі рішення приймає технолог), до повністю автоматичного проєктування.

Серед цих методів найбільш часто використовуються три основних:

- 1) метод запозичення технології деталі-аналога (метод адресації);
- 2) метод проєктування уніфікованих (типових і групових) ТП;
- 3) метод синтезу ТП.

5.1. Проектування маршрутного технологічного процесу на основі методу адресації

Метод адресації (аналогів) – це метод, який заснований на використанні групового оброблення деталей і організації групового виробництва [16]. Для цього методу характерна висока типізація рішень, яка досягається при використанні уніфікованих ТП. Різновидом методу адресації є метод, який базується на запозиченні існуючих ТП на основі пошуку деталей-аналогів.

Загальна схема проектування методом адресації може бути представлена у вигляді трьох етапів (рис. 15).

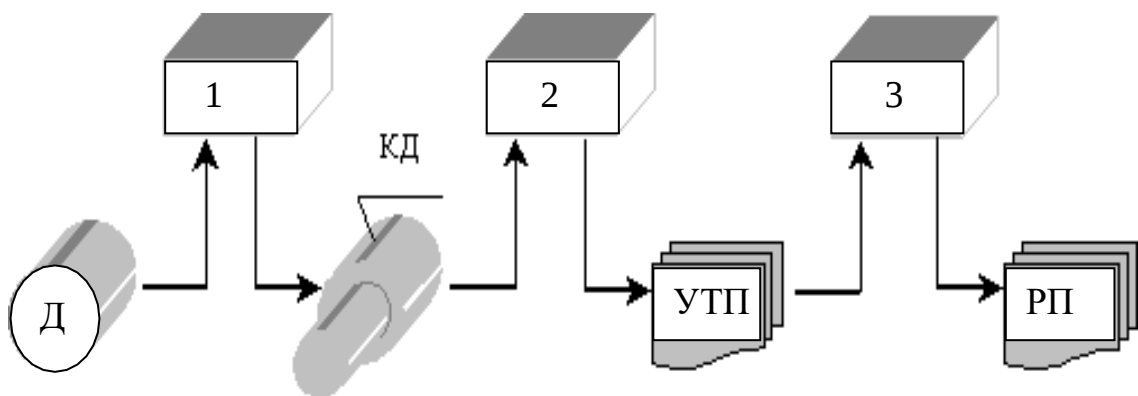


Рисунок 15 – Схема проектування ТП методом адресації:

Д – модель деталі; КД – модель комплексної деталі;

УТП – уніфікований технологічний процес; РП – робочий ТП

Формування маршруту методом адресації:

1-й етап проектування призначений для пошуку (адресації) комплексної деталі. Як видно зі схеми проектування (рис. 15), цей етап можна позначити як Д→КД. В дійсності деталь може адресуватися не до однієї комплексної деталі, а до декількох. Чим простіше задана деталь, тим до більшої кількості комплексних деталей вона буде адресована. Остаточний вибір комплексної

деталі робить технолог в режимі діалогу. Результатом виконання цього етапу є номер обраної комплексної деталі.

2-й етап проєктування КД→УТП призначений для вибору з БД моделі уніфікованого ТП для знайденої комплексної деталі. У моделі КД зазвичай фіксується номер того УТП, за допомогою якого можна обробити цю деталь.

3-й етап проєктування УТП→РП призначений для налаштування УТП на оброблення заданої деталі. На цьому етапі модель УТП перетворюється в модель робочого ТП, за яким буде оброблена задана деталь.

Налаштування УТП може бути двох типів:

- 1) структурне;
- 2) параметричне.

Під структурним налаштуванням розуміється коригування структури УТП як на рівні процесу, так і на рівні операцій. Коригування структури УТП на рівні процесу полягає у видаленні операцій, які не потрібні для оброблення заданої деталі. Структурне налаштування на рівні операцій виконується так само. Коригування структури операцій полягає у видаленні окремих переходів зі структури операції.

Параметричне налаштування виконується на рівні операції і на рівні переходу. На рівні переходу уточнюються типорозміри застосовуваного інструменту і розраховуються режими різання, припуски і розміри оброблюваних поверхонь тощо. Після виконання всіх налаштувань буде отримана модель робочого ТП і виданий комплект необхідної технологічної документації.

Пошук комплексної деталі (адресація заданої деталі до комплексної деталі) заснований на розгляді деталі як деякої системи. Отже, деталь може бути охарактеризована своїми загальними характеристиками, складом елементів, з яких вона складається, і структурою, тобто зв'язками між елементами.

Параметрична модель деталі містить загальні характеристики, до яких відносяться код форми деталі за ЄСКД, габарити деталі, марка матеріалу, наявність термооброблення, покриття тощо і характеристики окремих елементів, що утворюють форму. Для фіксації елементів необхідно виконати розбиття конфігурації деталі на конструктивні елементи і зробити їх розмітку. Моделювання комплексної деталі виконується аналогічним чином (рис. 16). У моделі комплексної деталі значення параметрів записуються в деякому інтервалі відповідно до мінімальних і максимальних значень параметра у деталей групи, для якої створюється комплексна деталь. Наприклад, якщо довжина L деталей групи знаходиться в межах від 50 до 80 мм, то спостерігається предикат $(L \geq 50) \& (L \leq 80)$.

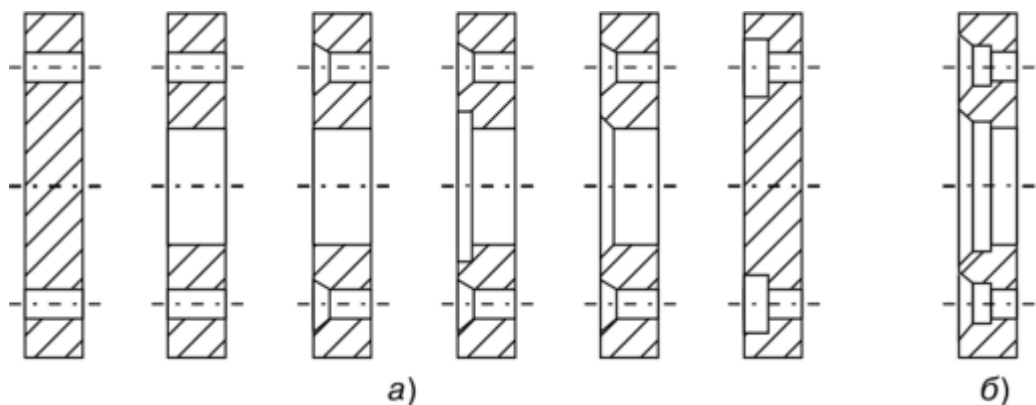


Рисунок 16 – Комплексна деталь:

а) деталі, що належать до групи; б) комплексна деталь

Отримана параметрична модель комплексної деталі (ПМКД) заноситься до БД. Пошук комплексної деталі (адресація деталі до комплексної деталі) виконується за три кроки:

- 1) пошук за загальними характеристиками;
- 2) порівняння за елементами;
- 3) аналіз знайдених КД.

Перший крок. При пошуку за загальними характеристиками виконується послідовне вилучення ПМКД з бази і порівняння із заданою ПМД, при цьому перевіряється істинність предиката

$$V(\& (X_{ij} R_j X_{kj})),$$

де X_{ij} – значення j -ї характеристики i -ї деталі;

R_j – відношення порядку для j -ї характеристики;

X_{kj} – значення j -ї характеристики k -ї комплексної деталі.

Якщо вказаний предикат істинний, то i -а деталь адресувалася до k -го УТП. Якщо адресована деталь не задовольняє вказаному критерію, то звертаються до нової КД.

Результатом адресації на першому етапі є множина МКД – номерів комплексних деталей (НКД), до яких адресувалася задана i -я деталь:

$$\text{МКД} = \{\text{НКД}_m\}; m = 1, m_k,$$

де m_k – число знайдених комплексних деталей.

Основна роль на першому етапі адресації відводиться інформаційно-пошуковій системі технологічного призначення. З її допомогою за вказаним критерієм знаходиться множина МКД. Інформація про НКД поміщається в оперативну пам'ять і використовується на інших етапах адресації.

Другий крок. Порівняння за складом елементів.

Для оцінювання результатів порівняння за складом елементів використовується коефіцієнт адресації K_a (табл. 4):

$$K_a = \begin{cases} \frac{n_c}{n_k}, & \text{якщо } n_n = 0 \\ -\frac{n_c}{n_d}, & \text{якщо } n_n \neq 0 \end{cases}$$

де n_k, n_d – число елементів відповідно у комплексній і адресованій деталях;

n_c – число співпадаючих елементів у деталі і КД;

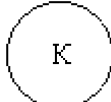
n_n – число не співпадаючих елементів у деталі і КД.

Якщо коефіцієнт адресації позитивний, то всі елементи адресованої деталі збігаються з відповідними елементами комплексної деталі. Повний збіг всіх елементів комплексної деталі з елементами адресованої деталі ($K_a=1$) характерно при адресації до типових технологічних процесів.

Якщо $K_a < 0$, то це означає наявність у деталі елементів, які відсутні КД. Отже, оброблення цих елементів в уніфікованому процесі не передбачена, і деталь не можна обробити. При $K_a > 0$ результати адресації за складом елементів вважаються позитивними. Оброблення простих деталей за складними уніфікованими процесами є невигідною, тому що більшість операцій не буде використано. Тому при оцінці результатів адресації перевагу потрібно віддати тим УТП, для яких коефіцієнт адресації найбільший.

Таблиця 4.

Схема вибору значень коефіцієнта адресації

Графічна ілюстрація	Значення коефіцієнту	Примітка
	$K_a = 1$	Повне співпадіння елементів: $n_d = n_k; n_n = 0$
	$0 < K_a < 1$	У деталі елементів менше, ніж у КД: $n_d < n_k; n_n = 0$
	$K_a = 0$	Деталь відсутня
	$-1 < K_a < 0$	Часткове співпадіння складу елементів $n_n > 0; n_c > 0$
	$K_a = -1$	Полное не співпадіння складу елементів $n_n > 0; n_c = 0$

Елементи деталі і КД порівнюються наступним чином: для кожного елемента КД визначаються його характеристики у вигляді граничних значень розмірів, їх точностей, а також шорсткостей поверхонь елемента. При адресації за елементами елемент вважається таким, що збігається з елементом комплексної деталі, якщо всі його характеристики виявилися в межах, заданих у елемента КД. Адресація за елементами проводиться для кожної знайденої КД. Нумери відібраних КД зберігаються в множині МКД. В результаті адресації за елементами з цієї множини будуть видалені ті номери комплексних деталей, для яких коефіцієнт адресації виявився негативним.

Третій крок. Аналіз знайдених КД ведеться в наступному порядку. З множини МКД послідовно відбираються номери КД в порядку зменшення коефіцієнта K_a . Для них з БД вибираються ескізи КД і проглядаються на екрані дисплея. Технолог визначає, яка КД найбільшою мірою підходить для заданої деталі. Номер відібраної комплексної деталі запам'ятовується. На цьому пошук КД закінчується.

Вибір з БД моделі УТП. У моделі КД зазвичай фіксується номер того УТП, за допомогою якого можна обробити цю деталь. За цим номером виконується звернення до БД і параметрична модель УТП записується в оперативну БД. Модель, що зберігається в оперативній базі, умовно вважається параметричною моделлю робочого технологічного процесу (ПМРТП), так як вона ще не піддана структурному і параметричному налаштуванню на обробку заданої деталі.

Отримання маршрутної технології. Отримання параметричної моделі робочого ТП для заданої деталі виконується шляхом параметричного налаштування ПМУТП. Так як проєктується структура на рівні процесу, то параметричне налаштування ПМУТП полягає у видаленні операцій, які не потрібні для оброблення заданої деталі.

В уніфікованому процесі можна виділити обов'язкові операції (операції, які не можна видаляти) і необов'язкові операції (операції, які можна видаляти). За групою сформованих множин параметричної моделі КД закріплюють

номера необов'язкових уніфікованих операцій (УО), які функціонально пов'язані з даною множиною і виконання яких залежить від цієї множини. Так, за множиною "Гальванічне покриття" закріплюють номер необов'язкової уніфікованої гальванічної операції. Ця операція повинна виконуватися лише в тому випадку, якщо у заданій деталі є гальванічне покриття. Те ж саме можна сказати і про множини "Елементи". У ПМКД за кожним конструктивним елементом закріплюють номери тих операцій, які потрібні для оброблення цього елемента. Нехай за елементом "Відкритий циліндр" закріплені УО "Токарна", "Шліфувальна", "Полірувальна". Якщо у заданій деталі є цей елемент, то УО "Токарна" повинна виконуватися, однак уніфіковані операції "Шліфувальна" і "Полірувальна" необхідно виконувати, тільки якщо точність діаметра та якість циліндричної поверхні вимагають виконання цих операцій. В даному випадку для елемента, що розглядається в ПМКД вводять додаткові умови для вибору УО "Шліфувальна", "Полірувальна".

Структурне налаштування виконується в наступному порядку. Виходячи зі спільного оброблення параметричних моделей деталі і КД з ПМКД, виділяють номери обов'язкових операцій, які необхідні для оброблення заданої деталі, і заносять в масив виконуваних операцій (МВО). З умовного робочого процесу, параметрична модель якого знаходиться в поточній базі даних, видаляють ті необов'язкові операції, які не входять в масив виконуваних операцій. Таким чином, отримують маршрут оброблення деталі.

Після отримання маршруту виконується *параметричне налаштування уніфікованих операцій*. Якщо необхідно отримати лише маршрутну технологію, то параметричне налаштування операцій полягає лише в перевірці пристосувань, які закріплені за ними. Якщо необхідно спроектувати маршрутно-операційну технологію, то далі виконується структурне налаштування операцій.

5.2. Автоматизація проєктування маршрутного технологічного процесу на основі використання типових рішень

Різноманіття геометричних форм заготовок і готових деталей значно ускладнює формалізацію і подальшу автоматизацію технологічного проєктування [16]. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є класифікація (групування) деталей за геометричними і технологічними ознаками, на основі якої можуть бути реалізовані стандартні або типові методи вирішення технологічних задач.

Розробка САПР ТП на основі типізації виконується в наступному порядку [12]:

- 1) Основною частиною методу є проблемно-орієнтована система класифікації і групування деталей.
- 2) Для кожної групи деталей створюється комплексний представник (комплексна деталь). При цьому за основу приймається креслення деталі, що має найбільшу кількість поверхонь, до якого додаються поверхні інших деталей групи.
- 3) Після розробки креслення комплексної деталі складається уніфікований ТП для її оброблення. Відповідно до конфігурації комплексної деталі визначається послідовність операцій – уніфікований маршрут.
- 4) Формування індивідуальних технологічних маршрутів шляхом виділення їх із узагальнених маршрутів.

Групування деталей і його автоматизація

При використанні методу на основі використання типових рішень необхідно виявити конструктивні і технологічні особливості об'єкта виробництва, визначити його приналежність до відповідної групи об'єктів і тим самим підібрати ефективні методи отримання ТП виготовлення виробу.

Це показує, що одним з первинних завдань, що визначають можливості використання даного методу, є попереднє групування деталей.

Таке групування має проводитися з урахуванням максимального числа найбільш істотних ознак, які описують конструктивно-технологічні об'єкти. В якості класифікаційних ознак для деталей прийняті наступні характеристики:

- геометрична форма деталі;
- конструктивна характеристика окремих елементів деталі;
- взаємне розташування елементів деталі;
- параметрична ознака;
- найменування деталі та її функція.

Геометрична форма деталі є найбільш об'єктивною і стабільною ознакою при її описі. Вона характеризує безпосередньо деталь незалежно від її функції. Важливим показником при вирішенні технологічних завдань є параметрична ознака. Так, при поділі деталей «тіла обертання» в залежності від відношення довжини L до діаметру D виділяються «довгі» (вали, осі, стрижні), «середні» (втулки, циліндри) і «короткі» (диски, кільця, фланці тощо) деталі. В більшості випадків групування проводиться або вручну шляхом візуального аналізу геометричної форми деталей, або по деталям певного класу, наприклад «тіла обертання» тощо. Такі підходи малоефективні в умовах поповнення номенклатури виготовлених деталей.

Метою групування конструктивно-технологічних об'єктів є розробка єдиного уніфікованого технологічного процесу для об'єктів різних типів.

Вирішити задачу автоматизованого групування конструктивно-технологічних об'єктів і відповідно для кожної групи сформувати комплексну деталь дозволяють нові інформаційні технології, засновані на використанні генетичних алгоритмів і нейронних мереж (НС).

Формування узагальненого ТП

Рівень типізації ТП з широкою уніфікацією конструкцій деталей багато в чому визначає трудомісткість ТПВ.

Типовий процес повинен бути раціональним в конкретних виробничих умовах, характеризуватися єдністю змісту і послідовністю технологічних операцій для конкретної обраної групи деталей. Основним етапом ТП є розробка маршрутів оброблення деталей.

При розгляді процесу проєктування як комплексного найбільш важливою і трудомісткою його частиною є формування маршруту оброблення. Від правильного, обґрунтованого вибору оптимального маршруту і методів оброблення залежить якість виробу й економічна ефективність. Особливо це проявляється при виготовленні складних деталей з важкооброблюваних матеріалів.

Формування узагальненого маршруту починається з маршруту M_0 , який приймається за базовий. У нього послідовно заносяться операції маршрутів M_j , які додаються. Отриманий маршрут це перелік операцій, кожна з яких має свою логічну умову її включення в індивідуальний маршрут. Ця умова одночасно є і логічною функцією вибору операції з узагальненого маршруту. В загальному вигляді функція вибору k -ї операції має наступний вид:

$$F_k = \bigvee_{j=1}^{n_2} \left(\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i \right) j,$$

де A_i – умови для групи деталей;

n_1 – число умов, пов'язаних кон'юнкцією (і);

n_2 – число умов, пов'язаних диз'юнкцією (або).

Наприклад:

$F = OM == \text{ливарна сталь I припуск} > 4 \text{ АБО } OM == \text{чавун I припуск} > 5,$

де ОМ – оброблюваний матеріал, == - знак порівняння, = - знак присвоєння.

Параметр F може прийняти значення «так» або «ні», в залежності від цього операція або перехід може включатися чи ні в конкретний ТП.

Таким чином, логічна функція є сукупністю наборів можливих операцій, з'єднаних між собою логічною сумою. Один або кілька таких наборів можуть бути включені в логічну функцію. Однак тільки один з множини наборів однозначно дозволяє вибрати операцію для індивідуального маршруту та вказати в ньому відповідне їй місце. Операція може входити в індивідуальний технологічний маршрут для деталей класу (групи), якщо $F_k=1$.

В умовах практичного використання автоматизованого проектування технологічних маршрутів необхідно виявити можливість поєднань конструктивно-технологічних умов для певного класу (групи) деталей. Аналіз показав, що, наприклад, для ступінчастих валів, вилок, дисків, корпусів коробчатого типу і інших деталей число таких поєднань обмежена. З підвищенням рівня типізації технологічних процесів і уніфікації виробів число поєднань буде зменшуватися, а це, в свою чергу, спрощує синтез технологічних маршрутів.

Необхідною умовою включення індивідуального маршруту в узагальнений є наявність області перетину маршрутів M_i і M_j як не порожньої множини

$$M_i \cap M_j \neq 0.$$

Важливою характеристикою формування узагальненого маршруту є потужність перетину $M_{пер}$ множин операцій індивідуальних ТП

$$M_{пер} = \cap_{i=1} M_i$$

Чим вище потужність перетину, тим менше потужність узагальненого маршруту, тим більш типізовані групи або підкласи деталей, на які розробляється узагальнений технологічний процес.

При розгляді процесу проектування як комплексного найбільш важливою і трудомісткою його частиною є формування маршруту оброблення. Від правильного, обґрунтованого вибору оптимального маршруту і методів оброблення залежить якість виробу й економічна ефективність. Особливо це проявляється при виготовленні складних деталей з важкооброблюваних матеріалів.

Формування індивідуальних технологічних маршрутів здійснюється шляхом їх виділення з узагальненого маршруту. Вихідними даними для цієї процедури є характерні атрибути деталі – геометричні характеристики, характеристики точності, якість поверхневого шару.

Аналіз принципів формування ТП показує, що маршрути оброблення формуються на основі табличної або мережевої моделі представлення, де кожному набору умов відповідає єдиний варіант проєктованого ТП і його елементів або ряд типових рішень.

З точки зору розробки типових ТП представляється можливим об'єднання кількох підкласів. Так, при створенні САПР ТП для деталей "тіла обертання" можуть бути виділені три типові групи, які об'єднують в середньому до 67% всіх деталей, виготовлених в загальних галузях машинобудування.

При цьому вони розподіляються наступним чином:

- вали, осі, стрержні і вал-шестерні - 16,5%;
- диски, колеса, кільця, зубчасті колеса - 26,5%;
- втулки, циліндри - 24%.

Наведені співвідношення типів деталей в загальній номенклатурі залежать значною мірою від галузевого характеру виробництва. Для різних підприємств навіть однієї галузі вони можуть істотно відрізнятися. Тому при виборі груп деталей для першочергової розробки САПР ТП необхідно ґрунтуватися на аналізі умов виробництва конкретного підприємства.

Далі розглянемо загальні принципи побудови САПР ТП для розробки типових технологічних процесів на прикладі груп деталей «вали, осі, стержні, вал-шестерні» та інших деталей типу «Тіла обертання» з $L > 2D$.

Побудова узагальненого маршрутного ТП деталей типу «Вали»

Типізація технологічного проєктування передбачає створення для певної групи виробів із загальними конструктивними і технологічними ознаками певних схем, які характеризуються єдністю змісту і послідовності більшості технологічних операцій та переходів. Типовий ТП враховує спосіб отримання заготовки, методи механічного і термічного оброблення, їх послідовність, вибір обладнання тощо.

Важливим завданням є розробка узагальненого маршрутного опису ТП (узагальненого маршруту), що включає все різноманіття технологічних операцій для виготовлення деталей розглянутого класу. Ці операції, їх називають узагальненими, характеризуються єдиними алгоритмами проєктування і вводяться в якості можливих готових варіантів рішень. Узагальнені операції розробляються при створенні САПР ТП з метою спрощення алгоритмів і скорочення числа вирішуваних завдань при проєктуванні.

Узагальнений маршрут виходить в результаті об'єднання кількох маршрутів оброблення деталей, що входять у розглянутий клас. Чим більше використано часткових маршрутів оброблення, тим повнішим є узагальнений маршрут і тим ефективніше ведеться автоматизоване проєктування типового технологічного маршруту на конкретну деталь.

Розглянемо приклад формування узагальненого маршруту виготовлення трьох ступінчастих валів (рис. 17). Технологічні маршрути виготовлення позначимо $M1$, $M2$, $M3$, тоді операції, що входять в ці маршрути, відповідно позначаються $O1j$, $O2j$, $O3j$.

Нехай всі три деталі мають довжину в діапазоні 150-500 мм, точність основних робочих поверхонь – 7-8-ий квалітет, а шорсткість – до

$Ra = 0,32$ мкм. Крім того, для деталі по заданій твердості однієї з робочих поверхонь потрібне термічне оброблення – гартування.

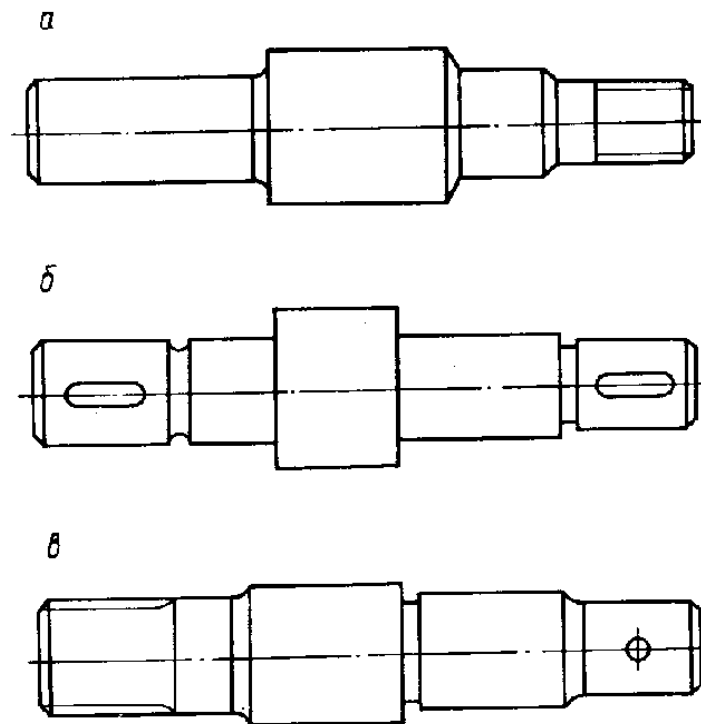


Рисунок 17 – Деталі підкласу «ступінчасті вали»

Зауважимо, що в розглянутих маршрутах є операції O_{ij} , однакові за призначенням і змістом. Такими операціями є фрезерно-центрувальна $O11$, $O21$, $O31$, токарна чорнова $O12$, $O22$, $O32$ тощо (табл. 5). В той же час деякі операції притаманні тільки певним деталям: для вала рис. 17, а – це операція різьбонарізна $O14$; для валу рис. 172, б – операція фрезерування пазів $O24$; для вала рис.17, в – операції фрезерування шліців $O34$ і сверлильна $O35$.

Для зручності формування узагальненого маршруту доцільно аналізовані ТП представити у вигляді схеми, в якій однакові за призначенням і змістом операції розташовуються на одному рівні. Потім один з маршрутів, наприклад $M1$, приймається за базовий і доповнюється операціями, відсутніми в цьому маршруті (табл. 5). Так, при об'єднанні маршрутів $M1$ і $M2$ додатково до базового маршрут $M1$ вводиться операція $O24$. Потім цей маршрут доповнюється відмінними операціями, які характерні для третьої деталі, і

виходить узагальнений маршрут для трьох валів. У підсумку з урахуванням умов серійності виробництва для розглянутих деталей може бути сформований наступний узагальнений маршрут (табл. 5).

Таблиця 5

Схема формування узагальненого маршруту оброблення

№ п/п	Найменування операцій	Коди операцій М1,М2,М3 і узагальненого маршруту
1	Фрезерно-центрувальна	(O11, O21, O31) — O11
2	Токарна чорнова	(O12, O22, O32) — O12
3	Чистова	(O13, O23, O33)— O13
4	Шпоночно-фрезерна	(— O ₂₄ —) — O ₂₄
5	Шліцефрезерна	(— — O ₃₄)— O ₃₄
6	Сверлильна	(— — O ₃₅) — O ₃₅
7	Різьбонарізна	(O ₁₄ — —) — O ₁₄
8	Термічне загартування СВЧ	(— — O ₃₆) — O ₃₆
9	Круглошліфувальна чорнова	(O15, O25, O37) — O15
10.	Шліцешліфувальна	(— — O ₃₈) — O ₃₈
11	Круглошліфувальна чистова	(O16, O26, O39) — O16
12	Контрольна	(O17, O27, O31) — O17

При визначенні місця тієї чи іншої операції в узагальненому маршруті керуються загальними принципами, відомими з технології машинобудування. Так, оброблення поверхонь повинна вестися в послідовності, яка є зворотною ступеню точності виконання окремих операцій, в кінець маршруту виносяться операції оброблення поверхонь, які легко пошкоджуються (зовнішніх різьб, полірованих поверхонь тощо).

Аналіз змісту окремих операцій, що включаються в узагальнений маршрут, показує, що всі ці операції пов'язані з певними поєднаннями конструктивних і технологічних ознак деталей.

Вибір і кодування конструктивно-технологічних ознак деталей

Типові ТП вибираються з узагальненого маршруту на підставі аналізу конструктивно-технологічних ознак деталі і їх порівняння з ознаками, що визначають вибір окремих операцій [16].

Розглянемо більш докладно вибір цих ознак A_j для проєктування типових технологічних процесів деталей класу «вали», що включає вали, осі, вал-шестерні тощо, з наступного переліку:

- вид заготовки;
- точність оброблення;
- шорсткість поверхні;
- вид термооброблення;
- точність допоміжних поверхонь;
- наявність і вид ступенів;
- наявність і вид осьових отворів;
- наявність і вид додаткових отворів;
- наявність і вид різьби;
- наявність і вид шліців на зовнішніх ступенях вала;
- наявність і вид шпонкових пазів;
- наявність лисок і граней;
- наявність шліців, шпонкових пазів і граней в осьових отворах;
- характер зубчастої поверхні;
- модуль зубчастої поверхні;
- ступінь точності зубів;
- серійність.

Наведений перелік конструктивно-технологічних ознак для розглянутого класу деталей є наближеним і в залежності від типу і умов виробництва, а також вимог до точності одержуваних технологічних рішень може бути змінений і доповнений.

Кожна ознака A_j може мати кілька значень

$$A_j = \langle a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{ji}, \dots, a_{jn} \rangle$$

де a_{ji} – ідентифікатор певного значення ознаки A_j .

Для однозначного визначення значення деякої конструктивно-технологічної ознаки деталі необхідно попередньо їх закодувати.

Для спрощення алгоритмів проєктування і скорочення форматів інформації, що вводиться, всі види ознак зазвичай кодуються цифрою від 0 до 9. У тих випадках, коли десяти цифр виявляється недостатньо для кодування всіх можливих значень ознаки, об'єднується під одним кодом кілька значень ознаки, що надають близький за своєю дією вплив на прийняття технологічних рішень, або додається, додатково до десяти цифр від 0 до 9 необхідне число букв А, Б, В, Г і т. д.

Перший шлях є значно простішим щодо розробки алгоритмів проєктування і, як правило, в більшості випадків дозволяє описати всю необхідну інформацію про ознаку. Надалі використовується саме цей підхід (табл. 6) до кодування конструктивно-технологічних ознак деталей.

Таблиця 6.

Коди конструктивно-технологічних ознак деталей класу «вали»

<i>Ознака 1. Вид заготовки – А1</i>	
Поковка, яка отримана методом кування на пресах і молотах	1
Поковка, яка отримана методом штамповки	2
Прокат	3
Технологічна труба	4
Профільний прокат	5

Ознака 2. Точність оброблення – А₂	
Оброблена поверхня з точністю в межах наступних квалітетів:	
6	1
7	2
8	3
9	4
10	5
11	6
12	7
Ознака 3. Параметри шорсткості, мкм, – А₃	
Шорсткість $40 \leq R_z < 20$	1
Шорсткість $10 \leq R_z < 20$	2
Шорсткість $0,63 \leq R_z < 2,5$	3
Шорсткість $0,32 \leq R_z < 0,63$	4
Шорсткість $0,08 \leq R_z < 0,32$	5
Шорсткість $0,02 \leq R_z < 0,08$	6
Ознака 4. Термооброблення – А₄	
Термооброблення з HRC < 38	1
Термооброблення з $38 \leq HRC_0 < 52$	2
Термооброблення з HRC= 52 окремих поверхонь	3
Термооброблення з HRC=52 всіх поверхонь	4
Ознака 5. Точність оброблення осьових поверхонь – А₅ (Кодується аналогічно з ознакою А ₂)	
Ознака 6. Наявність ступенів – А₆	
Вал без ступенів – гладкий	0
Вал з одностороннім розташуванням ступенів	1
Вал з двостороннім розташуванням ступенів	2
Ознака 7. Вид осьового отвору– А₇	
Отвір наскрізний без ступенів з зовнішньої фаскою при $l/d < 5$	1
Отвір наскрізний ступеневий і отвір наскрізний ступеневий з різьбою при $l/d < 5$	2
Два глухих центрових отвори	3
Отвір гладкий глухий, ступеневий глухий, ступеневий глухий з різьбою при $l/d < 5$	4
Отвір глибокий гладкий наскрізний і глибокий гладкий глухий при $l/d < 5$	5
Отвір глибокий ступеневий з різьбою наскрізний, глибокий ступеневий з різьбою глухий при $l/d < 5$	6
Ознака 8. Наявність додаткових (неосьових) отворів – А₈	
Отвори гладкі (паралельні осі валу)	1
Отвори ступінчасті (паралельні осі валу)	2
Отвори гладкі (непаралельних осі вала)	3
Отвори ступінчасті (непаралельних осі вала)	4

Ознака 9. Різьба на зовнішніх ступенях вала – А₉	
Наявність різьби	1
Наявність різьби з кроком до 1,5 мм	2
Наявність точної різьби	3
Ознака 10. Шліци зовнішні на ступенях вала – А₁₀	
Шліци на одній ступені	1
Шліци на двох і більше ступенях	2
Шліци, що вимагають зміцнення поверхні	3
Шліци точні (вище 9-го квалітету)	4
Ознака 11. Шпонкові пази – А₁₁	
Пази відкриті і закриті з одного боку (ірина паза $b < 10$ мм)	1
Те же, але $b > 10$ мм	2
Пази закриті з двох сторін ($b \leq 10$ мм)	3
Те же, але $b > 10$ мм	4
Пази під сегментні шпонки	5
Ознака 12. Наявність лисок, граней – А₁₂	
Лиски, грані	1
Ознака 13. Шліци, шпонкові пази, межі в осьових отворах – А₁₃	
Шліци і грані в глухих отворах	1
Шпонкові пази в глухих отворах	2
Шліци, грані в аскрізному отворі	3
Шпонкові пази в наскрізному отворі	4
Ознака 14. Характер зубчастої поверхні – А₁₄	
Зуби прямі на циліндричній поверхні	1
Зуби косі, спіральні на циліндричній поверхні	2
Зуби прямі на конічній поверхні	3
Зуби кругові, криволінійні на конічній поверхню	4
Зуби прямі, косі на багатовенцевій зовнішній поверхні	5
Зуби спіральні на конічній поверхні	6
Зуби внутрішнього зачеплення	7
Ознака 15. Модуль зубчастої поверхні – А₁₅	
Модуль 0,1–2,5 мм	1
Модуль 2,5–6 мм (сталь)	2
Модуль 2,5–8 мм (чугун)	3
Модуль 6 мм (сталь)	4
Модуль 8 мм (чугун)	5
Модуль 12–20 мм	6
Ознака 16. Ступінь точності зубів – А₁₆	
Ступінь 5	5
Ступінь 6	6
Ступінь 7	7
Ступінь 8	8
Ступінь 9–10	9

<i>Ознака 17. Серійність – А₁₇</i>	
Одиничне і дрібносерійне виробництво	1
Серійне виробництво	2
Багатосерійне виробництво	3
Масове виробництво	4

Формування узагальненого маршруту оброблення деталей класу «вали»

На основі загального підходу до формування узагальненого маршруту з урахуванням складу конструктивно-технологічних ознак деталей класу «вали» необхідно вибрати типові операції і знайти їх місця в маршруті.

Найменування операції визначається за її змістом. Для забезпечення однозначності призначення операції супроводжуються описом, яке має бути коротким і не допускати різних тлумачень характеру оброблення і схем установки заготовки. Ці формулювання операцій в подальшому використовуються при нормуванні і визначенні розряду робіт.

Всі типові операції кодуються (табл. 7). Будова цих кодів може бути різною, але головне в їх формуванні – це виконання умов, що забезпечують спрощення складання алгоритмів проектування маршрутних ТП і далі окремих операцій. У розглянутому прикладі прийнято трьохзначний код. У якості першої цифри коду прийнято код типу обладнання відповідно до класифікації моделей верстатів, а дві наступні цифри відповідають номеру операції в узагальненому маршруті і характеризують особливості виконання окремих операцій.

Таке кодування дозволяє використовувати першу частину коду при виборі обладнання, а другу частину – при контролі послідовності обраних типових операцій узагальненого маршруту.

Побудова алгоритму вибору технологічного маршруту виготовлення деталей типу «вал»

Для побудови алгоритмів вибору деяких типових рішень по заздалегідь певному числу ознак вибору цих рішень використовують таблиці відповідності, або, як їх ще називають, таблиці вибору рішень. Відомо, що

кожна обрана операція ТП виготовлення якоїсь конкретної деталі пов'язана з її конструктивно-технологічними ознаками. Причому одні операції можуть бути пов'язані з одним значенням ознаки a_{ji} , а інші – з кількома.

Таблиця 7.

Коди типових операцій узагальненого маршруту оброблення деталей класу «Вали» (фрагмент)

№ з/п	Найменування операції	Код операції
1	Відрізна	801
2	Центрувальна	202
3	Фрезерно-центрувальна	203
...		
50	Внутрішліфувальна	350
51	Зубошліфувальна	551
52	Різьбошліфувальна	552
53	Зубохонінгувальна	553
54	Суперфінішна	354
55	Зубопритирочна	555
56	Полірувальна	356
57	Контрольна обкатна	757
58	Промивочна	458
59	Контрольна	759

На підставі аналізу технологічних процесів виготовлення різних деталей класу «вали» формується таблиця відповідності вибору типового маршруту (табл. 8), в якій в якості типових рішень зліва вказуються раніше сформовані коди операцій а праворуч – логічні умови вибору цих рішень у вигляді можливих конструктивно-технологічних ознак деталі $A_1, A_2, \dots, A_{17}$.

Алгоритм вибору маршруту типового ТП виготовлення деталей класу «вали» може бути описаний у вигляді послідовності операторів (рис. 18). Після введення даних проводиться формування записів конструктивно-технологічних ознак деталі у вигляді масиву МД (оператор 3). Далі відбувається виклик узагальненого маршруту (масив МТ).

Розглядається перший рядок узагальненого маршруту $I = 1$ (оператор 5), для якого послідовно порівнюються однойменні ознаки цього рядка A_j і ознаки

масиву МД. Якщо A_j включає відповідну ознаку деталі a_{ji} , (оператор 7), то завдяки операторам 8, 9 проводиться перехід до наступної ознаки цього ж рядку і виконується аналогічна перевірка. Цикл повторюється до тих пір, поки не будуть перевірені всі 17 ознак розглянутого узагальненого маршруту. Якщо в рядку масиву МТ для окремої ознаки A_j не вказані кодові значення, що означає відсутність впливу розглянутої ознаки на вибір аналізованої i -ї операції, то також виконується перехід до наступної $(j+1)$ -ої ознаки. При виконанні описаної умови відповідності рядка ознак деталі і рядку даної i -ї операції остання приймається і запам'ятовується (оператор 10) при формуванні кодів операції КОР.

Якщо умова відповідності $A_j = a_{ji}$ не виконується для будь-якої ознаки, то відбувається перехід до наступного $(i+1)$ -го рядку (операції) масиву МТ (оператори 11, 12).

Процес вибору кодів операцій KOP_j виконується до тих пір, поки не будуть розглянуті всі рядки масиву МТ. Далі за кодами операцій KOP_j вибираються їх формулювання (оператор 13), які можуть виводитися на екран дисплея для аналізу результатів проектування (оператор 14) або для друку технологічного маршруту (оператор 16).

Відповідність вибору типового маршруту оброблення деталей класу «вали» (фрагмент) [16]

[illegible]

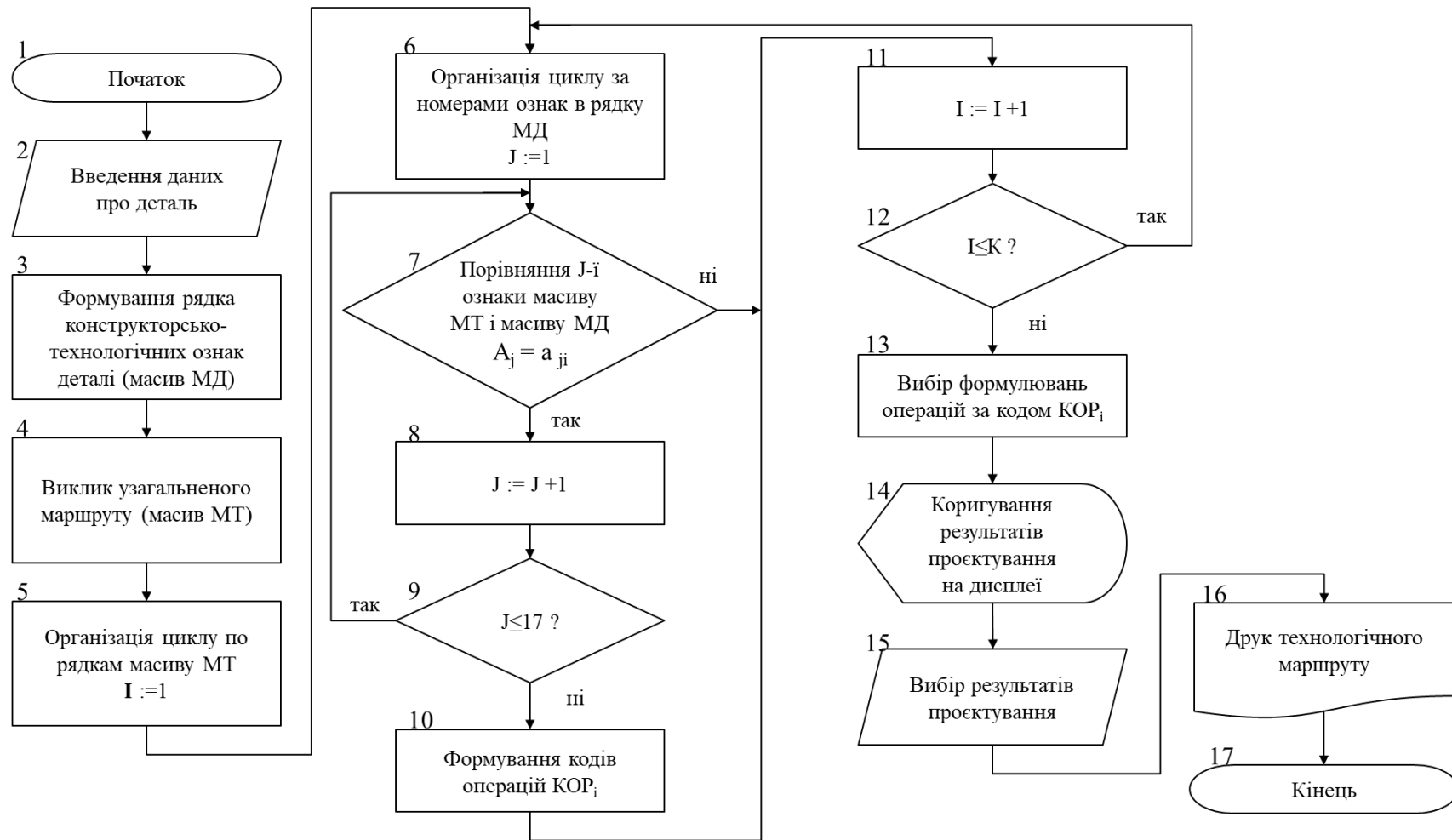


Рисунок 18 – Схема алгоритму проєктування маршруту типового ТП

5.3. Синтез одиничних маршрутних технологічних процесів

При малому рівні уніфікації продукції, що випускається, тобто великому різноманітті деталей за формами, розмірами тощо, використання типових ТП в якості бази в САПР ТП є нераціональним [16].

По-перше, необхідно розробити велику кількість типових процесів для охоплення різнорідних, неуніфікованих деталей. По-друге, при запуску чергового виробу велика частка деталей, які не потрапляють ні в одну з розроблених раніше груп, так як це деталі оригінальні за конструкцією. У цьому випадку базою САПР ТП повинні бути типові елементи ТП, а методичне забезпечення повинно будуватися на основі методу синтезу.

Основним принципом при цьому є відмова від традиційної схеми проєктування ТП. У ній спочатку повністю вирішуються питання оброблення окремих поверхонь, а потім синтезуються операції і маршрут оброблення.

Все, що є на початку проєктування ТП, це – уніфіковані маршрути оброблення окремих поверхонь, і саме з їх визначення починається проєктування. Це перша стадія проєктування ТП. Загальне проєктування складається з наступних стадій (включаючи і названу) [12]:

- 1) встановлення маршрутів оброблення окремих поверхонь;
- 2) формування принципової схеми ТП у вигляді переліку виконуваних етапів оброблення (чорновий, напівчистовий, чистовий тощо);
- 3) проєктування ТП в межах етапу з встановленням маршруту оброблення;
- 4) розрахунок технологічних розмірів;
- 5) проєктування операцій;
- 6) проєктування переходів.

Наведемо короткий опис кожної стадії, а докладно вони розглядаються в наступних розділах.

Стадія 1. Маршрут оброблення окремої поверхні (МОП) – це послідовність методів оброблення (переходів), необхідних для досягнення зазначених на кресленні деталі характеристик поверхні. Різнманітність існуючих методів призводить до

того, що одні й ті ж характеристики можуть бути досягнуті різними МОП. Після розробки можливих маршрутів проводиться вибір оптимального МОП за призначеним критерієм. В якості критеріїв оптимального МОП і при знаходженні оптимального рішення інших технологічних задач використовують показники ресурсоемності: затрати матеріалів, енергії, праці.

Стадія 2. Подальше завдання полягає в тому, щоб з окремих МОП побудувати допустимі варіанти ТП оброблення деталі. Для вирішення цього завдання використовується загальний план оброблення деталей, що зберігається в САПР, який розбиває ТП на етапи оброблення. План оброблення містить перелік етапів і умови вибору кожного етапу виходячи з маршруту оброблення поверхонь і характеристик деталі в цілому. План оброблення будується на основі аналізу виготовлення деталей різних класів з урахуванням можливих комбінацій термічного та механічного оброблення. За умовами аналізується необхідність кожного етапу оброблення для поточної деталі. Перелік отриманих етапів називається принциповою схемою ТП.

Стадія 3. Проєктування ТП в межах кожного етапу. Вихідними даними є принципова схема ТП, зазначені оброблювані поверхні і їх характеристики на кожному етапі. Для остаточного визначення складу і послідовності операцій встановлюються схеми базування.

Стадія 4. Визначення технологічних розмірів і розмірний аналіз – стадія перевірки правильності прийнятих на попередніх стадіях рішень. Далі з сукупності переходів формуються операції, а з послідовності операцій – маршрутна карта.

Стадія 5. При проєктуванні операцій вибирається пристосування, мастильно-охолоджувальні рідини, визначається структура операцій – послідовність переходів.

Стадія 6. Проєктування переходів передбачає вибір засобів оснащення, призначення режимів оброблення, визначення норм часу.

Результатом вирішення кожного завдання є множина типових рішень, які формують вихідну документацію або складають вхідні дані для наступних завдань.

Особливістю цієї схеми є її відмінність від традиційної схеми проєктування: маршрут→операція→перехід, де на першому етапі (вибір маршруту) необхідно

оперувати великим числом даних; приймати попередні рішення, що підлягають в подальшому уточненню [16].

Найкращий варіант плану оброблення вибирається за спеціальним алгоритмом з використанням мережевих моделей. Для досягнення заданих розмірів і технічних вимог всі поверхні деталі послідовно проходять деякі стадії оброблення. Процес оброблення поверхонь можна розглядати як «переведення» деталі зі стану заготовки в стан, який задано на кресленні. «Переведення», як правило, здійснюється за кілька технологічних переходів. Тому в процесі оброблення поверхні деталі можуть мати проміжні стани, при проходженні яких поступово поліпшується якісний стан поверхні (точність розміру і форми, положення, якість поверхневого шару тощо). Кожний стан поверхні може змінюватися різними способами і на різному устаткуванні. Якщо припустити, що поверхня заготовки обробляється тільки одним способом (наприклад, тільки точінням на токарному верстаті), сформульована задача може бути зображена графічно у вигляді мережі (рис. 19).

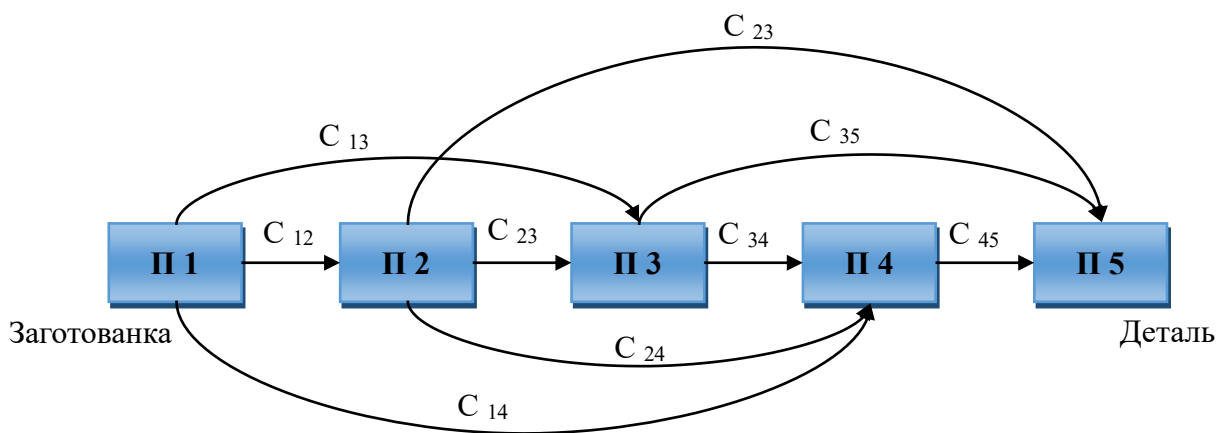


Рисунок 19 – Мережеве представлення процесу переведення поверхні зі стану заготовки (П1) в стан деталі (П5)

Різні проміжні стани поверхні, починаючи з заготовки та закінчуючи готовою поверхнею, позначені через П1, П2, П3, П4, П5. Дугами показані можливі шляхи переходу з одного проміжного стану в інший, а через C_{ij} позначені витрати, пов'язані зі зміною стану поверхні. Проміжні стани поверхні П1-П5 можуть бути

представлені різними характеристиками поверхні (квалітет, інтервалами допусків на розмір, точністю взаємного положення, якістю поверхневого шару тощо). C_{ij} – витрати на забезпечення прийнятого показника проміжного стану поверхні, наприклад точності розміру.

Зі стану заготовки П1 в стан готової поверхні П5 можна прийти декількома шляхами, наприклад: 1-2-5, 1-4-5, 1-3-5 тощо. Ці шляхи є можливими планами оброблення поверхні, кожному з яких відповідають певні витрати. Для визначення оптимального плану оброблення поверхні необхідно знайти такий шлях від стану заготовки, до стану готової поверхні на представлений мережі, який надає мінімальне значення критерію оптимальності.

Таке завдання математично еквівалентне пошуку найкоротшого шляху в мережі. Існують стандартні алгоритми вирішення цього завдання.

Аналітично мережева модель процесу оброблення в цьому випадку представляється у вигляді трикутної матриці $\{C\}$. На головній діагоналі повинні перебувати нулі, оскільки характеристики поверхні заготовки і деталі збігаються (табл. 9). Визначення елементів, що лежать нижче головної діагоналі, не має сенсу, так як там деталь матиме характеристики гірше, ніж заготовка. При цьому проміжні стани поверхні характеризуються двома показниками – шорсткістю (R_a) і точністю оброблення. Така матриця дозволяє визначити варіант технологічного процесу, що забезпечує найбільш економічно ефективно досягнення необхідної точності.

Таблиця 9.

Схема процесу оброблення поверхні

Стан поверхні заготовки	Стан обробленої поверхні				
	1	2	3	4	5
1	0	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}
2		0	C_{23}	C_{24}	C_{25}
3			0	C_{34}	C_{35}
4				0	C_{45}
5					0

Матриця формується окремо для всіх поверхонь і для кожного виду оброблення. Тому для кожної поверхні необхідно мати стільки матриць, скільки може бути застосовано видів оброблення. На альтернативну множину видів оброблення накладаються обмеження, обумовлені конфігурацією деталі, умовами виробництва і іншими показниками, що дозволяють сформувати підмножини можливих рішень. Ця множина представляється у вигляді двох зведених матриць.

Основні фактори, що впливають на маршрут оброблення поверхні деталі

На стадії розробки ТП для кожної поверхні повинні бути визначені число ступенів оброблення (операцій, переходів), методи виконання кожного ступеня і їх послідовність [12].

Окрема (або елементарна) поверхня – це циліндр, конус, криволінійна поверхня (зокрема сфера) і площина. Поверхні обертання поділяються на зовнішні і внутрішні елементарні поверхні.

Знати МОП необхідно для подальшого розрахунку проміжних і загальних припусків на обробку, проміжних розмірів заготовки і допусків на розміри.

Розглянемо основні фактори, що впливають на маршрут оброблення поверхні деталі:

1. Точність вихідної заготовки: чим заготовка точніша, тим менше число ступенів оброблення потрібно для досягнення зазначених на кресленні точності поверхні деталі.

2. Необхідна за кресленням точність форми і розмірів розглянутої поверхні: чим вища необхідна точність, тим більше число ступенів її оброблення потрібно.

3. Наявність і характер термооброблення деталі. Більшість методів термічного і хіміко-термічного оброблення (загартування, цементація, азотування) пов'язане з втратою досягнутої на попередніх етапах механічного оброблення точності форми і розмірів поверхні. Тому наявність термооброблення збільшує число ступенів оброблення відповідальних поверхонь деталі.

4. Точність відносного розташування поверхонь. У ряді випадків потрібно вводити додаткові ступені оброблення для забезпечення допусків паралельності та співвісності поверхонь.

5. Число ступенів оброблення установочної бази. Якщо розглянута поверхня в ТП грає роль установочної бази, то число ступенів її оброблення може бути більше в порівнянні з тим, який потрібен для отримання заданих на кресленні точності форми і розмірів цієї поверхні. Зазвичай базові поверхні з самого початку обробляються точно, а перед кожним новим етапом і після термооброблення проводиться оновлення баз.

6. Вимоги до якості поверхневого шару даної поверхні. У певних випадках метод остаточного оброблення, який використовується для отримання розміру в межах заданого на кресленні допуску, не забезпечує заданої якості поверхневого шару (за шорсткістю, фізико-механічними властивостями). Тоді вводять ще один-два етапи оброблення – оздоблювальні або зміцнюючі операції (полірування, хонінгування, суперфінішірованіє, діамантове вигладжування тощо).

Визначення варіантів оброблення поверхні із застосуванням графів

Як було відзначено, МОП призначають на підставі технічних вимог креслення деталі і креслення заготовки [12]. Орієнтуючись на таблиці точності і якості поверхневих шарів при обробці і з огляду на конфігурацію оброблюваної поверхні, матеріал, масу та інші фактори, встановлюють метод остаточного оброблення. При відомому способі отримання заготовки визначають початковий метод оброблення. Вибравши остаточний і перший методи, призначають проміжні. При цьому можливі кілька видів оброблення приблизно з однаковими показниками. Такі види оброблення об'єднані в одну стадію. Характеристики операцій оброблення зовнішніх поверхонь обертання представлені в табл. 10. Для елементарних поверхонь зазвичай стадія оброблення збігається з операцією або переходом.

Необхідні за кресленням точність і якість поверхні можна отримати обробкою за різними маршрутами. Для їх опису найбільш зручно використовувати теорію графів. У графі вершини відповідають кодам операцій з характеристиками точності,

шорсткості поверхні та собівартості операції, а ребра – послідовності операцій згідно табл. 10. На рис. 20 показаний граф можливих варіантів оброблення зовнішніх поверхонь обертання. Нульова стадія – це стадія отримання заготовки. Аналогічно можна побудувати графи для плоских поверхонь і внутрішніх поверхонь обертання.

Таблиця 10.

Операції оброблення зовнішніх поверхонь обертання

Стадія	Найменування операції	Код операції	Точність, квалітет	Параметри шорсткості, мкм	
				Rz	Ra
1	Чорнова токарна	1	14	160	—
2	Напівчистова токарна	2	12	60	—
3	Чистова токарна	3	10	—	2,50
	Чорнова шліфувальна	4	10	—	2,50
4	Тонка токарна	5	7	—	0,80
	Однократне шліфування	6	7	—	1,25
5	Чистова шліфувальна	7	7	—	0,63
6	Тонка шліфувальна	8	6	—	0,25
7	Полірувальна	9	6	—	0,40
	Накатна	10	5	—	0,16
	Суперфінішування	11	5	—	0,08

Аналіз графа показує, що для кожного типу елементарної поверхні існує різне число маршрутів оброблення. Стосовно до наведеного графу для зовнішніх поверхонь можна синтезувати 8 маршрутів, аналогічно для внутрішніх поверхонь 32 маршруту і для плоских – 60.

Математичним представленням графів можливих МОП є матрична форма (рис. 21). Стовпці і рядки матриці відповідають вершини графа, наведеного на

рис. 20. Елемент матриці дорівнює 1, якщо вершини суміжні, в іншому випадку він дорівнює 0.

Пошук можливих варіантів маршруту починається з перегляду матриці по рядках. Аналіз нульового ряда показує, що після заготівельної операції буде обрана операція з кодом 1 (чорнова токарна).

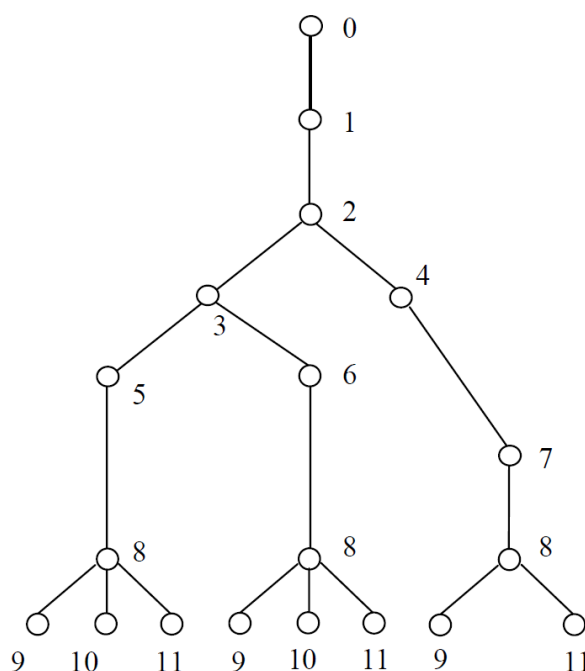


Рисунок 20 – Граф можливих варіантів маршруту оброблення поверхонь

Далі переходимо до перегляду першого рядка і бачимо, що буде вибрано другу операція – напівчистова токарна. У другому рядку може вибиратися операція третя (чистова токарна) або четверта (чорнова шліфувальна). Якщо за сформованими умовами вибирається третя операція, то переходимо до перегляду третього рядка, якщо вибирається четверта, то пропускається третій рядок і аналізується відразу четверта, і т.д. Наприклад: умовою вибору операції з кількох можливих може бути таке: якщо опрацьований матеріал – кольоровий сплав, вибирається точіння. Після вибору кожної операції йде порівняння якості, яка досягнута на обраній операції E_i з необхідною якістю деталі $E_{\text{необх.}}$. Якщо якість поверхні, що досягається на операції, задовольняє вимогу $E_{\text{необх.}} \geq E_i$, то подальший вибір операції не проводиться і видається один з можливих варіантів маршруту оброблення.

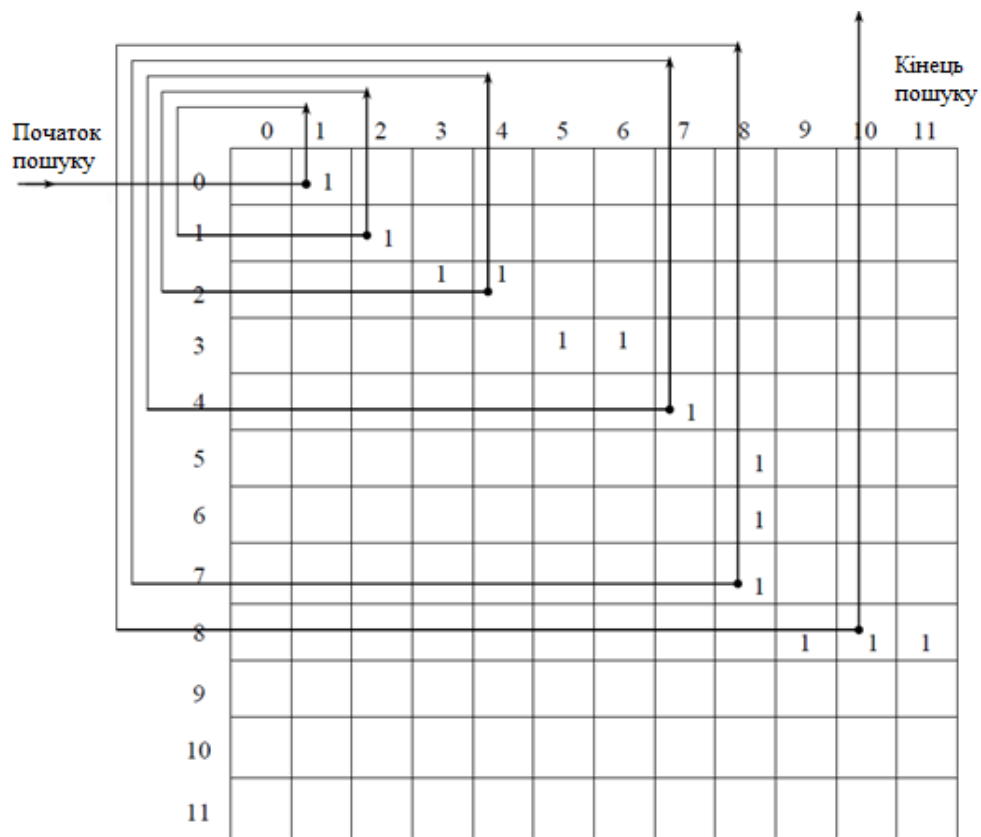


Рисунок 21 – Матриця варіантів маршруту оброблення поверхонь

Вибір оптимального маршруту оброблення поверхні

Наступний крок при встановленні маршруту оброблення – вибір оптимального МОП з можливих [14]. Число варіантів оброблення зменшується з урахуванням технологічних правил, наприклад таких:

1. Якщо обробляються кольорові метали і сплави, то абразивні методи (шліфування, резьбошліфування) не використовуються.
2. При діаметрі отвору $D < 2$ мм розточування виключається, а при $L/D < 1$ (L – довжина отвору) розгортання недоцільне.
3. На етапі напівчистового оброблення зняття припуску лезвійною обробкою (точіння, фрезерування тощо) в порівнянні з абразивною вимагає меншого числа ходів, тому недоцільно використовувати шліфування.

4. Якщо матеріал має твердість $HRC > 40$, рекомендується використовувати шліфування.

5. З метою зниження похибки оброблення і часу на переустановлення заготовки доцільне оброблення на одному верстаті за кілька переходів.

6. Необхідність оброблення даної поверхні спільно з іншими для досягнення більшої точності їх взаємного розташування зумовлює метод оброблення.

В якості критеріїв при виборі оптимального МОП використовуються:

- мінімальний загальний припуск для всіх обраних стадій оброблення;
- мінімальна трудомісткість варіанту маршруту по сумарному основному часу оброблення.

Більш точно маршрут вибирається при порівнянні сумарної собівартості оброблення всієї деталі.

Для оптимізації в процесі проектування ТП застосовується метод перебору.

Перебір полягає у визначенні критерію оптимізації для кінцевої множини варіантів і вибору варіанта з мінімальним значенням критерію (припуску або собівартості). Значення критеріїв розраховуються з використанням довідково-нормативної інформації, за емпіричними рівняннями виду:

$$Z_{\min i} = a + bD^m + cL^n,$$

де $Z_{\min i}$ – мінімальний припуск;

a – частина припуску, яку необхідно зняти для видалення дефектного шару і мікронерівностей, які утворені на попередньої операції;

$(bD^m + cL^n)$ – частина припуску, яка вводиться для компенсації нерівномірності, що обумовлена просторовими відхиленнями окремих ділянок оброблюваної поверхні і залежить від габаритних розмірів заготовки D і L (діаметр і довжина).

Коефіцієнти a , b , c і показники ступеня m і n визначаються шляхом аналізу і оброблення довідково-нормативних таблиць операційних припусків з використанням методів найменших квадратів.

5.4. Автоматизація формування маршруту оброблення деталі на основі аналізу її геометричної моделі

Одиничний ТП проєктують на базі синтезу з урахуванням опису кожного елемента деталі. Конфігурацію деталі і технічні вимоги описують, використовуючи проблемно орієнтовану мову. Основне її призначення – опис не тільки розмірів і інших параметрів, але і конструкції деталі, розмірних зв'язків її елементів (поверхонь) [16].

Будь-яка деталь формується з конструктивних елементів. Головною особливістю конструктивних елементів є те, що кожен з них має постійну, що не залежить від конкретної деталі номенклатуру якісних та кількісних характеристик. Завдяки цій особливості конструктивні елементи відіграють визначальну роль в системі кодування інформації про деталі. В даний час з використанням сучасних САД-систем можливе автоматизоване формування відомостей про конструктивно-технологічні елементи проєктованої деталі.

Існують об'єктивні зв'язки між конструкцією, геометричною структурою і іншими характеристиками деталей і структурою ТП їх оброблення. Так, геометрична структура деталей зумовлює методи оброблення, методи досягнення необхідної точності, вибір технологічних і вимірювальних баз, послідовність оброблення поверхонь деталей та їх вимірювання.

Розмірні зв'язки деталей можна представити графом.

Граф – це сукупність об'єктів із зв'язками між ними.

Вершини графу означають елементарні поверхні, а ребра – розмірні зв'язки між ними:

$$G = \langle A, E \rangle,$$

де $A = \{a_i\}$ – множина поверхонь деталі;

$E = \{E_{ij}\}$ – множина розмірів, що зв'язують поверхні, $E_{ij} = (a_i, a_j)$.

Розмірний ланцюг – це розташована по замкнутому контуру сукупність розмірів, що впливають на точність одного з розмірів контуру.

З огляду на те що замикаюча ланка безпосередньо при обробці не виконується і є результат формування всіх інших ланок ланцюга, граф розмірних зв'язків деталі в одному координатному напрямку є деревом і називається **пов'язаним неорієнтованим графом** (рис. 22, а).

Якщо на кресленні деталі є розмірні зв'язки більш ніж в одному координатному напрямку, то граф, яким вони описуються, називається мультиграфом (рис. 22, б). На цьому рисунку ребра X_{1-2} , X_{2-4} , Z_{1-2} , Z_{3-10} та інші позначають розмірні зв'язки між елементами деталі за координатами X, Y, Z.

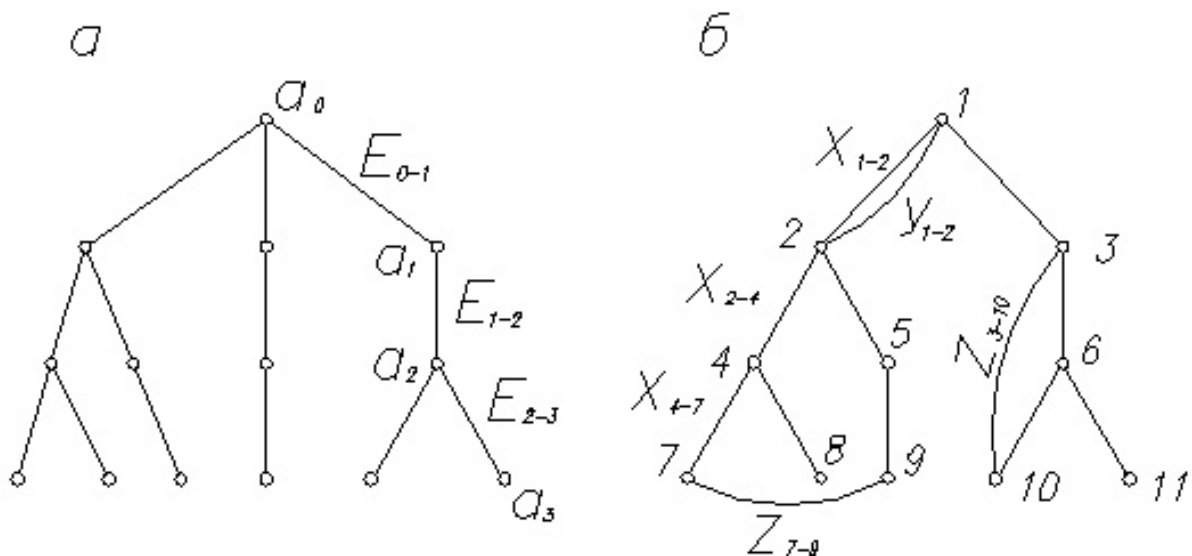


Рисунок 22 – Граф розмірних зв'язків типу дерево (а) і мультиграф (б)

На графі можна виділити кілька гілок – маршрутів графа. Під маршрутом розуміється така послідовність ребер:

$$S = (E_0, E_1, E_2, \dots, E_n),$$

при якій кожні два сусідніх ребра E_{i-1} і E_i мають загальну вершину, тобто

$$E_0(a_0, a_1), E_1(a_1, a_2), \dots, E_n(a_n, a_{n+1}),$$

При цьому одне і те ж ребро може зустрічатися в маршруті кілька разів.

Якщо в маршруті графа немає ребер, що передують E_0 , то a_0 називається **початковою вершиною** S, а якщо немає ребер, наступних за E_{n-1} , то a_n називається

кінцевою (висячею) вершиною S . Будь-яка вершина графа, що належить двом сусіднім ребрам E_{i-1} і E_i називається **внутрішньою або проміжною вершиною**.

Виходячи з теорії графа, може бути сформована формалізована модель геометричної структури деталі. Для цього необхідно, щоб вихідна геометрична інформація про деталь представляла собою повний її опис в цифровій формі. Звідси побудова формалізованої моделі геометричної структури деталі зводиться до розпізнавання її розмірних зв'язків у таблиці кодувальних відомостей і побудови матриці суміжності відповідного графа.

При неавтоматизованому проєктуванні для розпізнавання розмірних зв'язків технолог візуально виявляє необхідні параметри точності, зв'язки між ними, розмірні ланцюги, перераховує їх, виходячи з конкретних умов, і призначає технологічний процес виготовлення деталі.

При автоматизованому проєктуванні формалізована модель структури деталі будується на основі аналізу інформації, що міститься в таблиці кодувальних відомостей, заповненої згідно з прийнятою для даної САПР ТП системи кодування (мови опису деталі).

Для вирішення даної задачі таблиця кодувальних відомостей повинна містити певний набір реквізитів (відомостей), які необхідні для побудови формалізованої моделі. До таких реквізитів, що описує положення окремої поверхні в загальній конструкції деталі, відносяться номер елемента НЕ, код елемента КЕ, номер бази НБ, лінійний розмір X , верхнє відхилення розміру X ВВ, нижнє відхилення розміру X НВ.

В результаті вибірки з таблиці кодувальних відомостей формується таблиця, яка є вихідною для алгоритму формування графа розмірних зв'язків деталі. Ця таблиця представляє двомірний масив $M(t, n)$, де $t=6$ – число реквізитів, що описують стан i -ї поверхні; n – число поверхонь деталі.

Як приклад розглянемо побудову графа розмірних зв'язків для деталі «Вал» (рис. 23). Відповідно до зазначених правил для цієї деталі складена таблиця вибірки відомостей із таблиці кодувальних відомостей (табл. 11).

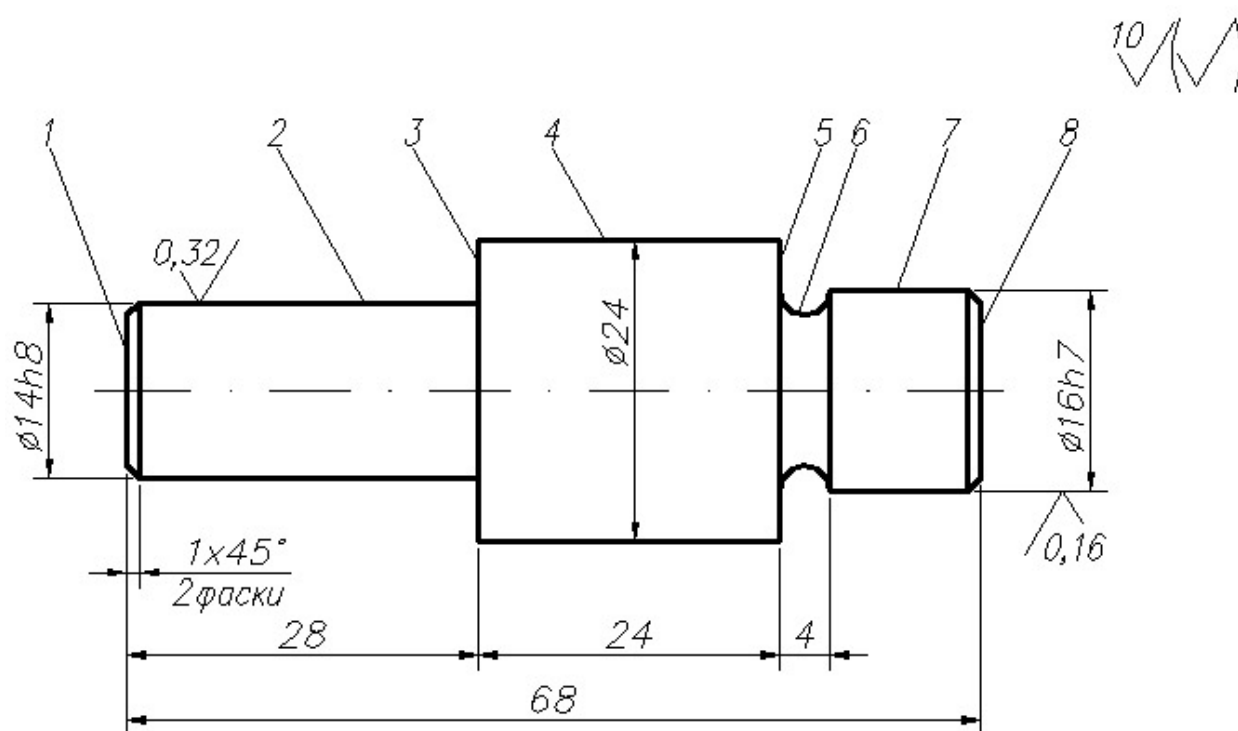


Рисунок 23 – Креслення деталі типу «Вал»

Таблица 11.

Таблица вибірки відомостей із таблиці кодувальних відомостей

НЕ	КЕ	НБ	Х	ВВ	НВ
1		1			
2		1			
3		1	-28		
4		3			
5		3	-24		
6		5			
7		5			
8		1	-68		

Щоб побудувати граф розмірних зв'язків деталі в автоматизованому режимі, необхідно сформувати матрицю суміжності.

Матрицею суміжності графа G називається квадратна матриця $n \times n$ (n – число вершин графа), в якій $d_j^i = 1$, якщо існує ребро між вершинами a_i' і a_j , $d_j^i = 0$, якщо ребра немає.

Для побудови матриці суміжності необхідно з множини поверхонь деталі виділити базову поверхню, яка приймається в якості початкової вершини графа. Дане завдання є досить важливим, так як від нього залежить структура формалізованої моделі. При цьому необхідно враховувати правила побудови технологічних процесів. Одне з таких правил визначає необхідність підготовки в першу чергу технологічних установочних баз. Тому в якості початкової вершини графа розмірних зв'язків використовуються поверхні, які слугують технологічними установочними базами і оброблюються на першій операції. Ця умова при автоматизованому проєктуванні перевіряється спеціальним оператором.

У розглянутому прикладі в якості базової прийнята поверхню з номером 1. З цієї поверхні починається формування матриці суміжності.

Граф розмірних зв'язків деталі можна розглядати, таким що складається з окремих куців, кожен з яких має одну початкову (базову) вершину і кілька (в крайньому випадку одну) висячих вершин. При формуванні матриці суміжності відбувається виділення куців графа.

Алгоритм формування графа розмірних зв'язків будується наступним чином. Для прийнятої базової поверхні (початкової вершини графа) визначаються висячі вершини першого куца графа. З цією метою з сформованої табл. 11 (по третьому стовпцю) вибираються номери елементів НЕ, які пов'язані з базовою поверхнею, і заносяться в матрицю суміжності графа (табл. 12).

Таблиця 12.

Матриця суміжності графа

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1					1
2								
3				1	1			
4								
5						1	1	
6								
7								
8								

У цій таблиці по вертикалі і горизонталі матриці позначені номери поверхонь. Якщо дві будь-які поверхні мають розмірний зв'язок або пов'язані конструктивно, то в комірку, яка розташована на перетині відповідного рядка і стовпця, ставиться 1. При відсутності розмірного зв'язку в комірку ставиться нуль, який для спрощення таблиці може бути опущений.

Після побудови першого куща графа формуються його наступні кущі. Для цього необхідно перевірити, чи не є поверхня, яка відповідає обраній висячею вершиною, базовою для інших поверхонь. Якщо так, то повторюється послідовність вибору елементів з висячими вершинами по відношенню до цієї базової поверхні.

Після заповнення матриці суміжності графа і виділення його кущів (рис. 24) може бути сформований остаточний граф розмірних зв'язків (рис. 25). У пам'яті ЕОМ граф розмірних зв'язків деталі описується масивом ГРАФ, який використовується в подальшому при виборі технологічних баз і проектуванні технологічних маршрутів.

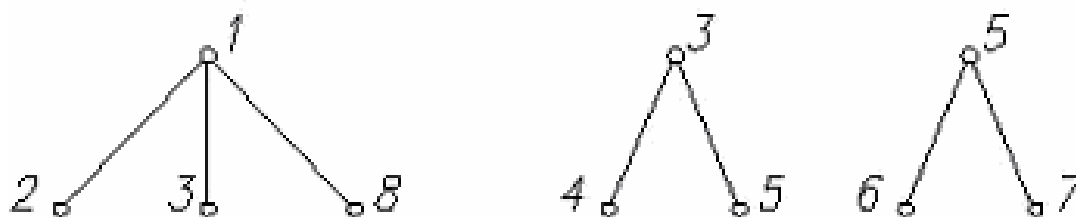


Рисунок 24 – Кущі графа розмірних зв'язків деталі

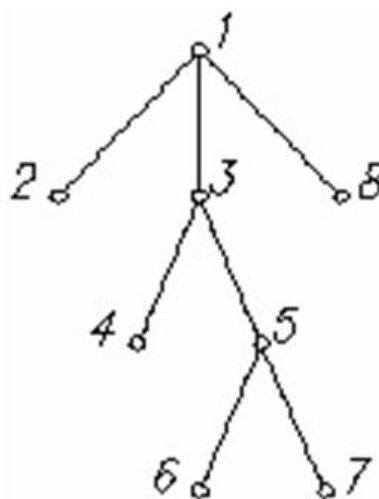


Рисунок 25 – Граф розмірних зв'язків деталі типу «Вал»

Одним з найбільш складних етапів проєктування ТП є призначення технологічних баз. Від правильності вирішення цього призначення залежить фактична точність виконання розмірів, оптимальність маршруту оброблення, складність конструкцій пристосувань, різальний і вимірювальний інструментів і в кінцевому рахунку продуктивність оброблення деталі.

У формалізованій моделі розмірних зв'язків деталі одна з двох вершин, що належать будь-якому ребру, завжди служить базою для іншої. При цьому під терміном «база» мається на увазі сукупність поверхонь, ліній або точок деталі, щодо яких за розрахунками конструктора орієнтуються інші поверхні даної деталі. Як правило, неможливо обробити якусь поверхню відповідно до вимог креслення, заздалегідь не обробивши її базу до необхідного ступеня точності і шорсткості. Таким чином, формалізовану модель структури деталі умовно можна розглядати як схему, яка визначає послідовність оброблення технологічних баз.

Істотне значення при побудові формалізованої моделі геометричної структури деталі має вибір початкової вершини графа. З формальної точки зору байдуже, яку поверхню приймати в якості початкової вершини, так як в будь-якому випадку формалізовані моделі відображають одні і ті ж розмірні зв'язки. Однак розмірні зв'язки деталі зумовлюють порядок оброблення поверхонь. Тому завданням проєктування ТП є послідовне перетворення конструкторського графа розмірного зв'язку в так званий технологічний граф, який визначає послідовність оброблення поверхні деталі. У зв'язку з цим таке перетворення слід здійснювати вже на найпершій стадії автоматизованого проєктування – при побудові формалізованої моделі. Це досягається використанням певних технологічних правил, що існують в технології приладо- та машинобудування. Так, в першу чергу необхідно підготувати технологічні бази.

З технології приладо- та машинобудування відомо, що конструкторські бази часто не можуть бути використані в якості технологічних, тому доводиться визначати додаткові або вводити штучні опорні бази. Наприклад, центрові отвори використовуються в якості штучних опорних баз для деталей класу «тіла обертання» з $L > D$, де L – максимальна довжина деталі, а D – максимальний діаметр.

Вибір штучних опорних баз і формування відповідного нового графа розмірних зв'язків проводиться за допомогою спеціально розробленого алгоритму. При цьому вихідними даними є раніше сформований масив ГРАФ, масив таблиці кодувальних відомостей і ряд довідкових масивів, що містять відомості про припуски на оброблювані поверхні бази і ознаки виду поверхонь деталей. В результаті проектування з даного алгоритму виконується ряд перевірок, які визначають необхідність штучних опорних баз, наприклад у вигляді центрів з однієї або двох сторін деталі типу «Вал». Після виконання всіх перевірочних і обчислювальних процедур формується граф розмірних зв'язків вала зі штучними опорними базами.

Такий граф може бути побудований для раніше розглянутої деталі типу «Вал» (рис. 26). В цей граф розмірних зв'язків введені дві штучні опорні бази (80 і 10) як третій і четвертий елементи масиву, що отримав назву МГОБ (масив графа розмірних зв'язків з опорними базами).

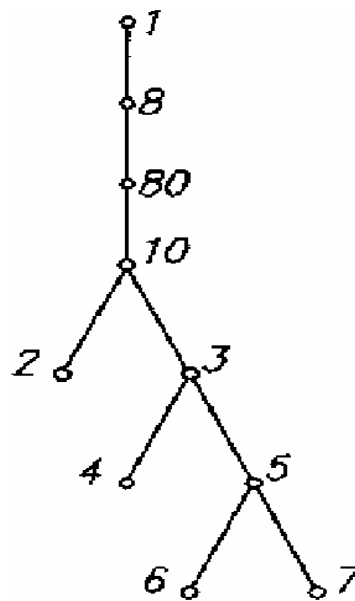


Рисунок 26 – Граф розмірних зв'язків з опорними базами деталі типу «Вал»

Вибір і призначення баз досить складний і слабо формалізований процес. Є кілька можливих методик автоматизованого призначення баз. Один з варіантів ґрунтується на геометричному описі поверхонь і їх взаємних зв'язках. Він передбачає три етапи:

- 1) геометричний аналіз;
- 2) аналіз деталі (заготовки), як твердого тіла;
- 3) розмірний аналіз.

Як ми вже знаємо, при проєктуванні одиничних ТП за допомогою САПР ТП широко використовуються напрацьовані типові рішення різних підзадач для типових елементів ТП: типові плани оброблення, типові схеми установки заготовок у пристосуваннях тощо. Такий підхід дозволяє найбільш раціонально поєднувати об'єктивні фактори проєктування ТП (розмірні характеристики деталей) з типовими рішеннями, котрі характеризують специфіку конкретного підприємства.

Синтез технологічного маршруту виготовлення деталі проводиться на основі побудови планів оброблення елементарних і типових поверхонь (рис. 27).

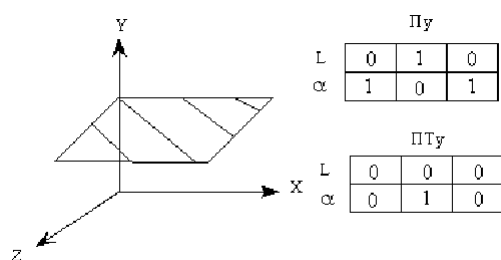
Плани оброблення на окремі поверхні, які забезпечують отримання необхідної точності і якості, розробляють двома методами: розрахунковим або статистичного аналізу.

Розрахунковий метод заснований на визначенні вартості однопрохідного оброблення заготовки різними технологічними способами. У зв'язку з відсутністю нормативів вартості для способів оброблення цей метод має обмежене застосування.

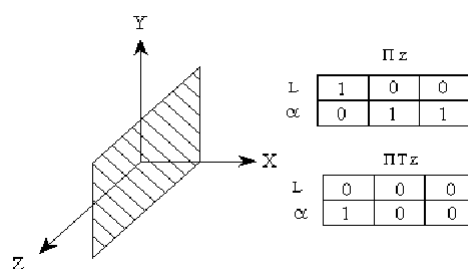
Метод статистичного аналізу заснований на використанні статистичного аналізу виробничих умов конкретного підприємства або довідкових даних. В даний час він широко застосовується.

Алгоритм побудови технологічного маршруту по методу статистичного аналізу можна розділити на ряд етапів. На першому етапі **формуються план оброблення**.

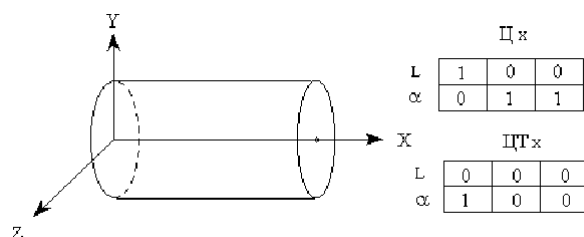
План оброблення вибирається на підставі аналізу так званих таблиць відповідностей, що представляють собою одну з форм запису відповідності множини типових рішень множині умов їх існування. В якості умов, що визначають вибір того чи іншого плану оброблення W_i , приймаються вид (код) оброблюваної поверхні КЕ, вид термооброблення ТО, шорсткість поверхні, точність оброблення в квалітетах КТ, відхилення взаємного розташування А, діаметр оброблення D, розташування отворів ОТ, вид отворів ВО тощо.



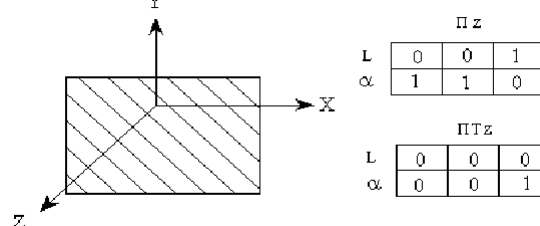
Площина,
перпендикулярна осі OY



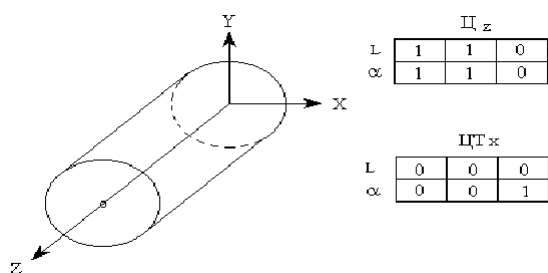
Площина,
перпендикулярна осі OX



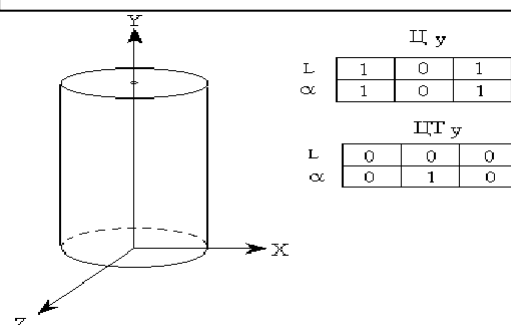
Довгий циліндр вздовж осі OX



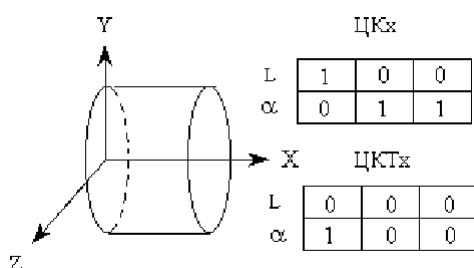
Площина, перпендикулярна
осі OZ



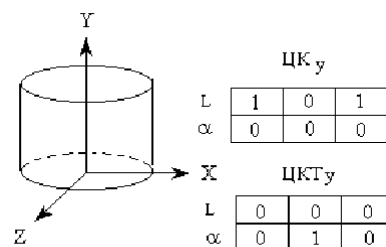
Довгий циліндр вздовж осі OZ



Довгий циліндр вздовж осі OY



Короткий циліндр вздовж осі OX



Короткий циліндр вздовж осі OY

Рисунок 27 – Приклади матриць ступенів свободи

Залежно від цих умов з таблиці типових планів оброблення поверхонь розглянутої деталі типу «Вал» (табл. 13) вибираються плани W_j на кожну оброблювану поверхню і формується таблиця планів оброблення поверхонь (табл. 14) – масив ПЛОБ.

Таблиця 13.

Типові плани обробки поверхонь деталі типу «Вал»

Плани оброблення W_i	Коди методів оброблення	Методи оброблення	Умова застосування планів
01	101	Точіння чорнове	Квалітет 9–10, $R_a=10\text{мкм}$
	102	Точіння чистове	Без термооброблення
02	102	Точіння чистове	Канавки
03	101	Точіння чорнове	Квалітет 7–8, $R_a=0,32-$
	102	Точіння чистове	-0,64 мкм
	301	Шліфування	Без термооброблення
04	101	Точіння чорнове	Квалітет 6–7, $R_a=0,04-$
	102	Точіння чистове	-0,16 мкм
	301	Шліфування	Без термооброблення
	310	Полірування	Без термооброблення
05	201	Свердління центрального отвору	Центрові отвори

Вихідною інформацією для наступного етапу *синтезу технологічних маршрутів оброблення деталі* служать граф розмірних зв'язків з опорними базами (масив МГОБ) і таблиця вибраних планів оброблення (масив МПО W).

Таблиця 14.

Плани оброблення поверхонь деталі типу «Вал»

Номер оброблюваної поверхні (HE)	1	10	2	3	4	5	6	7	8	80
Планоброблення поверхні W_i	01	05	03	01	01	01	02	04	01	05

Раніше сформований граф розмірних зв'язків деталі типу «Вал» з штучними опорними базами будемо називати первинним графом. Якщо вершини цього графа ототожнити з планами оброблення W_j відповідних поверхонь, то вийде так званий вторинний граф розмірних зв'язків (рис. 28). Цей граф в ЕОМ формується за допомогою матриці суміжності (за аналогією з розглянутою раніше). У вершинах вторинного графа будуть сформовані плани оброблення відповідних поверхонь (масив ПЛОБ), що складаються з набору кодів методів оброблення (КМО).

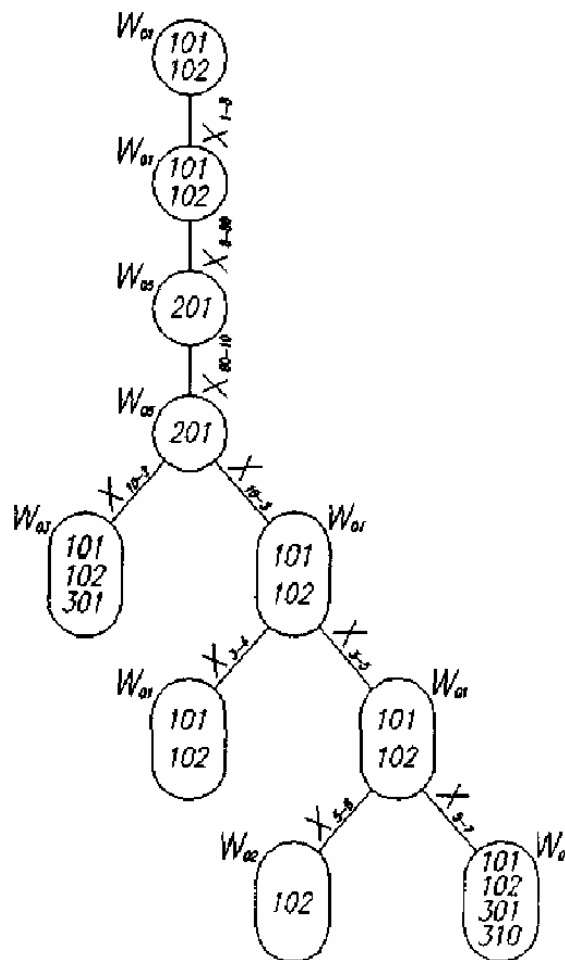


Рисунок 28 – Вторинний граф розмірних зв'язків деталі типу «Вал»

Третім етапом синтезу технологічного маршруту є **об'єднання однойменних технологічних методів оброблення** (мають загальний код КМО), що належать різним вершин вторинного графа. Для цього масив ВТГ (вторинного графа) з урахуванням масиву ПЛОБ (планів оброблення) поверхонь розбивається на операційні підграфи, вершини яких містять однойменні методи оброблення і з'єднані між собою ребрами, що належать вторинному графу.

На заключному етапі синтезу технологічного маршруту передбачається визначення послідовності виконання операцій, тобто задача зводиться до впорядкування операційних підграфів. З цією метою технологічні операції перевіряються на сумісність, тобто на можливість передування операцій один одній в типових схемах побудови маршрутної технології.

Для перевірки операцій на сумісність служить таблиця, в якій операції записані за порядком їх можливого виконання. Ця таблиця будується розробниками САПР ТП на основі положень, згідно з якими спочатку підготовляють технологічні бази, потім виконуються чорнові, чистові і оздоблювальні операції. В результаті проєктування ЕОМ формує технологічний маршрут виготовлення деталі (табл. 15).

Таблиця 15.

Технологічний маршрут деталі типу «вал»

Номер операції	Код операції	Операція	Поверхні, оброблювані в операції (нумерація згідно ТКВ)
1	201	Центрувальна	80, 10
2	101	Токарна чорнова	1,8,2,3,4,5,7
3	102	Токарна чистова	1,8,2,3,4,5,6,7
4	301	Круглошліфувальна	2,7
5	310	Полірувальна	7

Отриманий в результаті синтезу технологічний маршрут може уточнюватися в подальшому на стадії проєктування операційної технології.

РОЗДІЛ 6.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

6.1. Загальна схема проєктування технологічних операцій

Найбільш трудомістким етапом технологічного проєктування є розробка змісту і складу операцій [16], які спрямовані на виконання різних видів робіт з оброблення поверхонь заготовки. Склад і зміст операції виготовлення одних і тих же деталей може бути різним, що призводить до необхідності вирішення різноманітних завдань.

При розробці операції необхідно знати маршрут оброблення заготовки, якість її виготовлення на попередній операції (точність, шорсткість, фізико-механічні та хімічні властивості).

На вигляд і зміст операції впливають такі чинники (параметри):

- конструкція деталі (розміри, конфігурація, маса);
- технічні вимоги на її виготовлення (допуски на розміри, форма і взаємне розташування поверхонь, їх шорсткість тощо);
- вид заготовки;
- програма випуску;
- набір типорозмірів обладнання (що застосовується в цехах), на який орієнтуються при розробці ТП;
- набір пристосувань, який закріплений за вибраним обладнанням.

Алгоритм проєктування технологічних операцій може бути розбитий на кілька часткових алгоритмів:

1. Визначення форми і міжопераційних розмірів деталі, що надходить на операцію, тобто призначення припусків, допусків, розрахунок операційних розмірів і допусків на них.

2. Вибір типорозміру верстата.

3. Вибір схеми базування і установки деталі.
4. Призначення типорозміру установчо-затискного пристосування.
5. Формування допустимих варіантів структури операції, що включають остаточний вибір складу переходів, визначення послідовності установок і переходів в операції.
6. Проектування різних переходів.
7. Розрахунок часу виконання переходів і допоміжних прийомів в операції.
8. Визначення раціональних характеристик і структури операції.
9. Обчислення розрахунково-технічної норми часу на операцію.
10. Визначення розряду роботи, розцінок і собівартості операції.
11. Створення операційних креслень, схем налагоджень і друку технологічних карт.

Для деяких простих операцій ряд алгоритмів в схемі може бути відсутнім. Наприклад, для однопрохідної операції алгоритм визначення послідовності установок і переходів (5) опускається. У схемах операцій, для виконання яких використовуються верстати з постійно встановленими пристосуваннями та інструментом, алгоритми вибору цих пристосувань і інструментів також опускаються.

До складу розглянутого алгоритму проектування додатково може бути включений алгоритм вибору оптимального варіанта операції. В цьому випадку проектується кілька варіантів і вибирається варіант, який має мінімальну собівартість операції.

6.2. Алгоритм розрахунку припусків і міжопераційних розмірів

Визначення припусків на обробку і допусків на проміжні операційні розміри, що забезпечують можливість отримання деталей необхідної якості, має важливе техніко-економічне значення [16].

Завищені припуски на обробку є причиною перевитрати матеріалу, збільшення трудомісткості, призводять до зниження якості поверхні через вилучення найбільш зносостійких поверхневих шарів, підвищують витрати на електроенергію. З іншого боку, занижені припуски також знижують якість оброблення, тому що не дозволяють повністю видалити дефектний шар, ускладнюють досягнення необхідної точності і шорсткості поверхні. У зв'язку з цим виникає необхідність технічно обґрунтованого вибору загального і міжопераційних припусків на оброблювані поверхні.

Під **загальним припуском** мається на увазі шар металу, який видаляють з поверхні заготовки для досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні (розміру, форми, міцності, шорсткості тощо) [2]. Загальний припуск визначається як сума операційних припусків [16]:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i,$$

де Z_i – припуск на обробку даної поверхні на i -й операції.

Операційний припуск – припуск, який видаляють під час виконання однієї технологічної операції [2].

Існують три методи визначення припуску в САПР ТП:

- диференційно-аналітичний;
- нормативний (дослідно-статистичний);
- інтегрально-аналітичний.

Диференційно-аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі виробничих похибок і є найбільш точним. Він диференційовано враховує вплив на величину припуску конфігурації і розмірів деталі, якості заготовки, а також похибок, що виникають при механічній і термічній обробці.

Найбільш загальний вигляд формули для визначення мінімального припуску, мм, на обробку на i -ї операції можна представити у вигляді:

$$Z_i = (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} - \bar{\varepsilon}_i)k,$$

де Rz_{i-1} – висота шорсткості нерівностей профілю, мкм;

T_{i-1} – глибина дефектного шару на попередній операції (переході), мкм;

$\bar{\rho}_{i-1}$ – векторна сума просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь оброблюваної заготовки, що отримані на попередній операції, мкм;

$\bar{\varepsilon}_i$ – векторна сума похибок базування і закріплення, мкм;

k – коефіцієнт, що враховує характер припуску (для одностороннього припуску $k=1$, для симетричного – $k=2$).

Розглянутий метод знаходить найбільше застосування при автоматизації вирішення технологічних задач. Він дозволяє найбільш точно визначати значення припусків і операційних розмірів, що сприяє в ряді випадків зниженню відходів металу в стружку на 20-50%.

В якості вихідної інформації для автоматизації розрахунку припусків використовуються дані: креслення деталі з технічними вимогами, метод отримання заготовки, точність і якість заготовки, установчі пристосування, технологічний маршрут оброблення елементарної поверхні і вид термічного оброблення.

Алгоритм розрахунку припусків і операційних розмірів з використанням диференційно-аналітичного методу включає етапи:

1. Введення вихідної інформації.
2. Вибір або призначення технологічного маршруту оброблення l -ої елементарної поверхні.
3. Визначення складових Rz_{i-1} , T_{i-1} , $\bar{\rho}_{i-1}$, $\bar{\varepsilon}_i$ з використанням довідкової інформації в БД.
4. Розрахунок мінімального припуску Z_i для i -ї операції.
5. Визначення допусків для відповідних квалітетів, їх верхніх і нижніх відхилень l -ої поверхні для кожної i -ої операції.
6. Розрахунок максимальних, загальних і номінальних припусків на всі операції ТП оброблення l -ї поверхні.

7. Розрахунок мінімальних і максимальних розмірів оброблюваних поверхонь по всіх операціях оброблення l -ї поверхні.

Основною складністю створення описаного алгоритму є підготовка та формалізація на третьому і п'ятому етапах великого обсягу довідково-нормативної інформації, особливо для визначення похибок базування, закріплення, просторових відхилень в зв'язку з їх різноманіттям в залежності від конкретних умов оброблення.

Нормативний метод визначення припусків, який ще називають **дослідно-статистичним**, є основним методом призначення припусків при неавтоматизованому проектуванні. В основі цього методу лежить використання нормативних таблиць, за якими визначається припуск в залежності від розмірів поверхні, виду і способу оброблення, наявності та характеру термооброблення. При цьому припуск встановлюється на основі дослідних даних про фактичні припуски, при яких проводилася оброблення аналогічних заготовок.

Через великий обсяг нормативних таблиць цей метод розрахунку припусків знаходить більш обмежене застосування в САПР ТП, ніж диференційно-аналітичний, незважаючи на те що сам алгоритм вибору припуску в цьому випадку є більш простим.

Інтегрально-аналітичний метод визначення припусків заснований на використанні емпіричних рівнянь наступного типу (для поверхонь обертання):

$$Z_i = a + bD^m + cL^n.$$

У цій залежності коефіцієнт a являє собою частину припуску, яку необхідно зняти, щоб видалити дефектний шар T_{i-1} і нерівності Rz_{i-1} . Сума $bD^m + cL^n$ відповідає частині припуску, яка вводиться для компенсації нерівномірності, що обумовлена просторовими відхиленнями окремих ділянок оброблюваної поверхні і залежить від габаритів деталі D , L і способу її установки. Коефіцієнти a , b , c і показники ступеня m і n можуть бути визначені шляхом оброблення довідково нормативних таблиць операційних

припусків. Ці параметри емпіричних формул обчислюються методом найменших квадратів.

Як приклад в табл. 16 наведено емпіричні формули для розрахунку мінімальних операційних припусків для поверхонь обертання, які були отримані на підставі опрацювання табличних загальномашинобудівних нормативних даних.

Таблиця 16.

Емпіричні формули для розрахунку мінімальних операційних припусків
поверхонь обертання

Операція	Мінімальний припуск на обробку, мм
Токарна чорнова (для різних видів заготовок)	1. Горяче штампування $Z_{\min} = 0,2 + 0,57D^{(0,21-0,0001/L)} + 0,0195L^{0,7}$
	2. Прокат звичайної точності $Z_{\min} = 0,154 + 0,439D^{(0,21-0,00017/L)} + 0,0151L^{0,7}$
	3. Прокат підвищеної точності $Z_{\min} = 0,112 + 0,319D^{(0,21-0,00017/L)} + 0,011L^{0,7}$
	4. Лиття в кокіль $Z_{\min} = 1,9D^{0,1} - 1,42$
Токарна напівчистова	$Z_{\min} = 1,52D^{0,1} - 1,13$
Токарна чистова	$Z_{\min} = 0,013D^{0,5} + 0,000745L + 0,2$
Шліфувальна чорнова	$Z_{\min} = 0,0713D^{0,15} + 0,000213L - 0,0123$
Токарная тонкая	$Z_{\min} = 0,00435D^{0,5} + 0,000238L + 0,133$
Шліфувальна чистова	$Z_{\min} = 0,0356D^{0,15} + 0,000106L - 0,0064$
Шліфувальна тонка	$Z_{\min} = 0,021D^{0,15} + 0,000043L - 0,0014$
Накатна Суперфінішна Полірувальна	$Z_{\min} = 0$

Використання інтегрально-аналітичного методу дозволяє встановити за допомогою емпіричних залежностей мінімальні операційні припуски для різних поверхонь і методів оброблення. На основі емпіричних залежностей типу Z_{min} для зовнішніх поверхонь обертання розроблено алгоритм [16] визначення операційних припусків і розмірів (рис. 29).

Процес обчислення припусків починається з останньої k -ї операції маршруту оброблення елементарної поверхні. Спочатку визначається мінімальний діаметр деталі після виконання k -ї операції $D_{min\ k}$ (оператор 3). Потім визначається припуск $Z_{min\ i}$ для i -ї операції за залежностями з табл. 16 (оператор 5). Допуск ρ_i для операційних розмірів при виконанні різних операцій розраховують за спеціальною підпрограмою (оператор 6) за відомими залежностям. Після визначення $D_{max\ i}$ (оператор 7) перевіряється число розрахованих операцій, і якщо $i > 1$, то переходять до $(i-1)$ -ї операції, і цикл повторюється.

Процес обчислення закінчується друком у формі спеціальних бланків значень Z_{min} , D_{max} , D_{min} , δ_i для всіх аналізованих операцій маршруту оброблення елементарної поверхні.

При розрахунку припусків в якості вихідної інформації зазвичай використовується, як зазначалося вище, заздалегідь спроектований технологічний маршрут, з урахуванням якого і призначається припуск.

При більш загальному підході до вибору оптимальних припусків з метою забезпечення в процесі оброблення заготовки необхідної якості поверхні і точності при мінімальній собівартості виготовлення деталі виникає необхідність в аналізі різних варіантів маршрутів оброблення елементарних поверхонь.

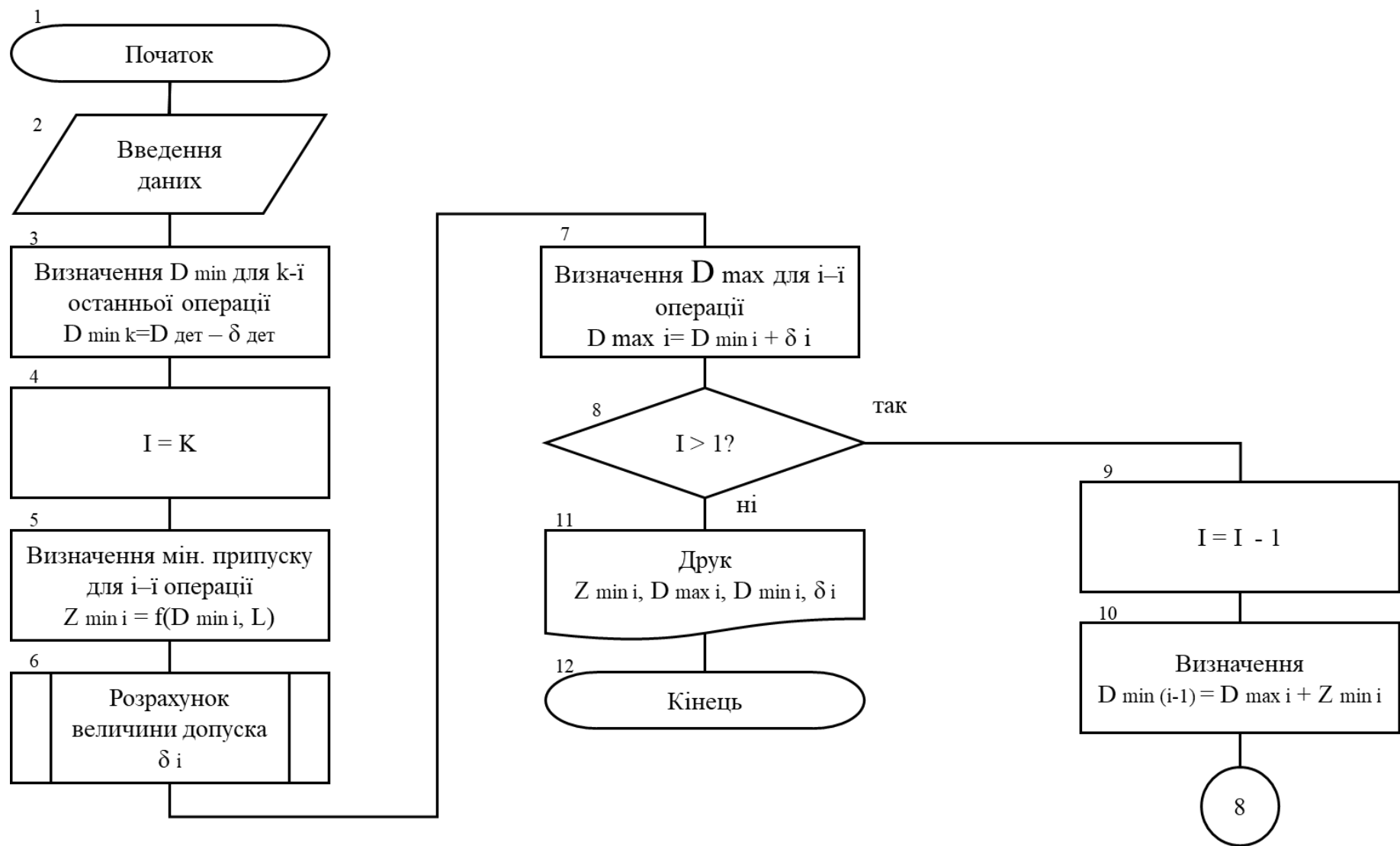


Рисунок 29 – Схема алгоритму розрахунку мінімальних операційних припусків і розмірів

Розглянемо цю задачу на прикладі формування технологічного маршруту оброблення елементарної зовнішньої поверхні обертання [16]. Стосовно до таких поверхонь зручно використовувати поняття «стадія оброблення», під яким розуміють укрупнену групу операцій, що включає однорідну за характером, точністю і якістю обробку елементарних поверхонь. Це поняття може бути віднесено і до деталі в цілому. Зазвичай виділяють такі стадії оброблення:

- I – чорнова;
- II – напівчистова;
- III –чистова;
- IV – тонка;
- V – оздоблювальна;
- VI – доводочна операції.

Для елементарних поверхонь стадія оброблення збігається з операцією або переходом, причому число операцій, що забезпечують близькі за значенням вимоги якості виготовлення деталі, в межах однієї стадії може бути різним (табл. 17).

Таблиця 17.

Масив операцій оброблення елементарних зовнішніх поверхонь обертання

Стадія оброблення	Операція	Код операції	Точність в квалітетах	Параметри шорсткості, мкм	
				R _z	R _a
I	Токарна чорнова	1	14	160	
II	Токарна напівчистова	2	12	80	
III	Токарна чистова	3	10		2,5
	Шліфувальна чорнова	4	10		2,5
IV	Токарна тонка	5	7		0,8
	Шліфувальна чистова	6	7		0,8
V	Шліфувальна тонка	7	6		0,25
VI	Накатна	8	6		0,16
	Суперфінішна	9	5		0,08
	Полірувальна	10	6		0,04

Аналіз наведених даних показує, що для досягнення певної точності і шорсткості елементарної поверхні можуть бути використані різні технологічні маршрути. Для їх опису можна скористатися методами теорії графів.

Технологічний маршрут оброблення елементарної зовнішньої поверхні обертання тоді може бути представлений у вигляді графа (рис. 30), в якому вершинам зіставлені характеристики точності і шорсткості, а ребрам – коди операцій (табл. 17). Подібні графи розробляються на основі загальних правил побудови маршрутів оброблення певного типу елементарних поверхонь, відомих з технології приладо- та машинобудування. Так, при використанні операції накочування (код 8) відпадає необхідність у виконанні операції тонкого шліфування (код 7), що дозволяє перейти в цьому випадку відразу з IV стадії до VI. Загальна кількість можливих варіантів оброблення розглянутого типу поверхні, як видно з рис. 30, не перевищує дев'яти, і тому оптимальний варіант може бути отриманий їх перебором.

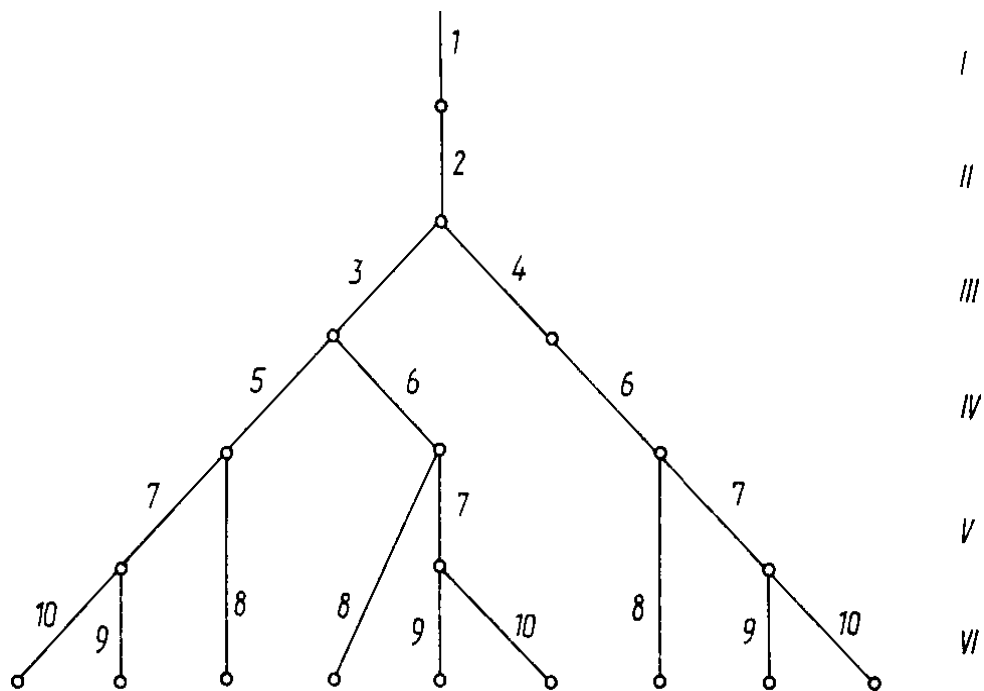


Рисунок 30 – Граф технологічного маршруту оброблення елементарної зовнішньої поверхні обертання

Розглянемо побудову алгоритму визначення оптимального припуску [16] на обробку з використанням інтегрально-аналітичного методу в діалоговому режимі проєктування (рис. 31). Вихідними даними в цьому випадку є загальні відомості про деталь (матеріал, габаритні розміри, вид термооброблення), розміри, точність і шорсткість оброблюваної поверхні, тип заготовки тощо.

Залежно від заданої точності і шорсткості поверхні деталі визначається кінцева стадія STMAX (оператор 3), а в залежності від виду заготовки і її точності – початкова стадія STMIN (оператор 5) процесу оброблення.

Після цього на підставі аналізу графа технологічного маршруту оброблення (рис. 30) з усіченими вершинами або даних (табл. 17) формується множина N можливих маршрутів $\langle M_1, M_2, \dots, M_n \rangle$. Далі здійснюється їх послідовний аналіз і розрахунок. Для цього на екран дисплея виводиться M_1 – маршрут оброблення даної поверхні (оператор 9). Якщо запропонований маршрут приймається, то розраховуються операційні припуски і розміри (оператор 11) за спеціальною підпрограмою, один з алгоритмів якої описаний раніше і показаний на рис. 29. Результати проєктування виводяться на екран дисплея, і після їх аналізу приймається рішення про вибір оптимального варіанту (оператори 12, 13).

У тих випадках, коли проєктувальник відкидає запропонований i -й варіант маршруту оброблення (оператори 10 і 13), на екран дисплея видається $(i+1)$ -й варіант, для якого аналогічно аналізуються і розраховуються операційні припуски і розміри. Після вибору оптимального варіанту результати проєктування виводяться на друк у вигляді технологічної карти.

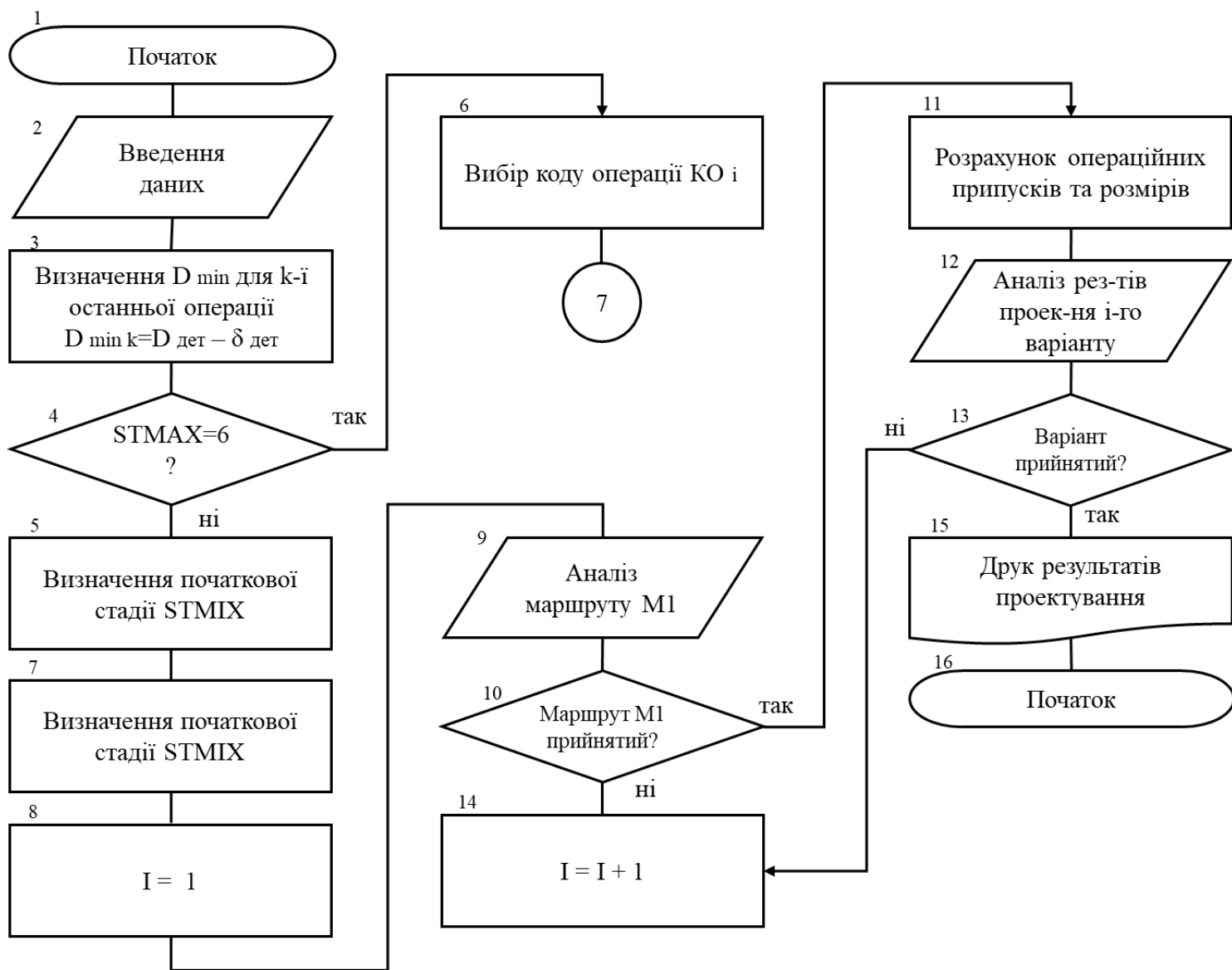


Рисунок 31 – Схема алгоритму розрахунку оптимальних операційних припусків в діалоговому режимі проектування

6.3. Вибір обладнання

Основними факторами [14], що впливають на вибір обладнання, є:

- конструкція деталі, її габаритні розміри та інші характеристики (наприклад, оброблюваність);
- необхідна точність оброблення;
- вид заготовки (штучна, з прутка);
- обсяг випуску виробів, тип виробництва, розмір партії заготовок.

Вибір обладнання виконується в три етапи:

- 1) вибір групи верстата (токарний, фрезерний тощо – відбувається зіставленням варіантів оброблення);
- 2) вибір класу верстата (універсальний або з ЧПК);
- 3) вибір типорозміру верстата (моделі).

Ефективність застосування верстатів з ЧПК виражається в:

- підвищенні точності і однорідності оброблюваних деталей;
- підвищенні продуктивності оброблення завдяки зменшенню частки допоміжного часу з 70 - 80% для звичайних верстатів до 40-45%; в середньому продуктивність зростає: для токарних верстатів в два-три рази, для фрезерних – в три-чотири рази і для обробних центрів – в п'ять-шість разів;
- зниженні собівартості оброблення, що пов'язано з підвищенням продуктивності, зниженням витрат на пристосування тощо;
- в значному скороченні потреби у висококваліфікованих верстатниках (робітниках) (внаслідок багатостанкового обслуговування тощо).

Є сфери виробництва, в яких застосування верстатів з ЧПК є явно доцільним. Це оброблення заготовок, які мають складну конфігурацію та

різні фасонні поверхні і виготовлення яких на традиційних верстатах неможливе або вимагає великих витрат часу і праці.

Головними умовами вибору обладнання є [16]:

- відповідність технологічних можливостей верстата $CT_{т.в}$ множині переходів $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ проєктованої операції: $\{a_1, a_2, \dots, a_n\} \in CT_{т.в}$;
- відповідність робочої зони верстата $L_{вст.}$ простору, що займає пристосування з оброблюваною заготовкою та інструментальною наладкою ($L_{пр} + L_{заг} + L_{ін}$): $L_{верст.} = L_{пр.} + L_{заг.} + L_{ін.}$.
- економічна доцільність застосування тих чи інших верстатів (економічно допустима партія деталей $N_{ек}$) в залежності від типу виробництва або розмірів партії деталей N : $N_{дет.} \geq N_{ек}$.

Сукупність зазначених умов утворює математичну модель вибору допустимих типорозмірів обладнання. Число співвідношень моделі і їх вигляд визначаються конкретним типом операції, схемою установки заготовки, її формою і розмірами, а також призначенням створюваної САПР ТП.

Алгоритм вибору верстата зазвичай будується на підставі аналізу інформаційно-логічних таблиць. У таблицях верстати групуються за типами від більш продуктивних до менш продуктивних, а в кожному типі – від менших моделей до великим. Попереднє упорядкування верстатів за їх продуктивністю і розмірами дозволяє отримувати раціональні рішення за найменше число кроків. За алгоритмом перевіряється відповідність умов вибору обладнання параметрам оброблюваної заготовки. Якщо для певної моделі верстата хоча б одна з умов не виконується, то для аналізу необхідно вибрати верстат наступної моделі, технічна характеристика якого забезпечує досягнення заданих якостей деталі.

Розглянемо побудову алгоритму вибору обладнання для раніше описаного прикладу проєктування типових ТП [16]. Основними параметрами

цього завдання є серійність виробництва і розміри заготовки (готової деталі):

D – найбільший зовнішній діаметр;

L – довжина;

d – найбільший діаметр осевого отвору;

d_1 – найбільший діаметр неосевого отвору;

D_r – діаметр різби;

$L_{ш}$ – довжина шліців;

M – модуль зубчастої поверхні.

Для кожної групи обладнання характерні певні умови вибору, пов'язані з окремими ознаками деталі (табл. 18). Так, вибір верстата при обробці деталей класу «вали» для токарної групи операцій визначається найбільшим діаметром заготовки D і її довжиною L , тобто ці параметри обумовлюють вибір типорозміру верстата по висоті центрів і найбільшій міжцентровій відстані.

Таблиця 18.

Умови вибору обладнання для типових операцій (фрагмент)

Групи однотипних операцій	Коди	Параметри деталі, що визначають вибір обладнання
Токарна	104, 106, 105, 107, 108, 109	D, L
Токарно-револьверна	110, 111	D, L, d
Центрувальна	202, 203	D, L
Сверлильна спеціальна	213, 212	d, L
Сверлильна (вертикальна)	216	d, L
Алмазно-розточна	238	d, L
Круглошліфувальна	345, 346	D, L
Шліцешліфувальна	347	$L, L_{ш}$
Безцентрово - шліфувальна	348, 349	D
Внутрішшліфувальна	350	d, L
Суперфінішна	354	D, L
Полірувальна	356	D, L
Зубофрезерна	528, 529	D, M

Важливим фактором для вибору обладнання є також тип виробництва. При розробці алгоритму повинні враховуватися основні тенденції розвитку сучасного приладо- та машинобудівного виробництв. Для одиничного виробництва переважно підбираються універсальні верстати та верстати з ЧПК, а для великосерійного і масового – напівавтомати і автомати. Однак такий однозначний підхід не може бути реалізований у всіх випадках. Так, для серійного виробництва необхідно проводити перевірку доцільності застосування верстатів з ЧПК. Така перевірка виконується з урахуванням складності форми деталі і точності її оброблення за допомогою спеціального оператора.

При складанні таблиці вибору рішень при визначенні моделей верстатів необхідно враховувати діапазони розмірів оброблюваних на них деталей (табл. 19). У наведеній таблиці для токарної операції ці діапазони визначають вибір відповідних типорозмірів верстатів.

Таблиця 19.

Фрагмент таблиці вибору моделі верстата (токарна операція)

Діаметр D, мм	Довжина L, мм						
	до 150		150-250		250-400		...
	Модель верстата	Серійність	Модель верстата	Серійність	Модель верстата	Серійність	...
10-40 ...	16P04P	1	16P04P	1	16T04A	1	...
	1B340Φ30	2	1B340Φ30	2	1B340Φ30	2	
	1B265-6K	3	1B240-6K	3	1712	3	
	1B265-6K	4	1B240-6K	4	1712	4	
40-60 ...	1E365B	1	16P04P	1	16E04B	1	
	16P04P	2	КТ-141П	2	16K20Φ3	2	
	1B265-6K	3	1B290-8K	3	1712	3	
	1B290-8K	4	1B290-8K	4	1712	4	
...	...	...	...	...	...	...	

Розглянемо фрагмент бази знань вибору обладнання [14] – вибір зубошевінговальних верстатів, характеристики яких представлені в табл. 20.

Для нормального представлення алгоритму вибору рішень цього завдання можна використовувати таблицю рішень з обмеженими входами (табл.21).

Таблиця 20.

Характеристики зубошевінговальних верстатів

Модель верстату	Розміри деталей, мм				Параметри зубчатого вінця			
	Діаметр		Довжина		Модуль, мм		Кут нахилу зуба, град.	
	D_{min}	D_{max}	L_{min}	L_{max}	m_{min}	m_{max}	α_{min}	α_{max}
5A702Г	60	320	0	110	1,50	6	0	35
5703В	125	500	0	80	1,75	8	0	17
5717С	300	800	0	200	2,00	8	0	35

Таблиця 21.

Вибір зубошевінговального верстата

Опис критерію вибору	Умова вибору	Виконання умов вибору для різних моделей верстатів			
		5A702Г	5703В	5717С	Верстат не вибрано
Діаметр деталі менше 60 мм?	$D < 60$	Ні	-	-	-
	$D \leq 320$	Так	-	-	-
	$D \leq 500$	-	Так	-	-
	$D \leq 800$	-	-	Так	-
Довжина деталі менше або рівна 110мм?	$L \leq 110$	Так	-	-	-
	$L \leq 80$	-	Так	-	-
	$L \leq 200$	-	-	Так	-
Модуль менше або рівний 1,5?	$m \leq 1,5$	Ні	-	-	-
	$m \leq 6$	Так	-	-	-
	$m \leq 8$	-	Так	Так	-
Кут нахилу зуба менше или рівний 17°?	$\alpha \leq 17$	-	Так	-	-
	$\alpha \leq 35$	Так	-	Так	-
Вибрано верстат моделі 5A702Г	СТАНОК = '5A702Г'	1			
Вибрано верстат моделі 5703В	СТАНОК = '5703В'		1		
Вибрано верстат моделі 5717С	СТАНОК = '5717С'			1	
Верстат не вибрано	СТАНОК = '-'				1

6.4. Алгоритм вибору схеми установки деталі

Вибір схеми установки деталі на металорізальному верстаті [16] залежить від:

- виду операції,
- жорсткості деталі,
- виду оброблюваних поверхонь (зовнішніх і внутрішніх),
- необхідної точності оброблення.

Розглянемо побудову алгоритму вибору схеми установки деталі для токарних операцій. Найбільш важливою умовою вибору рішення в цьому випадку є жорсткість деталі, яка визначається для тіл обертання співвідношенням діаметрального розміру і довжини.

Особливості оброблення на токарних верстатах показують, що всі деталі доцільно розділяти по жорсткості на 3 групи:

1) j_k – жорсткість деталі, достатня для консольного оброблення.

Для цього розміри деталі: найбільший діаметр D , середній діаметр d_c і довжина L повинні відповідати наступним співвідношенням:

$$D \leq 35 \text{ мм}; L / d_c \leq 5;$$

$$D = 35 - 65 \text{ мм}; L / d_c \leq 3,3;$$

$$D > 65 \text{ мм}; L / d_c \leq 2,2;$$

2) j_u – жорсткість деталі, що вимагає 2-опорної установки.

Розміри деталі повинні відповідати наступним співвідношенням:

$$D \leq 35 \text{ мм}; L / d_c \leq 10;$$

$$D > 35 \text{ мм}; L / d_c < 15;$$

3) j_l – жорсткість деталі, що вимагає при обробці введення додаткових опор, наприклад у вигляді люнетів. Для цього випадку справедливе співвідношення

$$L / d_c = 15 - 25.$$

На підставі відомостей про жорсткість деталі, виді поверхні, а також необхідну точність оброблення може бути побудована таблиця вибору рішення (табл. 22).

З цієї таблиці видно, що в залежності від прийнятих умов забезпечується вибір схеми установки деталі для токарних операцій у вигляді різних поєднань наступної технологічної оснастки: оправки, центри, патрон 3-кулачковий і люнет.

За алгоритмом розглянутого типу перевіряються послідовно всі умови вибору рішень. Якщо будь-яке значення аналізованої умови не виконується, то переходять до наступного. Після аналізу останньої умови приходять до єдиної схемою установки деталі.

Таблиця 22.

Таблиця вибору схеми установки деталі для токарних операцій

Жорсткість деталі	j_k		j_c			j_l	
Вид оброблюваної поверхні	Зовнішні поверхні	Отвори	Зовнішні поверхні		Отвори	Зовнішні поверхні	
Вид и точність оброблення	$\delta_i < \delta_{\text{доп}} E^*$	—	Чорнова	Напів-чистова	—	Чорнова	Напів-чистова
Пристосування для встановлення деталі	Оправка, центри	Патрон 3-кулачковий	Патрон 3-кулачковий, задній центр	Центри	Патрон 3-кулачковий, люнет	Патрон 3-кулачковий, люнет, задній центр	Центри, люнет

Примітка. E^* - оператор, який перевіряє наявність в деталі центрального отвору, пов'язаного з оброблюваною зовнішньою поверхнею биттям $\delta_i < \delta_{\text{доп}}$, а також відповідність розмірів і точності центрального отвору для установки деталі на оправку.

6.5. Алгоритм вибору установчо-затискного пристосування

Технологічне оснащення вибирається після вибору обладнання та схеми установки деталі [16]. Причому прийнята модель обладнання в значній мірі визначає вид і типорозмір пристосування. Зазвичай при розробці САПР ТП за кожним верстатом закріплюється типовий комплект пристосувань, що включає універсальні пристосування, які поставляються разом з верстатом, а також нормалізовані пристосування, що розширюють можливості установки і закріплення оброблюваних на цьому верстаті деталей.

Алгоритм вибору установчо-затискного пристосування найбільш просто може бути представлений в табличному вигляді (табл. 23).

Таблиця 23.

Таблиця вибору установчо-затискних пристосувань для токарних операцій

Схема установки деталі	Модель верстату			
	1A616	1K62	163	...
В патроні	Патрон 250	Патрон 250	Патрон 400	...
В патроніс заднім центром	Патрон 250, центр 4	Патрон 250, центр 5	Патрон 400, центр 5	...
В патроні та люнеті	Патрон 250, люнет	Патрон 250, люнет	Патрон 400, люнет	...
...	...	...	...	...

Як видно з наведених даних, номери типорозмірів установчо-затискних пристосувань визначаються в залежності від моделі верстата і схеми установки деталі.

6.6. Алгоритм вибору числа і послідовності переходів в операції

Визначення оптимальної кількості та послідовності переходів для багатьох операцій механічного оброблення є складним комбінаторним

завданням [16], яке найефективніше можна вирішити, використовуючи методи евристичного програмування.

Зазвичай визначають оптимальну послідовність переходів оброблення ступінчатих поверхонь деталі (плоских, циліндричних зовнішніх та внутрішніх). Розглянемо, як приклад, побудову алгоритму вибору оптимального числа і послідовності переходів на чорнових токарних операціях для ступінчатих валів. В якості заготовки приймається гарячекатаний прокат. Кожна ступінь валу має різний припуск (найбільш складний варіант).

Послідовне оброблення ступінчатих циліндричних поверхонь може виконуватися за кількома схемами. Нижче розглянуті дві схеми (рис. 32).

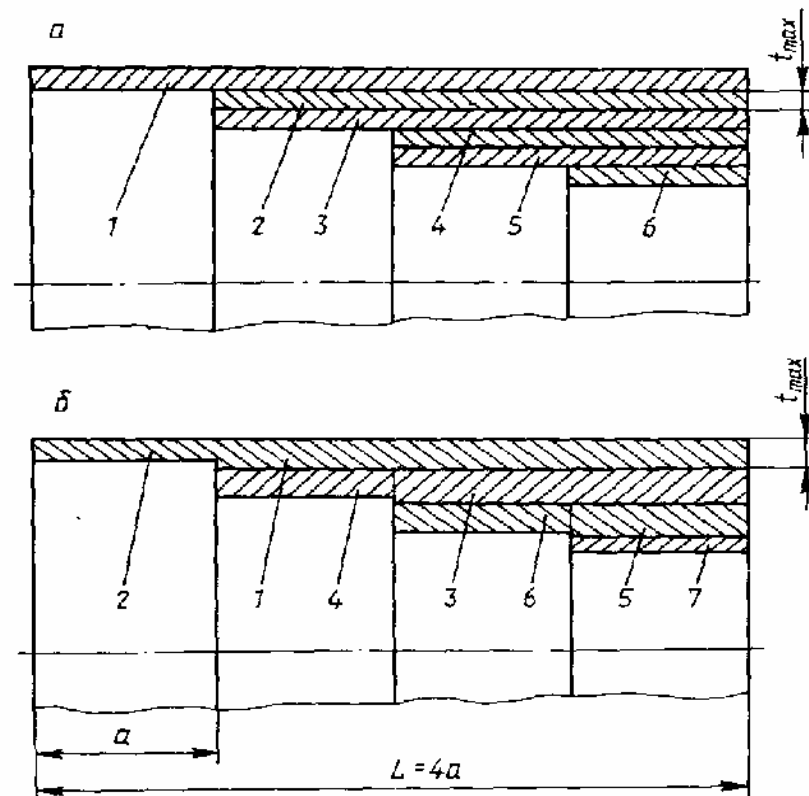


Рисунок 32 – Варіанти послідовності оброблення ступінчатих поверхонь деталі

За **першою схемою** послідовне оброблення проводиться по всій довжині валу, починаючи від найбільшого діаметра і закінчуючи найменшим. Причому перший прохід виконується з максимально допустимою глибиною різання t_{max} , а другий – з глибиною $t_i = z_i - t_{max}$, де z_i – припуск на i -й

ступені валу. Це відбувається за умови $t_i \leq t_{max}$, в іншому випадку другий прохід повинен бути повторно виконано з глибиною t_{max} , а потім знятий залишок припуску i -го ступеня.

Найбільш прогресивною з точки зору теорії різання є *друга схема* послідовності оброблення. В її основі лежить максимально можливе виконання переходів з глибиною різання t_{max} і в результаті – найбільша продуктивність оброблення. Такий підхід забезпечує найменшу довжину робочого ходу, що, як відомо, визначає основний час оброблення.

Якщо прийняти довжину всіх ступенів валу $l_i = a$, то неважко визначити довжину робочого ходу $L_{р.х.}$ (без розрахунку переміщень інструменту на врізання) для розглянутих схем послідовності оброблення. Для першого варіанта $L_{р.х.} = 15a$, а для другого $L_{р.х.} = 10a$. Таким чином, другий варіант є більш продуктивним, оскільки довжина різання в 1,5 рази менша. Це співвідношення довжин різання залежить від числа і розмірів ступенів валу і вимагає розрахунку в кожному конкретному випадку.

Для побудови алгоритму послідовності оброблення деталі за другим варіантом необхідно враховувати умови:

1. Обробку вести по можливості з найбільшою допустимою глибиною різання, яка визначається видом оброблюваного матеріалу, типом інструменту, жорсткістю системи і типорозміром верстата для скорочення сумарної довжини різання.

2. Обробку бажано починати зі ступенів, що мають найбільший діаметр для збереження жорсткості деталі.

3. Обробляти деталь за менше число переходів і робочих ходів для скорочення допоміжного часу.

З урахуванням цих умов розроблений [16] алгоритм вибору послідовності переходів в операції (рис. 33). В якості вхідних даних тут використовуються діаметр заготовки DZ , діаметри DI і довжини LI всіх ступенів валу і максимально допустима глибина різання $TMAX$. На початковому етапі розрахунку виділяється перша ступінь $I=1$. Починаючи з

найбільшого діаметра валу, останнім ступенем $I=N$ є найменшим його діаметром. Припуск $PRIP(I)$ для I -ї ступені визначається як різниця діаметра заготовки $DZ(I)$ і деталі $DI(I)$.

У логічному операторі 5 порівнюється припуск I -ї ступені з максимально допустимою глибиною різання $TMAX$. Якщо вона не перевищує величини $PRIP(I)$, то виконується перший перехід з глибиною $TMAX$ (оператор 10), в іншому випадку переходять до аналізу $(I+1)$ -ї ступені за допомогою операторів 6, 8.

Спеціальна підпрограма (оператор 11) визначає довжину різання LR для кожного переходу.

Введення додаткової змінної $J=1$ в операторі 14 дозволяє визначати залишок припуску на попередній ступені $(J-1)$, якщо на ній залишився припуск $PRIP(J) \leq TMAX$. Частина припуску, що залишилася знімається з глибиною різання $PRIP(J)$ (оператор 16).

Далі для цього переходу обчислюється довжина різання $LI(J)$, яка додається (оператор 18) до раніше визначеної довжини LR .

В результаті проектування визначаються дані про діаметри заготовки $DZ(I)$ для кожного ступеня після виконання всіх переходів і сумарна довжина різання LP , на підставі якої може бути виконано порівняння схем послідовності оброблення для вибору оптимального варіанту.

Розглянутий алгоритм вибору послідовності переходів в операції для валу з одностороннім розташуванням ступенів може також використовуватися для більш складних деталей з 2-х стороннім розташуванням ступенів. В цьому випадку послідовно визначається число переходів для однієї, а потім для іншої сторони валу. Крім того, він застосовується з незначною зміною при виборі числа і послідовності переходів при обробці ступінчатих отворів.

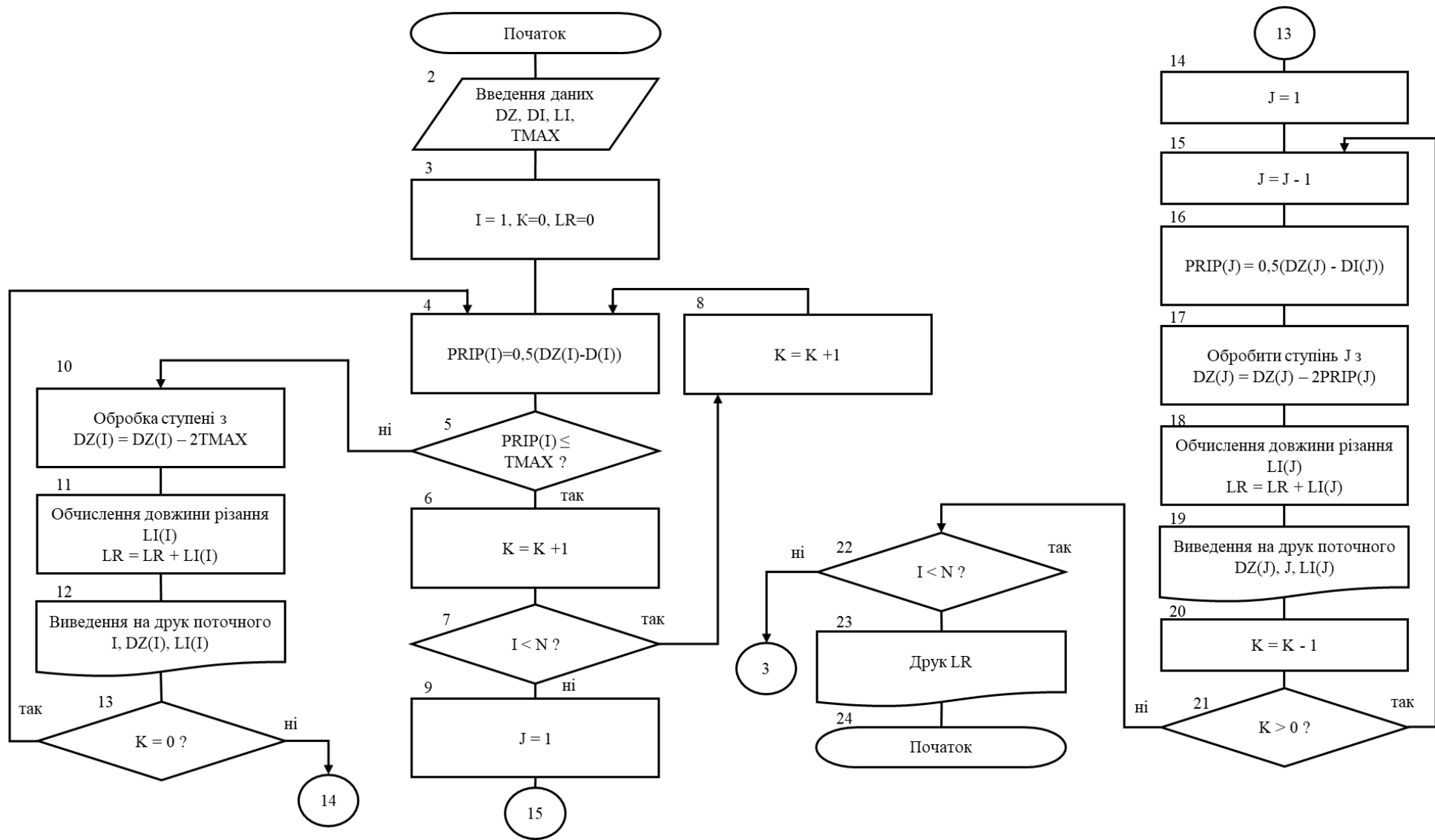


Рисунок 33 – Схема алгоритму вибору послідовності переходів в операції

РОЗДІЛ 7.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРЕХОДІВ

7.1. Алгоритм проєктування переходів

На основі аналізу конструктивно-технологічних ознак окремих поверхонь деталі вибирають коди переходів [16]. При цьому можуть бути використані таблиці відповідності і раніше розглянуті універсальні алгоритми і програми для вирішення даного типу завдань.

Загальний алгоритм проєктування переходу ділиться на ряд часткових алгоритмів:

- 1) вибір допустимих способів виконання переходу;
- 2) визначення типорозмірів різального інструменту;
- 3) визначення типорозмірів допоміжних інструментів;
- 4) визначення типорозмірів вимірювальних інструментів;
- 5) визначення допустимих варіантів структури переходу;
- 6) розрахунок режимів різання і визначення основного часу для кожного варіанту;
- 7) визначення часу виконання допоміжних прийомів для кожного варіанту структури переходу;
- 8) вибір структури переходу і елементів оброблюючої системи;
- 9) формування описів переходу для запису в технологічну карту.

Основна мета проєктування переходу – визначення змісту переходу, його технологічного оснащення, нормування та опис характеристик поверхонь, що обробляються на переході.

Обсяг вхідних даних для проєктування переходу залежать від рівня автоматизації, який встановлений для САПР ТП. При першому рівні автоматизації інформація про перехід вводиться технологом в режимі діалогу.

Для другого і третього рівня автоматизації інформація, яка необхідна для проєктування переходу, міститься в параметричних моделях ТП і вихідних даних про заготованку. У загальному випадку вхідні дані можна розділити на три групи:

- геометричні;
- технологічні;
- економічні.

Геометричні дані містяться в параметричній моделі вихідної заготовки для заданої операції. Для поточного переходу необхідно використовувати:

- параметри оброблюваних на переході поверхонь (форма, розміри, їх точність, шорсткість і твердість);
- базові поверхні, від яких необхідно тримати розміри;
- загальні розміри заготовки.

Технологічні дані містяться в параметричній моделі поточного переходу. Однак на початку проєктування переходу звичайно відомий лише код переходу. З моделі поточної операції можуть бути обрані:

- схема базування і вид пристосування;
- код моделі обладнання або сама модель (для визначення режимів оброблення і точності).

Крім того, код матеріалу може бути вибраний з параметричної моделі вихідної заготовки.

До економічних даних відноситься розмір партії або річний обсяг випуску деталей. Ці дані зазвичай вводяться в параметричну модель на початку проєктування технологічного процесу.

В процесі проєктування переходу також використовується раніше отримана інформація про обладнання, пристосування, інструмент, припуски і

довідкова інформація про режими різання та норми часу. Отже, необхідно мати швидкий і зручний доступ до баз даних і знань як в режимі діалогу, так і в автоматизованому режимі. Від раціональної організації СУБД в першу чергу залежить ефективність проектування переходу.

Склад вихідних даних залежить від обраного ступеня деталізації оформлення ТП.

При першому рівні автоматизації результати проектування переходу фіксуються в текстовому файлі, що містить маршрутно-операційну або операційну технологічну карту.

На другому і третьому рівнях проектування результати проектування переходу зазвичай містяться в параметричній моделі поточного переходу і в параметричній моделі вихідної заготовки.

Доцільно виділити дві групи вихідних даних: технологічні та геометричні.

Технологічні дані:

- текст переходу (наприклад, розсверлити отвір тощо);
- призначений інструмент (різальний, допоміжний, вимірювальний);
- вид охолодження інструменту;
- режими різання;
- вартість виконання переходу.

Геометричні дані:

- розміри оброблюваних на переході поверхонь;
- траєкторія руху інструменту.

7.2. Визначення структури переходу

При обробці поверхні за один перехід потрібно виконати ряд основних і допоміжних прийомів [16], таких як підведення та відведення різального інструменту, взяття пробних стружок, керування верстатом, вимірювання поверхні. Сукупність основних та допоміжних прийомів, які виконуються в певній послідовності, утворює структуру переходу.

Структура переходу для однієї і тієї ж поверхні може бути різною. Так, оброблення циліндричної і торцевої поверхні на токарному верстаті з використанням поздовжніх і поперечних подач може бути виконана за двома варіантами. На рис. 34 показані циклограми руху інструменту. В залежності від конкретних значень розмірів D , d і Z може бути більш продуктивним або перший, або другий варіант. Для вибору оптимальної структури переходу може бути використана теорія графів. В цьому випадку ребрам графа зіставлені різні прийоми по переміщенню інструменту при підводі, відведенні і обробці. Оптимальний варіант визначається як шлях на графі з початкової вершини в кінцеву, що має мінімальні витрати часу або мінімальну собівартість.

Остаточна структура переходу вибирається після визначення основного часу, часу виконання допоміжних прийомів і оцінки найбільш раціонального варіанту.

7.3. Призначення різального інструменту

Призначення різального інструменту є важливим і найбільш часто розв'язуваним завданням при проєктуванні переходу. Складність призначення різального інструменту викликана, по-перше, великою різноманітністю конфігурацій інструменту і його типорозмірів, а по-друге, не повною

формалізацією задачі його призначення. Пошук технологічного оснащення і призначення різального інструменту відбувається в три етапи [16]:

- 1) вибір виду різального інструменту;
- 2) вибір типорозміру інструменту;
- 3) визначення можливості використання вибраного типорозміру інструменту для заданої ситуації.

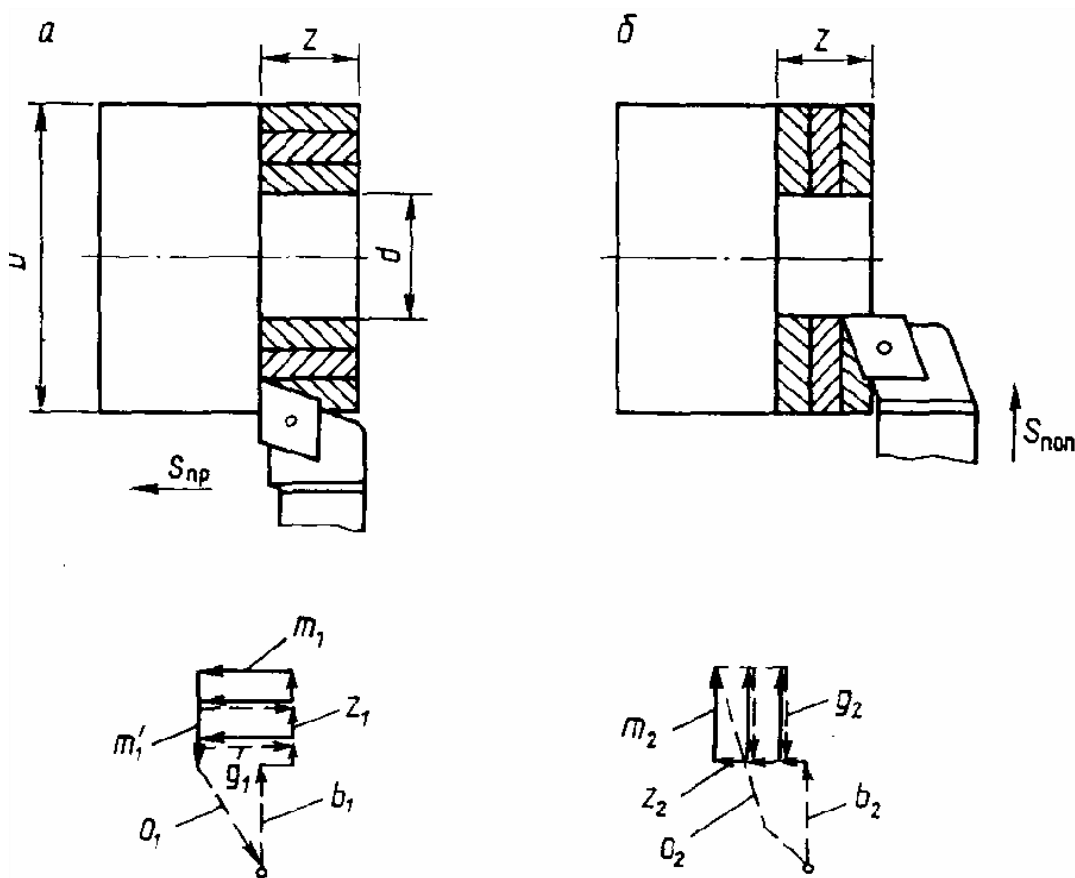


Рисунок 34 – Структура переходу при точінні з поздовжніми (а) і поперечними (б) подачами

Вихідними даними для вибору різального інструменту є:

- технологічні характеристики – група устаткування і код переходу;
- характеристики заготовки – група матеріалу і характеристики оброблюваного елемента;
- економічні характеристики – розмір партії.

В якості коду для групи обладнання можуть бути використані, наприклад, кодові позначення за класифікатором ЄСКД. Для запису групи матеріалу застосовується технологічний класифікатор. На вибір інструменту впливають форма і розміри оброблюваного елемента, причому кожен вид інструменту розрахований на певний діапазон розмірів елемента. Тому в алгоритмі вибору виду різального інструменту беруть участь граничні розміри основного оброблюваного елемента для кожного виду інструменту.

Так як у кожного конструктивного елемента заготовки свій перелік основних розмірів, то необхідно вибирати ті параметри, які в першу чергу впливають на вибір виду інструменту. Отже, в алгоритмі необхідно використовувати позначення розміру або код такого позначення, за яким можна дізнатися, який розмір використовується при виборі виду інструменту. При автоматизованому визначенні виду інструменту цей код використовується для виділення основного розміру з опису елемента для подальшого аналізу: чи знаходиться значення основного розміру в заданих межах.

Вихідний елемент може містити наступні параметри:

$$r_{ij} = \{nv, kv, sv, anv, mv\},$$

де nv – номер виду різального інструменту;

kv – код виду різального інструменту;

sv – пріоритет для виду різального інструменту;

anv – адреса набору даних з типорозмірами різального інструменту;

mv – повне найменування виду різального інструменту.

Тип інструмента кодується або за класифікатором ЄСКД, або за класифікаторами самого підприємства.

Адреса набору даних з типорозмірами різального інструменту використовується в подальшому для виклику набору з типорозмірами і подальшого пошуку типорозміру різального інструменту. При виборі виду

інструменту може бути знайдено кілька видів інструменту, які можуть бути використані для оброблення заданого елемента. Тому в вихідних параметрах треба зафіксувати номер, який буде означати пріоритет вибору інструменту. Чим більше номер, тим вище пріоритет. Якщо в таблиці вибрати рядки для кожного виду інструменту в межах однієї групи обладнання та переходу, то їх слід розташувати в порядку убутання пріоритету, де перший запис буде за замовчуванням мати найбільший пріоритет. Приклад формування набору даних для вибору виду інструменту наведено в табл. 24 [16].

Таблиця 24.

Вид різального інструменту

Системний номер	Група обладнання	Код переходу	Група матеріалу заготовки	Розмір оброблюваного елементу, мм			Розмір партії	
				Познач.	мін.	макс.	мін.	макс.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Адрес набору		Вид інструменту		Пріоритет		Найменування інструменту		
10		11		12		13		

Формування бази інструменту засноване на аналізі стандартів і каталогів різального, допоміжного та вимірювального інструмента, які є на конкретному підприємстві. В першу чергу для занесення до БД відбираються ті документи, які будуть використані для завдань першої черги автоматизації. Виходячи із загальної методики призначення технологічного оснащення і переважного використання декларативного опису алгоритму вибору виду інструменту на першому етапі вирішення задачі призначення різального інструменту складається таблиця вибору виду інструменту. Як приклад може бути запропонована табл. 24.

Ця таблиця розрахована на використання лише одного основного розміру оброблюваного елемента. При необхідності таблиця може бути розширена на кілька розмірів оброблюваного елемента.

Для другого етапу вибору інструменту до БД заносяться набори даних з типорозмірами різального інструменту. Як приклад розглянемо формування БД для свердел за ДСТУ ГОСТ 886:2008.

Для вибору конкретного різального інструменту повинні бути виявлені параметри, які його визначають. Так, для спіральних свердел в якості таких параметрів можуть бути:

- T – точність свердла (1 – нормальна, 2 – підвищена);
- Isp – номер виконання;
- Nv – напрямок обертання (1 – праве, 2 – ліве);
- D – діаметр свердла, мм;
- L – довжина свердла, мм;
- lr – довжина різальної частини, мм;
- Naim – повне позначення свердла.

При побудові БД з метою мінімізації обсягів інформації, що зберігається і зручності її формування повинна бути попередньо визначена структура набору даних (табл. 25).

Таблиця 25.

Структура набору даних для спіральних сверدل

Точність, Т	Номер виконання, Isp	Напрямок обертання, Nv	Діаметр, D	Довжина, L	Довжина різальної частини, lr	Повне позначення свердла, Naim
1	2	3	4	5	6	7
N1	N1	N1	F6.2	F6.2	F6.2	C30

У цій таблиці наведено типи полів набору:

- N1 – ціле, довжиною в один символ;
- F6.2 – дійсне число, довжиною в шість символів (дві цифри після коми);
- C30 – текстове значення довжиною в 30 символів.

Як видно з табл. 25, параметри T, Isp, Nv характеризують тип свердла, параметри D, L, lr – розміри свердла, а Naim – повне найменування свердла. Так як кожен типорозмір має вісім типів, то набір даних буде мати більше 800 записів. У табл. 26 наведено початок набору даних для свердел нормальної точності, виконання 1, правих (перші шість типорозмірів).

Таблиця 26.

Набір даних для спіральних свердл

T	Isp	Nv	D	L	lr	Naim
1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	3.10	49	18	Свердло 3.10 2300-0661
1	1	1	3.15	49	18	Свердло 3.15 2300-0662
1	1	1	3.20	49	18	Свердло 3.20 2300-0663
1	1	1	3.30	49	18	Свердло 3.30 2300-0664
1	1	1	3.35	49	18	Свердло 3.35 2300-0665
1	1	1	3.40	52	20	Свердло 3.40 2300-0666
...	...	...	...	...	...	...

Аналогічно будуються БД для вимірювальних і допоміжних інструментів.

7.4. Формування змісту переходу

Після того як визначені основні параметри процесу, необхідно сформувати зміст переходу, тобто текст, що відображає дії, що виконуються на переході [16]. Відповідно до стандартів допускається повна або скорочена форма запису переходу. Повна форма запису використовується при відсутності операційних ескізів, скорочена при їх наявності.

Приклад повного запису:

«Свердли 4 наскрізних отвори з подальшим зенкуванням фасок, витримуючи $d=10^{+0.2}$, $d1=40\pm0,05$, кут $90^{\circ}\pm0,5$ і фаски $1\times45^{\circ}$ згідно креслення».

Скорочений запис:

«Свердли 4 отв. $d=10^{+0.2}$, зенкувати фаски $1\times45^{\circ}$ згідно креслення».

При наявності операційного ескізу розміри обробленої поверхні можна не вводити і вказувати лише номер поверхні.

Наприклад: «Підрізати торець 2 попередньо».

Зміст переходу може займати 100-300 символів і є складно організованим повідомленням, введення якого є трудомісткою процедурою. На першому рівні автоматизації при введенні в режимі діалогу змісту переходу можливе застосування двох підходів:

- введення кодового позначення переходу;
- введення тексту переходу з використанням комплексу класифікаторів.

При першому підході замість тексту переходу вводяться кодові позначення відповідно до державних стандартів. Кодові позначення переходу можуть бути двох типів: повний, що займає 15 позицій, і скорочений, що вимагає семи позицій. Зміст переходу попередньо кодується і потім вводиться до БД. Введення виконується швидко, проте попереднє кодування досить трудомістке. Після введення кодів вони розкодовуються і автоматично формується текст переходу. Технологу може виконувати коригування тексту, що виконується швидше, ніж повне введення переходу. Зазначена процедура введення не знайшла свого застосування через необхідність трудомісткого попереднього кодування.

Другий підхід засновано на використанні комплексу класифікаторів, що дозволяють по частинах вводити текст переходу. Комплекс містить класифікатори, що застосовуються для формування кодового позначення переходу. Зміст переходу розділено на частини, і введення кожної частини виконується з використанням переходу. Виділено наступні частини тексту переходу:

- вид переходу;
- число одночасно оброблюваних поверхонь;

- число послідовно оброблюваних поверхонь;
- оброблюваний об'єкт;
- позначення розмірів оброблюваних поверхонь;
- додаткова інформація про об'єкт;
- спосіб виконання переходу.

Розглянемо приклад формування тексту переходу. Спочатку на екран буде виведений класифікатор з видом переходу (частина класифікатора приведена в табл. 27).

Якщо було обрано рядок «Точити», то в поле з текстом переходу буде занесений вид переходу:

Точити

Таблиця 27.
Вид переходу

Код	Найменування	Код	Найменування	Код	Найменування
2	Врізатися	20	Припрацювати	82	Налаштувати
3	Галтувати	21	Протягнути	83	Перевстановити
4	Гравірувати	22	Розгорнути	84	Перевстановити і закріпити
5	Довести	25	Разсверлити	85	Перевстановити, вивірити і закріпити
6	Довбати	26	Розточити	86	Перемістити
7	Закруглити	27	Свердли	87	Почекати
8	Заточити	28	Стругати	88	Перевірити
10	Зенкерувати	29	Суперфінішувати	89	Змастити
11	Зенкувати	30	Точити	90	Зняти
12	Накатати	31	Хонінгувати	91	Встановити
13	Нарізати	32	Шевінговати	92	Встановити і вивірити
15	Обпиляти	33	Шліфувати	93	Встановити і закріпити
16	Відрізати	35	Центрувати	94	Встановити, вивірити і закріпити
17	Підрізати	36	Фрезерувати	95	Підвести
18	Полірувати	80	Вивірити	96	Відвести
19	Притирати	81	Закріпити	97	Притупити

Для введення найменування оброблюваного об'єкта виводиться класифікатор «оброблюваний об'єкт» (табл. 28.).

Таблиця 28.

Оброблюваний об'єкт

Код	Найменування	Код	Найменування
1	Буртик	19	Отвори
2	Буртики	20	Паз
3	Виточка	21	Пази
4	Виточки	22	Поверхня
5	Галтель	23	Поверхні
6	Галтелі	24	Пружина
7	Деталь	25	Пружини
8	Деталі	26	Різьба
9	Заготованка	27	Рифлення
10	Зуб	28	Ступінь
11	Зуби	29	Сфера
12	Канавка	30	Торец
13	Канавки	31	Торці
14	Контур	32	Фаска
15	Конус	33	Фаски
16	Лиска	34	Червяк
17	Лиски	35	Циліндр
18	Отвір	36	Гострі комки

Після вибору об'єкта «Циліндр» і введення номера поверхні в поле з текстом переходу буде занесений вид:

Точити циліндр 4

Якщо необхідно ввести спосіб виконання переходу, то висвітлюється класифікатор (табл. 29).

Після вибору рядка «З підрізанням торця» і введення номера торця в поле з текстом переходу буде занесений запис:

Точити циліндр 4 з підрізанням торця 5

Таблиця 29.

Спосіб виконання переходу

Код	Найменування	Код	Найменування
1	Остаточно	7	З підрізанням торця
2	Одночасно	8	З підрізанням торців
3	По копіру	9	Згідно креслення
4	По програмі	10	Згідно ескізу
5	Послідовно	11	На глибину
6	Попередньо		

Таким чином, використання класифікаторів дозволяє значно швидше, ніж при першому підході ввести текст переходу, хоча теж може знадобитися коригування тексту, зазвичай для узгодження відмінків.

Зазначений підхід використовується і при формуванні уніфікованих переходів і утворенні параметричної моделі переходу. Для цього за кожною частиною переходу закріплюється свій параметр (табл. 30).

Таблиця 30.

Параметри для текста переходу

Найменування	Позначення	Тип значення
Номер переходу	НОМ	Ціле
Вид переходу	ВИД	Ціле
Число одночасно оброблюваних поверхонь	ЧИС	Ціле
Число послідовно оброблюваних поверхонь	ЧИСП	Ціле
Оброблюваний об'єкт	ПОВ	Ціле
Номер поверхні	НОМП	Ціле
Позначення розмірів оброблюваних поверхонь	РОЗМ	Ціле
Додаткова інформація про об'єкт	ДОД	Ціле
Спосіб виконання переходу	СПОС	Ціле
Порядковий номер переходу	НОМП	Ціле

При формуванні параметричної моделі зміст переходу фіксується за допомогою зазначених параметрів. Зазначені класифікатори виводяться на екран, але замість найменувань класифікаційних груп вводяться коди цих груп. У розглянутому прикладі зміст переходу в параметричному вигляді буде виражено у вигляді

$$\text{ВИД} = 30 \text{ ПОВ} = 35 \text{ НОМП} = 4 \text{ СПОС} = 7 \text{ НОМП1} = 5$$

При кодуванні уніфікованих переходів використовують той мінімальний набір параметрів, який необхідний для подальшого правильного розуміння змісту параметра.

На другому і третьому рівнях автоматизації на підставі параметричної моделі переходу формується текст переходу і пред'являється технологу, який при необхідності його коригує. Цей текст в подальшому використовується для автоматизованого друку технологічних карт.

7.5. Розрахунок оптимальних режимів різання

Автоматизація розрахунку оптимальних режимів різання для конкретних деталей не тільки вирішує питання скорочення часу проєктування технологічних операцій і формування керуючих програм, але і дозволяє від занижених «групових» режимів різання перейти до технічно обґрунтованих режимів [16]. Це істотно збільшує продуктивність оброблення при забезпеченні заданої якості деталі.

Формулювання завдання

Розрахунок режимів різання є важливим завданням на рівні проєктування переходу. Цей розрахунок полягає у визначенні частоти обертання шпинделя n , подачі S і глибини різання t на кожному робочому ході для заданого переходу. Режими повинні бути обрані таким чином, щоб забезпечити необхідну точність розмірів і якість поверхні при найменшій вартості оброблення.

Вхідними параметрами для цього завдання є:

- вид операції та переходу;
- форма, розміри (і їх точність) оброблюваної і обробленої поверхонь;

- характеристики використовуюваного на переході різального і допоміжного інструментів;
- характеристики моделі обладнання та пристосування, що застосовуються на проєктованій операції.

Основною метою розрахунку режимів різання є визначення технічно обґрунтованих норм часу на операцію. З огляду на велику кількість варіантів, що впливають на вибір режимів різання для конкретних умов оброблення, виникає необхідність при автоматизованому проєктуванні розглядати різні методи їх призначення або розрахунку.

Стосовно до першого рівня автоматизації використовується найпростіший пошук за таблицями, що зберігає в БД. Для другого і третього рівня автоматизації проєктування використовуються спеціальні програмні комплекси для розрахунку режимів різання, що включають елементи оптимізації.

Завдання визначення оптимальних режимів різання, яка розвинулася в роботах А.М. Гільмана, Г.К. Горанской і Є.В. Владимірова є однією з найбільш масових і зустрічається при розробці різних видів ТП механічного оброблення заготовок. Через різні конкретні умови оброблення, цілі і завдання оптимізації процесу різання виникають різні варіанти формулювання цього завдання.

При описі процесу оброблення виділяють вхідні і вихідні параметри, які між собою пов'язані складними функціональними залежностями. Сукупність цих залежностей прийнято розглядати як математичну модель процесу оброблення. У загальному випадку процес оброблення носить імовірнісний характер. Однак через складність побудови залежностей, які враховують випадковий характер зміни ряду параметрів, в даний час переважно використовуються детерміновані моделі, побудовані на основі усереднених характеристик процесу.

При розрахунку режимів різання вхідні параметри поділяються на шукані (керовані) і задані (некеровані). Розрахунок оптимальних режимів

полягає у визначенні таких значень, які є найкращими (за деякими показниками) за сукупністю вихідних параметрів при заданих значеннях некерованих параметрів.

У загальному випадку оптимізація режимів оброблення включає:

- вибір шуканих параметрів;
- визначення множини їх можливих значень;
- вибір аналізованого набору вихідних параметрів процесу;
- встановлення функціональних залежностей між шуканими і вихідними параметрами при фіксованих значеннях некерованих параметрів;
- виділення цільової функції;
- призначення діапазонів можливих значень вихідних параметрів.

Набір шуканих параметрів може бути представлений у вигляді деякої множини $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Тоді розрахунок оптимальних режимів різання зводиться до задачі математичного програмування:

$$F(x) \rightarrow \min (\max),$$

$$R_i(x) \leq R_i,$$

$$x \in \{X\},$$

де $F(x)$ – залежність для прийнятого критерію оптимальності;

$R_i(x)$ – значення i -ї характеристики процесу різання в залежності від значень шуканих параметрів x з деякої заданої множини X ;

R_i – задане граничне значення i -ї характеристики процесу різання.

Ступінь впливу окремих змінних на основні показники оптимізованого процесу різна, тому необхідно враховувати найбільш значущі параметри режиму оброблення [14]. При зовнішньому точінні найбільш значущою змінною, що впливає на продуктивність оброблення, є глибина оброблення t , а не подача S . Якщо порівнювати швидкість різання V і подачу S , збільшувати подачу вигідніше, ніж швидкість різання.

Один з перших підходів до параметричної оптимізації ТП стосувався питання оптимізації режимів різання методом лінійного програмування. Це перший метод оптимізації, який здійснюється в процесі проектування ТП і він найбільш часто використовується для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу оброблення деталей на металорізальних верстатах [4]. В основі цього методу лежить побудова математичної моделі, що включає сукупність технічних обмежень і оціночну функцію спрощеного виду, які приведені до лінійного виду логарифмування.

Якість математичної моделі і її достовірність залежать від вибору технічних обмежень, найбільшою мірою визначають описуваний процес. До найбільш важливих обмежень, що становлять основу математичної моделі процесу різання, відносяться:

- різальні можливості інструменту;
- потужність електродвигуна приводу головного руху;
- задана продуктивність верстата;
- найменша і найбільша швидкість різання і подача, які допускаються кінематикою верстата;
- міцність і жорсткість різального інструменту;
- точність оброблення;
- шорсткість обробленої поверхні.

Розглянемо особливості побудови технічних обмежень для найбільш поширених методів оброблення – поздовжнього зовнішнього точіння і фрезерування торцевими і циліндричними фрезами [16].

Обмеження 1. Різальні можливості інструменту.

Це обмеження встановлює зв'язок між швидкістю різання, яка визначається прийнятою стійкістю інструмента, його геометрією, глибиною різання, подачею і механічними властивостями оброблюваного матеріалу, з одного боку, і швидкістю різання, яка визначається кінематикою верстата, з іншого.

Швидкість різання для різних видів оброблення визначається за формулою

$$v = \frac{C_v D^{z_v} k_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v} z^{u_v} B_\phi^{r_v}}$$

де C_v – постійний коефіцієнт, що характеризує нормативні умови оброблення;

D – діаметр оброблюваної деталі (або інструменту), мм;

k_v – поправочний коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу, стан поверхні заготовки, характеристику різального інструменту;

T – прийнята стійкість інструменту, хв;

m – показник відносної стійкості;

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм/об, мм/хв;

z – число зубів різального інструменту;

B_ϕ – ширина фрезерування, мм;

x_v, y_v, u_v, z_v, r_v – показники степенів або змінних у формулі швидкості різання.

Швидкість різання визначається також кінематикою верстата відповідно до залежності

$$v = \pi D n \cdot 10^{-3},$$

де n – частота обертання шпинделя верстата, об/хв.

Прирівнюючи праві частини наведених формул і виконуючи перетворення, отримують вираз першого технічного обмеження у вигляді нерівності

$$n S^{y_v} \leq \frac{318 C_v k_v D^{z_v - 1}}{T^m t^{x_v} z^{u_v} B_\phi^{r_v}}$$

Це технічне обмеження досить просто приводиться до виду, що описує конкретний вид оброблення. Так, для поздовжнього зовнішнього точіння

можна отримати, приймаючи значення коефіцієнтів $z_v = 0$, $u_v = 0$, $r_v = 0$ наступну нерівність:

$$nS^{y_v} \leq \frac{318C_v k_v}{T^m D t^{x_v}}$$

Обмеження 2. Потужність електродвигуна головного руху верстата.

Цим обмеженням встановлюється взаємозв'язок між ефективною потужністю, що витрачається на процес різання, і потужністю електроприводу головного руху верстата. Ефективна потужність, що витрачається на процес різання при різних видах оброблення, визначається за формулою

$$N_{\text{еф}} = \frac{C_z t^{x_z} D^{z_z} n^{n_z} S^{y_z} \pi^{r_z} B_{\phi}^{r_z} z^{u_z} k_z}{k_{Cz}}$$

де C_z – постійний коефіцієнт, що характеризує умови оброблення;

k_z – загальний поправочний коефіцієнт на потужність, що враховує зміну умов оброблення проти нормативних;

k_{Cz} – поправочний коефіцієнт, що враховує окремий вид оброблення;

$x_z, z_z, n_z, y_z, r_z, u_z$ - показники степеня при t, D, n, s, z і B_{ϕ} . Враховуючи необхідну умову протікання процесу різання, можна отримати нерівність

$$N_{\text{еф}} \leq N_n \eta,$$

де N_n – потужність електродвигуна головного приводу верстата, кВт;

η – ККД механізму передачі від електродвигуна до інструменту.

Прирівнюючи праві частини даних виразів, отримуємо друге технічне обмеження у вигляді нерівності

$$nS^{y_z} \leq \frac{N_n \eta k_{Cz}}{C_z t^{x_z} D^{z_z} \pi^{r_z} B_{\phi}^{r_z} k_z}.$$

Обмеження 3. Задана продуктивність верстата.

Цим обмеженням встановлюється зв'язок розрахункових швидкості різання і подачі різання із заданою продуктивністю верстата. Виходячи із співвідношення тривалості циклу роботи верстата T_u , основного технологічного t_0 і допоміжного безперервного t_0 часу, можна отримати вираз для третього технічного обмеження

$$nS \geq \frac{LR}{60K_3 r_R - t_{в.н} R}$$

де L – довжина робочого ходу інструмента, мм;

R – задана продуктивність верстата, шт/хв;

K_3 – коефіцієнт завантаження верстата;

r_R – число деталей, оброблюваних одночасно на одній позиції.

Обмеження 4,5. Найменша і найбільша допустимі швидкості різання.

Ці обмеження встановлюють взаємозв'язок розрахункової швидкості різання з кінематикою верстата по мінімуму і максимуму. Вони записуються в наступному вигляді:

$$n \geq n_{ст.мин}$$

$$n \leq n_{ст.мах}$$

Обмеження 6,7. Найменша і найбільша допустимі подачі.

Ці обмеження аналогічно двом попереднім встановлюють взаємозв'язок розрахункової подачі з подачею, що допустима кінематикою верстата по мінімуму

$$S \geq S_{ст.мин}$$

і максимуму

$$S \leq S_{ст.мах}$$

Обмеження 8. Міцність різального інструменту.

Це обмеження встановлює взаємозв'язок між розрахунковими значеннями швидкості різання і подачі та допустимим по міцності різальним інструментом. В основу побудови цього обмеження закладають умови навантаження різального інструменту, наприклад різця як консольної балки з прикладанням на її кінці зусилля, рівного складовій сили різання P_z . В цьому випадку межа міцності матеріалу державки різця при вигині визначається залежністю

$$\sigma_i \geq \frac{M_{3г} k_{3,м}}{W},$$

де $M_{3г} = P_z l_{6,p}$ – згинальний момент в місці закріплення державки різця на відстані $l_{6,p}$ вильоту різця від точки прикладання сили, кг/мм²;

$k_{3,м}$ – коефіцієнт запасу міцності;

W – момент опору перерізу державки різця, мм².

Виражаючи силу різання в залежності від елементів режимів різання, а також враховуючи форму державки (для прямокутного перерізу шириною B і висотою H момент опору дорівнює $W = \frac{BH^2}{E}$ і значення границі міцності для незагартованої вуглецевої конструктивної сталі $\sigma = 20 - 24$ кг/мм², можна отримати після деяких перетворень обмеження

$$n^{y_z} S^{y_z} \leq \frac{4BH^2(10^3)^{n_z}}{C_z t^{x_z} D^{n_z} \pi^{n_z} l_{в.р} k_{3,м} k_z}.$$

Обмеження 9. Жорсткість різального інструменту.

Це обмеження встановлює взаємозв'язок між розрахунковими значеннями швидкості різання і подачі та допустимими по жорсткості різального інструменту. Відомо, що максимальне навантаження, яке допустиме жорсткістю різця $P_{ж.доп.}$, визначається за формулою:

$$P_{ж.доп} = \frac{3fEI}{l_{в.р}^3}$$

де f – допустимий прогин різця, мм;

E – модуль пружності матеріалу різця (для конструкційної сталі $E = (2-2,5) \cdot 10^4$ кг/мм²);

I – момент інерції державки різця, мм⁴.

Допустимий прогин різця f залежить від необхідної точності оброблення і може бути прийнятий для чорнового і напівчистового точіння рівним 0,1 мм, а для чистового – 0,05 мм. Момент інерції державки різця залежить від її форми. Для прямокутного перетину з шириною B і висотою H він визначається за формулою:

$$I = \frac{BH^3}{12}.$$

З умови співвідношень складової сили різання P_z і максимального навантаження, що допускається жорсткістю різця, і після відповідного подання P_z через елементи режиму різання отримують дев'яте обмеження у вигляді нерівності $P_z \leq P_{\text{ж.доп.}}$, а після підстановки значень

$$n^{n_z} S^{y_z} \leq \frac{(10^3)^{n_z+1} BH^3}{2C_z t^{x_z} D^{n_z} \pi^{n_z} l_{\text{в.р}}^3 k_z}$$

Обмеження 10. Жорсткість заготовки.

Це обмеження встановлює взаємозв'язок розрахункових і допустимих значень швидкості різання та подачі. Через різноманіття форм заготовок неможливо отримати загальні залежності для опису розглянутого виду технічного обмеження. Тому зупинимося на його побудові для точіння циліндричної гладкою заготовки та закріплення її в центрах.

В основі цього обмеження умова, при якій прогин u_c заготовки під дією радіальної складової сили різання P_y повинен бути менше або дорівнювати допустимому прогину $u_{\text{доп.}}$, тобто $u_c \leq u_{\text{доп.}}$.

З рис. 35 видно, що допустимий прогин повинен бути менше допуску на розмір: $u_{\text{доп.}} \leq 0,5\delta$, де δ – допуск на розмір, мм. Прогин заготовки:

$$y_c = \frac{P_y x_p^2 (L_3 - x_p)^2}{3EI L_3}$$

де L_3 – довжина заготовки, мм;

x_p – відстань від правого торця до місця прикладання сили (до різця), мм;

$I = \pi D_{\text{пр}}^4 / 64$ – момент інерції перерізу заготовки в місці шуканого прогину, мм⁴;

$D_{\text{пр}}$ – приведений діаметр ступінчатого валу, мм.

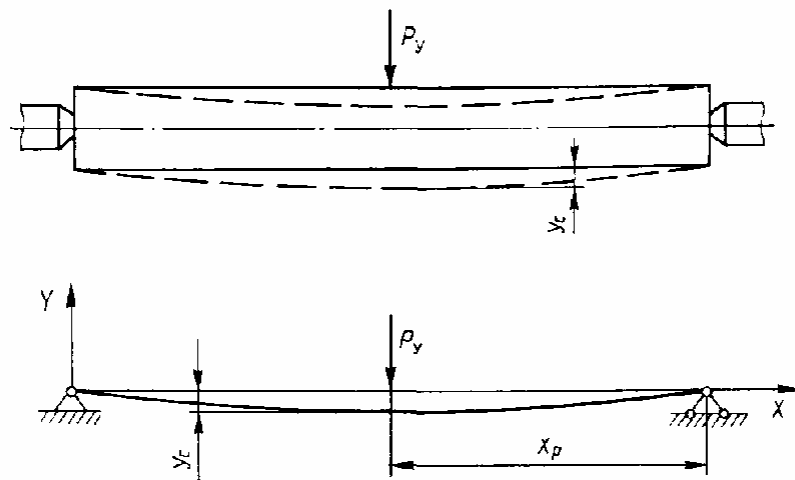


Рисунок 35 – Схема деформації заготовки при точінні під дією радіальної складової сили різання

Після перетворення розглянутих формул і підстановки в них значення P_y отримаємо технічне обмеження по жорсткості заготовки:

$$n^{n_y} S^{y_y} \leq \frac{1.5 \delta E \pi^{1-n_y} D_{\text{пр}}^4 (10^3)^{n_y} L_3}{64 C_y t^{x_y} D^{n_y} x_p^2 (L_3 - x_p)^2}$$

Обмеження 11. Міцність механізму подач верстата.

Це обмеження встановлює взаємозв'язок розрахункових і допустимих значень швидкості різання і подачі по міцності механізму подач верстата. Є узагальнена залежність визначення сили для різних видів оброблення

$$P_s = C_s t^{x_s} S^{y_s} n^{n_s} D^{n_s+z_s} \pi^{n_s} z^{u_s} B^r k_s (10^{-3})^{n_s}.$$

При поздовжньому зовнішньому точінні коефіцієнти z_s, u_s, r_s дорівнюють нулю, а при фрезеруванні коефіцієнт $n_s = 0$. У загальному вигляді обмеження має вид $P_s \leq P_{s \text{ доп}}$. Значення $P_{s \text{ доп}}$ знаходять в паспортних даних металорізального верстата. Підставивши в цю нерівність вираз для P_s , отримаємо технічне обмеження по міцності механізму подач верстата:

$$n^{n_s} S^{y_s} \leq \frac{(10^3) n_s P_{s \text{ доп}}}{C_s t^{x_s} D^{n_s + z_s} \pi^{n_s} z^{u_s} B r_s k_s}.$$

Обмеження 12. Необхідна шорсткість поверхні.

Це обмеження виражає взаємозв'язок розрахункових і допустимих значень швидкості різання та подачі по необхідній висоті або формі шорсткості.

Відомо, що вибір швидкості різання і особливо подачі при напівчистовій і чистовій обробці дуже часто визначається необхідною шорсткістю поверхні. В основу цього обмеження можуть бути покладені численні експериментальні залежності для різних характеристик шорсткості поверхні R (R_a, R_z, R_{max}), кроку мікронерівності S_m , величини опорної поверхні t_p , які представляються у вигляді наступних виразів мультиплікативного типу:

$$R = k_1 n^{k_2} S^{k_3} t^{k_4} \varphi_1^{k_5} \varphi^{k_6} r^{k_7},$$

де $k_1, \dots, k_7$ – експериментально встановлені коефіцієнти;

φ_1, φ, r – параметри геометрії різальної частини інструменту.

Після перетворення з урахуванням забезпечення необхідного значення шорсткості отримують технічне обмеження також у вигляді нерівності:

$$n^{k_2} S^{k_3} \leq \frac{R}{k_1 t^{k_4} \varphi_1^{k_5} \varphi^{k_6} r^{k_7}}$$

Знак нерівності визначається видом характеристики шорсткості. У тих випадках, коли потрібно одночасно забезпечити кілька характеристик шорсткості, розглянуте технічне обмеження представляється у вигляді

декількох нерівностей. Так, для забезпечення шорсткості Ra і кроку мікронерівностей Sm при зовнішньому поздовжньому точінні заготовки зі сталі 45 можуть бути використані для побудови технічних обмежень залежності:

$$R = 0,16 \frac{S^{0.59}(\pi/2+\gamma)^{0.66}}{r^{0.29}v^{0.19}};$$

$$Sm = 0,81 \frac{S^{1.34}(\pi/2+\gamma)^{0.1}}{r^{-0.19}},$$

де γ – передній кут різця.

Обрані і описані технічні обмеження, що відображають з певним ступенем точності фізичний процес різання в сукупності з критерієм оптимальності, утворюють математичну модель процесу різання.

При визначенні режимів різання широке застосування для двох елементів n і S є метод лінійного програмування, спільне завдання якого полягає у визначенні невід'ємних значень змінних, які відповідають системі обмежень у вигляді лінійних рівностей і нерівностей, що забезпечують найбільше або найменше значення деякої лінійної функції – критерію оптимальності. Таким чином, перше завдання, яке повинно бути вирішене, – це приведення всіх технічних обмежень і цільової функції до лінійного вигляду. Як приклад розглянемо приведення до лінійного вигляду першого технічного обмеження методом логарифмування:

$$\ln n + y_v \ln S \leq \ln \left(\frac{318 C_v k_v D^{z_v - 1}}{T^m t^{x_v} z^{u_v} B_{\phi}^{r_v}} \right)$$

$$\text{Вводимо позначення } \ln n = x_1; \ln(100S) = x_2; \ln \left(\frac{318 C_v k_v D^{z_v - 1}}{T^m t^{x_v} z^{u_v} B_{\phi}^{r_v}} \right) = b_1 \text{ і}$$

підставимо їх в нерівність вище, отримаємо

$$x_1 + y_v x_2 \leq b_1.$$

Аналогічно можуть бути отримані в лінійному вигляді залежності для інших технічних обмежень.

Аналіз різних критеріїв оптимальності показує, що при оптимізації по двом елементам режимів різання n і S без зміни глибини різання, стійкості інструменту та інших технічних факторів ці цільові функції при введенні ряду спрощень виражаються через n і S досить просто. Так, для мінімальної собівартості операції можна записати $C_{\text{оп}} = \frac{c_1}{nS}$, де c_1 – постійна величина, яка не залежить від режимів різання n і S . З цього виразу видно, що значення цільової функції є найменшим, коли добуток nS є максимальним. В цьому випадку при приведенні цільової функції до лінійного вигляду можна отримати

$$f_0 = (x_1 + x_2) \rightarrow \max.$$

Перетворення технічних обмежень до лінійного вигляду і подання їх у вигляді системи нерівностей в сукупності з цільовою функцією дає математичну модель процесу різання металів:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + y_v x_2 \leq b_1 \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leq b_2 \\ x_1 + x_2 \geq b_3 \\ x_1 \geq b_4 \\ x_1 \leq b_5 \\ x_2 \geq b_6 \\ x_2 \leq b_7 \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leq b_8 \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leq b_9 \\ n_y x_1 + y_y x_2 \leq b_{10} \\ n_s x_1 + y_s x_2 \leq b_{11} \\ k_2 x_1 + k_3 x_2 \leq b_{12} \end{array} \right.$$

Відповідно до наведеної математичної моделі визначення оптимального режиму різання зводиться до пошуку серед множини невід'ємних значень x_1 і

x_2 системи таких значень x_{1onm} і x_{2onm} , при яких лінійна функція приймає максимальне значення f_{0max} .

Математична модель процесу різання може бути зображена в графічному вигляді (рис. 36). При цьому кожне технічне обмеження представляється граничною прямою, яка визначає напівплощину, де можливе існування рішень системи нерівностей. Граничні прямі, перетинаючись, утворюють багатокутник ABCDEF, всередині якого будь-яка точка, яка задовольняє всім без винятку нерівностям. Тому цей багатокутник прийнято називати багатокутником рішень.

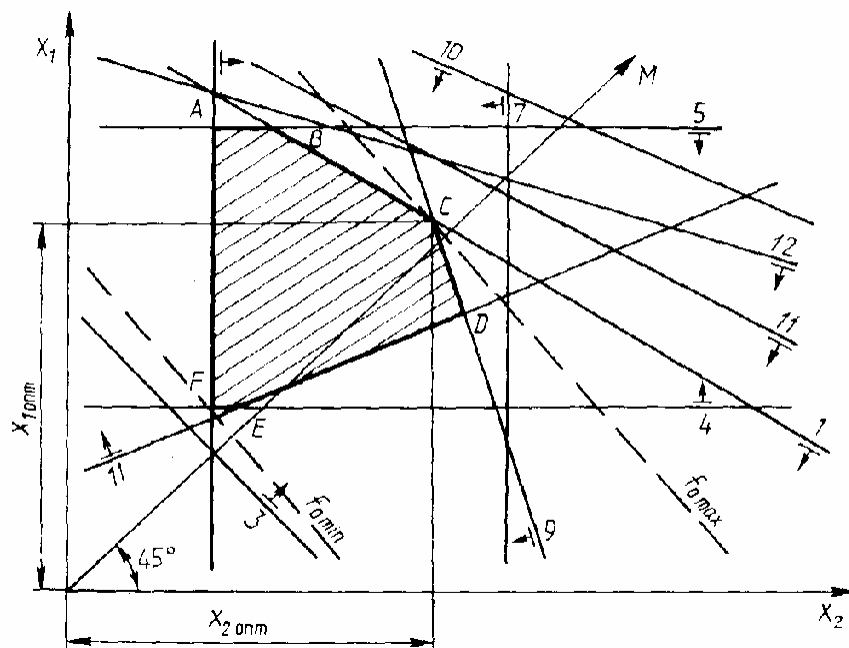


Рисунок 36 – Графічне зображення математичної моделі процесу різання

Теорія лінійного програмування показує, що екстремальне значення цільової функції (при опуклому багатокутнику рішень) забезпечується для x_1 і x_2 , які перебувають в точці, що лежить на одній з граничних прямих або їх перетині. Тому завдання пошуку оптимальних значень x_{1onm} і x_{2onm} зводиться до послідовного обчислення координат всіх можливих точок перетину граничних прямих і потім визначенню для них найбільшої суми

$$f = (x_1 + x_2)_{max}$$

Після визначення координат x_{1opt} і x_{2opt} обчислюють оптимальні значення елементів режиму різання за формулами

$$n_{opt} = \exp(x_{1opt}),$$
$$S_{opt} = \exp(x_{2opt})/100.$$

Для автоматизації рішення задачі, яка задана системою лінійних рівнянь і нерівностей, зазвичай використовується метод повного перебору точок [4], що утворюють опуклий багатокутник можливих рішень. Визначаються попарно точки перетину прямих і підставляються координати цих точок в нерівності системи. Точка, координати якої задовольняють всім без виключення прямим (перевірка на сумісність системи рівнянь) і одночасно сума координат якої ($x_1 + x_2$), є найбільшою і буде точкою оптимуму.

Послідовність рішення задачі наступна [16]:

1. Розглядається пара прямих і перевіряється на паралельність.
2. Якщо прямі паралельні, то розглядається наступна пара, а якщо ні, то визначаються координати x_1 і x_2 точки їх перетину.
3. Перевіряються знаки координат. Якщо координати позитивні, то шляхом підстановки в кожен з нерівностей знайдених значень x_1 і x_2 визначають, чи знаходиться точка в області можливих рішень. Якщо хоча б одна з нерівностей не задовольняється, то ця точка відкидається і проводиться такий же аналіз наступної пари.
4. Якщо x_1 і x_2 позитивні і задовольняють всім без виключення нерівностям, то визначається сума координат $t_0 = (x_1 + x_2)$ і запам'ятовується у вигляді деякого значення А. Всі описані дії виконуються до тих пір, поки не будуть розглянуті всі пари прямих.
5. У разі суперечливості вихідних даних може виявитися, що області можливих рішень немає. Ознакою несумісності системи є рівність нулю величини А, яка в іншому випадку дорівнює сумі координат $x_1 + x_2$, що є рішенням задачі.

6. Якщо рішення знаходиться на прямій, яка є паралельною прямій цільової функції, то в якості рішення приймаються координати тієї точки, у якій більша координата x_2 (тобто при більшому значенні подачі).

7. Якщо система нерівностей сумісна і знайдена точка, сума координат якої $x_1 + x_2$ є найбільшою, то оптимальна частота обертання $n = e^{x_1}$ і оптимальна подача $S = e^{x_2}/100$.

Це ж завдання може вирішуватися графічно. Цільова функція $f_0 = (x_1 + x_2)$ зображується прямою, перпендикулярною до вектора максимізації M (рис. 36). Так як напрям вектора M є напрям зростання лінійної функції f_0 , то слід очікувати, що в першій точці дотику F з багатокутником рішення вона прийме мінімальне значення f_{0min} , а в останній точці C – максимальне значення f_{0max} . Отже, вершина багатокутника рішень C є точкою оптимуму, а її координати x_{1C} і x_{2C} – оптимальним рішенням системи.

Визначення норми часу

Норми часу встановлюються на кожну операцію [14] згідно з наступною формулою:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_T + t_{орг} + t_{п}$$

де $t_{шт}$ – штучний час;

t_o – основний час;

t_d – допоміжний час;

t_T – час технічного обслуговування;

$t_{орг}$ – час організаційного обслуговування;

$t_{п}$ – час на особисті потреби.

Час t_o визначається за таблицями нормативів або розраховується за формулою

$$t_o = \frac{L_i}{S_{xb}} = \frac{l_{вр} + l + l_{cx}}{S_{об}n},$$

де L_i – довжина шляху інструменту, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання, мм;

l – довжина оброблюваної поверхні;

$l_{сх}$ – величина перебігу (сходу) інструменту.

Системи автоматизованого розрахунку режимів різання і норм часу – одні з перших САПР технологічного призначення. Розрахункові завдання досить добре формалізуються, в основному вони можуть бути віднесені до групи обчислювальних задач. Інформаційною базою таких систем є довідники по режимам різання і нормам часу.

Розрахунок оптимальних режимів різання методом лінійного програмування

В основі оптимізації режимів різання методом лінійного програмування лежить побудова математичної моделі, яка включає сукупність технічних обмежень, наведених до лінійного вигляду логарифмуванням. Для вирішення цього завдання на ЕОМ можуть бути використані різні чисельні методи (метод перебору, симплекс-метод тощо), а також графічний метод, який наочно представляє математичну модель процесу різання.

Якість математичної моделі процесу різання металів, і в першу чергу її достовірність, залежить від вибору технічних обмежень, які найбільшою мірою визначають описуваний технологічний процес. Найбільш важливими обмеженнями є наступні: різальні можливості інструменту; потужність електродвигуна приводу головного руху; задана продуктивність верстата; найменша і найбільша швидкості різання і подача, допустимі кінематикою верстата; міцність і жорсткість різального інструменту; точність оброблення; шорсткість обробленої поверхні.

Розглянемо особливості побудови технічних обмежень для найбільш поширеного методу оброблення – поздовжнього зовнішнього точіння.

Оптимізація технологічних умов оброблення деталей [17-19] включає рішення різних технологічних, економічних, конструкційних та організаційних задач. В якості критеріїв оптимальності використовують:

- критерій мінімальної технологічної собівартості виконання операції;
- критерій максимальної продуктивності, що забезпечує найменші затрати часу на оброблення;
- критерій точності оброблення, стану поверхневого шару тощо.

В якості прикладу [19] розглянемо задачу технологічного забезпечення необхідної циклічної довговічності деталей, де в якості критерію оптимальності вибрано максимальну продуктивність процесу фінішного токарного оброблення у вигляді:

$$f = n \cdot S,$$

де n – частота обертання шпинделя, об/хв.;

S – повздовжня подача, мм/об.

При цьому
$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

Тоді

$$f(S, V) = \frac{1000 \cdot S \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

Визначення раціональних значень подачі та швидкості різання здійснюється із області допустимих рішень. При розв'язанні даної задачі ця область задається множиною їх обмежень на процес токарного оброблення.

1. Обмеження по подачі:

$$S_{min} \leq S \leq S_{max},$$

де S_{min} та S_{max} – відповідно мінімальне та максимальне допустиме значення подачі, об/хв.

2. Обмеження по швидкості різання:

$$V_{min} \leq V \leq V_{max},$$

$$V \frac{\pi D_0 n_{min}}{1000} \leq V \leq V \frac{\pi D_0 n_{max}}{1000},$$

де D_0 – діаметр заготовки до оброблення, мм;

V_{min}, V_{max} – мінімальна та максимальна швидкість різання, м/хв;

n_{min}, n_{max} – мінімальна та максимальна частота обертання шпинделя, об/хв.

3. Обмеження по допустимій силі різання:

$$P_x = 10 C_{Px} h^{x_{Px}} s^{y_{Px}} v^{n_{Px}} K_{Px} \leq P_{0.3},$$

де P_x – осьова складова сили різання, Н;

$P_{0.3}$ – максимальне осьове зусилля верстату, Н;

C_{Px} – постійна;

x_{Px}, y_{Px}, n_{Px} – показники степені;

K_{Px} – поправочний коефіцієнт, що є добутком коефіцієнтів $K_{mp}, K_{fPx}, K_{\gamma Px},$

$K_{\lambda Px}, K_{rPx}$, при цьому $K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$, де σ_B – тимчасовий опір (границя міцності) оброблюваного матеріалу, МПа, n – показник степені.

4. Обмеження по допустимій потужності різання:

$$N_{риз} \leq N_{шп},$$

де $N_{риз}$ – ефективна потужність, що необхідна для різання, кВт;

$N_{шп}$ – потужність, яку розвиває верстат на шпинделі, кВт:

$$N_{шп} = N_{дв} \eta,$$

де $N_{дв}$ – потужність двигуна головного приводу верстату, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії головного приводу верстату.

Ефективна потужність, яка необхідна для токарного оброблення розраховується за формулою:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z v}{1000 \cdot 60},$$

де P_z – тангенціальна складова сили визначається наступним чином

$$P_z = 10 C_{Pz} h^{x_{Pz}} s^{y_{Pz}} v^{n_{Pz}} K_{Pz},$$

де C_{Pz} – постійна;

x_{Pz}, y_{Pz}, n_{Pz} – показники степені;

K_{Pz} – поправочний коефіцієнт, що є добутком коефіцієнтів $K_{mp}, K_{\phi Pz}, K_{\gamma Pz}, K_{\lambda Pz}, K_{r Pz}$.

Тоді, обмеження по допустимій потужності різання набуде наступного вигляду:

$$N_{\text{дв}} \eta \geq \frac{10 C_{Pz} h^{x_{Pz}} s^{y_{Pz}} v^{n_{Pz}} K_{Pz}}{1020 \cdot 60}.$$

5. Обмеження по точності оброблення:

$$\Delta_{\Sigma} \leq 0,5 \cdot TD,$$

де Δ_{Σ} – сумарна похибка оброблення, мкм;

TD – величина допуску, що відповідає квалітету точності розміру, який витримується, мкм.

6. Обмеження по стійкості інструменту:

$$T \geq T_{\text{необ}},$$

де $T_{\text{необ}}$ – необхідна стійкість інструменту.

Період стійкості може бути визначений за формулою:

$$T = \left(\frac{C_V K_V}{V h^{x_{SV}} s^{y_{SV}}} \right)^{\frac{1}{m}},$$

де C_V – постійна;

x, y, m – показники степені;

K_V – поправочний коефіцієнтів, що враховують вплив матеріалу заготовки K_{MV} , стану поверхневого шару K_{PV} , матеріалу інструмента K_{IV} :

$$K_V = K_{MV} K_{PV} K_{IV}.$$

При цьому

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V},$$

де K_r – коефіцієнт;

n_V – показник степені.

7. Обмеження по шорсткості:

$$Ra \leq Ra_{\text{необ}},$$

де $Ra_{\text{необ}}$ – необхідна величина шорсткості;

Ra – величина шорсткості після оброблення.

Середня висота профілю шорсткості в загальному випадку для всіх методів механічного оброблення визначається рівністю:

$$R_Z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

де h_1 – складова профілю шорсткості, яка зумовлена геометрією та кінематикою переміщення робочої частини інструменту;

h_2 – складова профілю шорсткості, яка залежить від коливань інструменту відносно оброблюваної поверхні;

h_3 – складова профілю шорсткості, яка зумовлена пластичною деформацією в зоні контакту інструменту та заготовки;

h_4 – складова профілю шорсткості, яка визначається шорсткістю робочої частини інструменту.

РОЗДІЛ 8.

САПР ТП СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

8.1. Поняття про процес складання виробу

Складання – це утворення роз'ємних або нероз'ємних з'єднань із складових частин заготовки або виробу [14]. Процес складання є заключним етапом виготовлення виробу, в значній мірі визначає його основні експлуатаційні якості. Це пов'язано з тим, що в процесі складання можуть виникнути похибки взаємного розташування деталей, які істотно знижують точність і службові якості виробу, що складається.

Виконання складальних робіт пов'язано з великою витратою часу, яке становить 25-40% від загальної трудомісткості виготовлення виробу [20-21]. Слід зазначити, що основна частина слюсарно-складальних робіт виконується вручну, що вимагає великих витрат фізичної праці і високої кваліфікації робітників.

Складання може здійснюватися простим з'єднанням деталей, запресовкою, згвинчуванням, зварюванням, пайкою, клепою і склеюванням. За обсягом робіт складання поділяється на загальну, об'єктом якої є виріб в цілому, і на вузлове, об'єктом якого є складальна одиниця або вузол.

У процесі складання необхідно забезпечити взаємне розташування деталей в межах заданої точності. Одним із засобів визначення раціональних допусків є розрахунок і аналіз розмірних ланцюгів.

Розмірним ланцюгом [22] називається сукупність (або скінченна множина) розташованих за замкненим контуром у певній послідовності розмірів, які координують взаємне розміщення поверхонь або осей однієї або кількох деталей.

Ланка розмірного ланцюга, яка отримується останньою в процесі складання механізму, називається замикаючою. Розміри, які входять до

розмірного ланцюга і визначають значення замкненої ланки, називаються складовими ланками ланцюга.

Наприклад, сукупність розмірів A_1 , A_2 і A_Δ (рис. 37) утворюють розмірний ланцюг, який визначає величину зазору A_Δ .

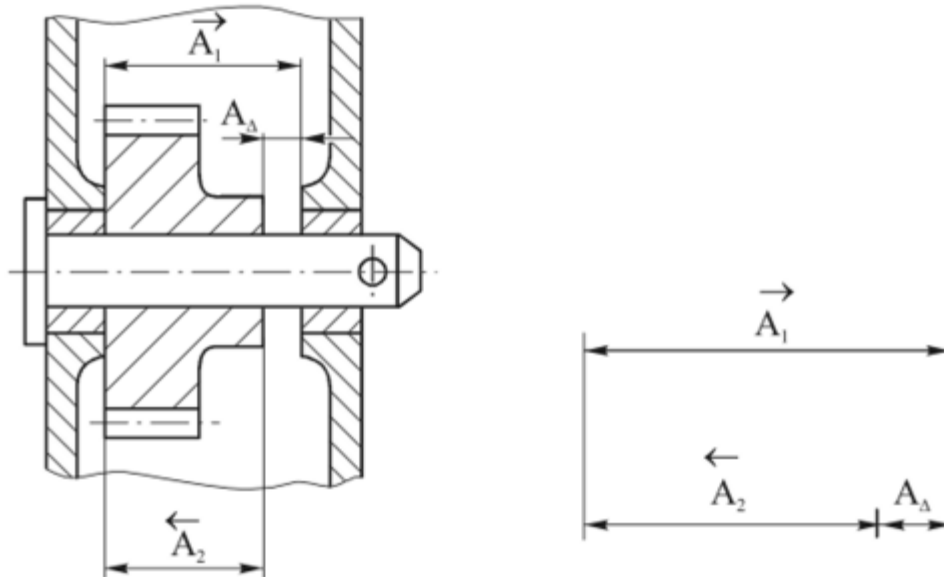


Рисунок 37 – Складальний розмірний ланцюг

При розрахунку розмірних ланцюгів можуть бути використані наступні методи досягнення точності замикаючої ланки:

- повної взаємозамінності виробів з розрахунком розмірного ланцюга на максимум і мінімум – точність замикаючої ланки досягається шляхом включення складових ланок без вибору, підбору або зміни їх значень;
- неповної взаємозамінності виробів з розрахунком за імовірнісним методом – у частині виробів похибка замикаючої ланки може бути за межами допуску на складання, можливий певний ризик нескладання;
- групової взаємозамінності (селективного складання) – точність досягається шляхом включення складових ланок, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо розсортовані;

- пригонки – точність досягається зміною розміру компенсуючої ланки шляхом видалення шару матеріалу;
- регулювання – точність досягається зміною розміру або положення компенсуючої ланки без видалення шару матеріалу за рахунок конструкції (гвинтова пара, клин, набір прокладок, пересувні втулки);
- складання з компенсуючим матеріалом, що вводиться в зазор між поверхнями деталей після їх установки в потрібне положення.

Послідовність складання в основному визначається конструкцією виробу, компонованням деталей і методом досягнення необхідної точності і може бути представлена у вигляді технологічної схеми складання, що є умовним зображенням порядку комплектування виробу при складанні.

Схеми складання дозволяють наочно уявити весь технологічний процес, перевірити правильність послідовності операцій. На схемах кожен елемент виробу позначається прямокутником, в якому зазначаються його найменування, індекс і кількість елементів.

Деталь або раніше зібрана складальна одиниця, з якої починається складання виробу і до якої приєднуються інші деталі або складальні одиниці, називається базовою деталлю або базовою складальною одиницею.

Процес складання зображується на схемі горизонтальною лінією в напрямку від прямокутника, що позначає базову складову частину, до прямокутника, що позначає готовий виріб (або складальну одиницю).

Після розробки схеми складання встановлюється склад необхідних складальних і контрольних робіт та визначається зміст технологічних операцій і переходів.

8.2. Формалізація завдань проєктування ТП складання

Основною складністю при автоматизації проєктування ТП складання є низький рівень узагальнення пропонованих рішень в порівнянні з рівнем узагальнення рішень задач при механічній обробці [23-25].

Процес проєктування ТП складання спрямований на вирішення таких основних завдань:

- визначення оптимальних методів і організаційних форм складання;
- визначення послідовності складання;
- визначення необхідних засобів (обладнання, оснащення, інструменту);
- визначення місця в маршруті і складу нескладальних, але тих, що входять в ТП складання операцій (операцій механічного оброблення, захисних покриттів, змащення, промивання);
- визначення необхідності контрольних операцій, їх місця в маршруті і складу;
- формування операцій;
- формування переходів.

Всі ці завдання з позицій формалізації можна розділити на дві групи:

- 1) визначення послідовності складання;
- 2) визначення засобів для кожного етапу складання.

Завдання визначення засобів складання вирішуються за допомогою ЕОМ шляхом побудови інформаційно-пошукових систем. Переліки застосовуваного обладнання, інструменту, засобів моніторингу та вимірювальні засоби разом з їх характеристиками становлять умовно-постійну інформацію системи. Для кожного етапу складання за відповідними ознаками здійснюється пошук необхідних засобів.

Завдання визначення послідовності складання за своїм функціональним призначенням поділяються на три види:

- 1) формування схеми, що містить всі обґрунтовані варіанти порядку складання (тобто враховує схему базування, можливості доступу, спосіб отримання точності замикаючої ланки);
- 2) визначення оптимальної організації процесу складання за наявною схемою порядку (до таких завдань, перш за все, відноситься задача технологічного членування);
- 3) визначення місця в маршруті складання операцій механічного оброблення, контролю.

Результатом вирішення цих завдань є послідовність складання, яка оформляється у вигляді схеми складання.

З технології складання відомий ряд положень, який відображає правила проєктування складальних процесів, основні з яких можна сформулювати таким чином:

- Перед установкою будь-якого елемента повинні бути виявлені елементи, що визначають його положення в просторі виробу, тобто базові.
- Якщо в конструкції складальної одиниці доступ будь-якого елемента до місця з'єднання перекривається іншим елементом, то елемент, що обмежує доступ, повинен встановлюватися після елемента, доступ до якого обмежений.
- Слід поступово переходити до складання тих складальних одиниць і деталей, розміри і відносні повороти поверхонь яких є загальними ланками, що належать поступово зменшуваній кількості розмірних ланцюгів. Дане положення встановлює вплив схеми розмірних ланцюгів на послідовність складання.

- У кожному розмірному ланцюзі останніми встановлюються елементи, розміри і відносні повороти яких є ланками розмірного ланцюга, що містить замикаючу ланку.
- При виділенні технологічних складальних одиниць обов'язковою умовою є можливість їх існування незалежно один від одного.

Побудова схеми складання є першим етапом побудови ТП (рис. 38).

Інформаційний базис вирішення цього завдання закладається на стадії структурного аналізу продукції, що випускається. При цьому в ряді випадків використовується автоматизована система структурного аналізу (АССА). В результаті роботи цієї системи формуються:

- відомість структурного складу,
- відомість заготованок,
- зведена матеріальна відомість на складальну одиницю,
- зведена матеріальна відомість на виріб,
- відомість покупних виробів, складальних одиниць і деталей.

На наступному етапі проводиться формування операцій. За визначенням операція пов'язана зі складанням складальної одиниці або виробу на одному робочому місці, що, як правило, відповідає одному обладнанню (прес, вальцювальні машина, ванна для промивання, стіл складальника) і оснащення. Виходячи з цього положення, групи переходів об'єднуються в операцію за ознакою використання одного і того ж обладнання, оснащення та приладдя одній складальній одиниці, яка виділена в завданні технологічного членування.

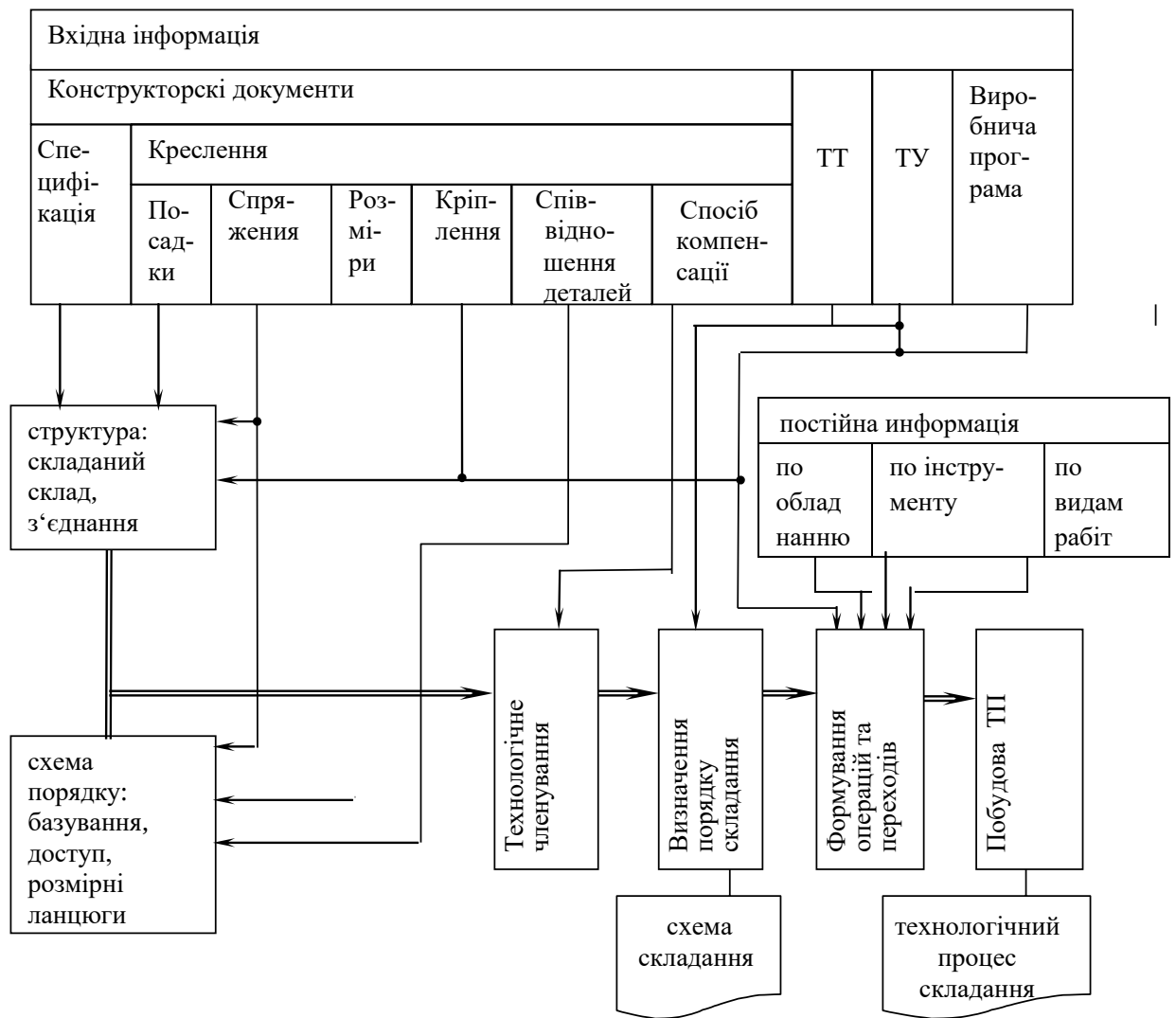


Рисунок 38 – Інформаційна схема технологічного процесу складання

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 92 с.
2. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. [На заміну ДСТУ 2391-94; чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 35 с.
3. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [На заміну ДСТУ 3321-96; чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 51 с.
4. Вислоух, С. П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва [Електронний ресурс]: монографія / С. П. Вислоух ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 15,47 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 482 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32767>
5. Системи автоматизованого проєктування. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. К. С. Барандич, О. О. Подолян, М. М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,13 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45614>
6. Павленко П. М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 280 с.
7. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016 (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, IDT) Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу

- систем. [На заміну ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2015; чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 90 с.
8. ДСТУ ISO/IEC TR 24748-3:2016 Інженерія систем і програмного забезпечення. Керування життєвим циклом. Частина 3. Настанова щодо застосування ISO/IEC 12207 (Процеси життєвого циклу програмного забезпечення) (ISO/IEC TR 24748-3:2011, IDT) [На заміну ДСТУ ISO/IEC TR 24748-3:2015; чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 86 с.
 9. Стенін О. А., Лапковський С. В., Солдатова М. О. Використання CALS-технологій в сучасній промисловості // Адаптивні системи автоматичного управління : міжвідомчий науково-технічний збірник. 2011. № 18(38). С. 114–123. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4934> (дата звернення 01.02.2023).
 10. ДСТУ 3278-95. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення [Чинний від 1997-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 59 с.
 11. Гонсьор О.Й. Впровадження CALS-технологій в системи управління якістю на підприємствах агропромислового комплексу // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2013. № 753. с.135 – 139.
 12. Гудима Ю.В. Системи автоматизованого проектування технологічних процесів: Конспект лекцій для студентів заочної форми навчання. – Чернівці: Рута, 2003. – 44 с.
 13. S. P. Vysloukh, V. S. Antonyuk, K. S. Barandych, O. V. Voloshko, “Mathematical modeling of automated production systems”, International Scientific Journals Mathematical Modeling, vol. 4, Is. 4, pp. 114-120, 2020
 14. Catherine Barandych, Sergey Vyslouh, Victor Antoniuk, Oleksandr Tymoshenko, Viktor Koval. Lathe Turning Mode Optimization for Parts Working under Conditions of Cyclic Loading. Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. 2016. Vol. 2, No. 2. pp. 53– 60.

15. Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні: дис. канд. техн. наук: 05.02.08 – технологія машинобудування / Барандич Катерина Сергіївна. – Київ, 2018. – 204 с.
16. Технологія оптичного приладобудування. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. Г. С. Тимчик. – Електронні текстові дані (1 файл 4,06 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 185 с.
17. Бакалаврський дипломний проєкт: Організація виконання та захисту, вимоги до структури, змісту та оформлення: навчальний посібник [Електронний ресурс]: навчальний посібник призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. С. Антонюк, Н. І. Бурау, Ю. В. Киричук, М. В. Філіппова. – Електронні текстові дані (1 файл: 500.69 КБ). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 45 с.
18. Тимчик, Г. С. Технологія оптичного виробництва [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів ВНЗ / Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова, М. О. Маркін; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Електронні текстові дані (1 файл: 2,97 Кбайт). – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016. – 168 с.
19. Румбешта, В. О. Технологія складання, регулювання та випробування приладів: підручник / В. О. Румбешта; НТУУ «КПІ». — Київ: НТУУ «КПІ», 2014. — 364 с.
20. Вислоух С. П., Філіппова М. В. Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні. Вісник НТУУ

«КП». Приладобудування : збірник наукових праць. 2004. № 28. С. 139–144.

21. М. В. Філіппова, С. П. Вислоух, “Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування”, Вісник НТУУ «КП» Серія Машинобудування, № 32, с. 111-117, 2006.
22. М. В. Філіппова, Д. М. Проскурено, О. В. Третьак, М. О. Демченко, “Автоматизоване планування послідовності складання”, Енергетика і автоматика, № 5, с. 28-44. 2021. doi: 10.31548/energiya2021.05.028
23. Якімов О.В., Марчук В.І., Лінчевський П.А., Якімов О.О., Лашин В.М. Технологія машино та приладобудування// Луцьк ,2005. –712 с
24. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421с
25. Mikell P. Groover Fundamentals of modern manufacturing. Materials, Processes, and Systems. Fourth Edition – John Wiley & Sons, Inc. – 2010. – 1028p.
26. Youssef, Helmi A. Machining technology: machine tools and operations / Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy. - CRC Press, Taylor & Francis Group. - 2008.- 672p