

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

САПР ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

МАТЕРІАЛИ З КУРСУ ЛЕКЦІЙ

для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності
7.05050201 “Технології машинобудування”

Краматорськ 2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

САПР ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

МАТЕРІАЛИ З КУРСУ ЛЕКЦІЙ

для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності
7.05050201 “Технології машинобудування”

Затверджено
на засіданні кафедри
технології і управління
виробництвом
Протокол № від . . р.

Краматорськ 2012

УДК 621: 051: 12

САПР технологічних процесів: Матеріали з курсу лекцій для студентів заочної форми навчання спеціальності 7.05050201 “Технології машинобудування” / Укл.: Г.П.Володченко, В.Л.Аносов, О.С.Ковалевська. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – 82 с.

Містить стислий конспект лекцій з дисципліни “САПР технологічних процесів” для студентів денного і заочного відділення спеціальності “Технології машинобудування”, а також перелік рекомендованої літератури.

Укладачі:

Г.П. Володченко, доцент,
В.Л. Аносов, ст.викладач,
О.С.Ковалевська, доцент

Відп. за випуск

С.В. Ковалевський, проф.

З М І С Т

1 Модуль 1. Теоретичні основи автоматизації технологічної підготовки виробництва

- 1.1 Мета і завдання дисципліни САПР ТП. Автоматизація технологічної підготовки виробництва
- 1.2 Поняття, склад і структура, види забезпечення САПР.
- 1.3 Автоматизація циклу підготовки виробництва. CAD/CAM/CAE/PDM/CAPP системи як складові частини.
- 1.4 Методи проектування ТП. Принципи прийняття рішень
- 1.5 Принципи й методи автоматизованого проектування ТП.

2 Модуль 2. Автоматизоване проектування на базі типових та групових ТП

- 2.1 Лінгвістичне забезпечення САПР ТП.
- 2.2 Автоматизоване проектування маршрутних ТП на базі типових.
- 2.3 Використання мови символьного опису технології.
- 2.4 Формалізована модель геометричної структури деталі.

3 Модуль 3. САПР технологічного оснащення.

- 3.1 Автоматизоване проектування ТП обробки деталей на верстатах-автоматах. . .
- 3.2 Автоматизоване проектування технологічного оснащення. .
- 3.3 САПР технологічного оснащення гнучких виробничих систем.
- 3.4 Економічна ефективність впровадження САПР. Основні показники
- 3.5 Економічна ефективність впровадження САПР. Методика розрахунків витрат

Перелік посилань

1 МОДУЛЬ 1. Теоретичні основи автоматизації технологічної підготовки виробництва

1.1 Мета і завдання дисципліни САПР ТП

САПР ТП(Система автоматизованого проектування технологічних процесів) - це система, ґрунтована на використанні сучасних математичних методів і технічних засобів в технологічній підготовці виробництва. *Математичні методи* - формалізація технологічних рішень. *Технічні засоби*: 1) інформаційне забезпечення; 2) оформлення технологічної документації; 3) підготовка програм, що управляють, для ЧПУ. **Мета викладання цієї дисципліни** - забезпечити підготовку фахівців з кваліфікацією інженера-механіка для вирішення завдань автоматизації технологічної підготовки виробництва, здатних виступати в ролі постановника завдань

Завдання дисципліни :

- 1 Отримати практичні навички розробки математичних і формалізованих моделей для автоматизованого проектування ТП.
- 2 Освоїти методику роботи з сучасними САПР ТП, які отримали поширення в промисловості і які є характерними представниками окремих класів систем, а також вивчити засоби адаптації автоматизованих систем проектування до реальних виробничих умов.
- 3 Отримати практичні навички рішення конструкторсько-технологічних завдань на базі оптимізації.
- 4 Ознайомитися з перспективами і основними напрямками розвитку і вдосконалення САПР ТП.
- 5 Опанувати методику техніко-економічного обґрунтування використання САПР для автоматизації технологічної підготовки виробництва.

1.1.1 Автоматизация технологической подготовки производства

Роль САПР ТП в сучасному виробництві

Згідно ГОСТ 23501-79 "Систем автоматизованого проектування. Основні положення". Система автоматизованого проектування(САПР) є організаційно-технічною системою, що складається з комплексу засобів автоматизації проекту-

вання, взаємозв'язаного з підрозділами проектної організації, і що виконує автоматизоване проектування [6]. Слід особливо відмітити, що САПР - система, автоматизованого, а не автоматичного проектування. Це означає, що частина операцій проектування може, і завжди виконуватиметься людиною. При цьому в досконаліших системах доля робіт, що виконуються людиною, буде менше, але зміст цих робіт – більше творчим.

На більшості вітчизняних підприємств з допомогою САПР виконується лише частина необхідних проектних процедур. Але навіть при такому недосконалому використанні САПР вдалося значно підвищити ефективність проектування. Проте істотне підвищення ефективності спостерігається тільки при наскрізній автоматизації проектування [7,10].

У сучасному світі інтегровані системи автоматизації проектування і технологічної підготовки виробництва стають обов'язковою частиною будь-якої виробничо-економічної діяльності. Вони можуть забезпечити життєздатність підприємства і дати йому можливість розвиватися в сучасних умовах надзвичайно жорсткої ринкової конкуренції. Правильно спроектовані і реалізовані, вони істотно знижують накладні витрати і є унікальним стратегічним засобом.

Цілями автоматизації технологічної підготовки виробництва є:

- 1 Зростання продуктивності праці інженера-технолога, а значить скорочення трудомісткості технологічної підготовки виробництва;
- 2 Скорочуються терміни технологічної підготовки виробництва(зменшується цикл), збільшується мобільність;
- 3 Підвищується якість проектування ТП.

Скорочення трудомісткості технологічної підготовки виробництва призводить до зменшення собівартості виробу. Необхідність скорочення термінів технологічної підготовки виробництва обумовлюється тим, що в конкурентній боротьбі в кращому положенні опиниться підприємство, яке не лише випускає конкурентоздатну продукцію, але і укладається в мінімальні терміни по підготовці цієї продукції до випуску. Якість проектування ТП має велике значення у зв'язку з необхідністю раціонально використати сучасне дороге устаткування і обладнання.

1.1.2 Етапи розвитку САПР ТП

Можна визначити 2 види режимів обробки інформації - пакетний і діалоговий. Пакетний режим не дає технологу прямого зв'язку з ЕОМ. Діалоговий режим дозволяє технологу безпосередньо брати участь в рішенні завдань, що є

ефективним для оптимізаційних багатofакторних завдань. Можна відмітити спіральність розвитку в цьому напрямі. На початку переважала пакетна обробка(60-70 pp.), потім діалогова(80-і - перша половина 90-х) за винятком великих тотожних масивів інформації. Останнім часом знову підвищується доля використання пакетного режиму, оскільки підвищується "інтелектуальний рівень" використовуваного програмного забезпечення.

Спочатку САПР ТП розроблялися як окремі завдання. Але з кінця 70-х почали з'являтися розробки по інтеграції конструкторського, технологічного САПР і усіх АСТПП. Вони включають конструкторську, технологічну підготовку виробництва, автоматизоване управління виготовлення деталей і складання вузлів. Нині інтегровані системи автоматизації проектування і технологічної підготовки виробництва стають обов'язковою частиною дійсно ефективного виробництва. На початку 90-х років досить гостро стала проблема необхідності прискорення проектування інформаційних систем. Почали з'являтися різноманітні засоби, більшість з яких можна віднести до CASE-технологій.

1.1.3 CASE-технології

CASE-технології (Computer Aided System Engineering) приблизно з 2-ої половини 90-х стали одними з що найдинамічніше розвивається галузей інформаційних технологій.

Під CASE- технологією розуміється сукупність засобів автоматизації розробки інформаційної системи(IC), що включає методологію аналізу предметної області, проектування, програмування і експлуатації IC.

Появі CASE- технологій і CASE- засобів передували широкі дослідження в галузях методологій програмування і проектування.

CASE- технологія дозволяє відокремити проектування інформаційної системи власне програмування і відладки : розробник системи займається проектуванням на більш високому рівні, не відволікаючись на деталі. Це дозволяє не допустити помилок вже на стадії проектування і отримати досконаліші програмні продукти. Ця технологія змінює усі стадії розробки IC, понад усе відбиваючись на етапах аналізу і проектування.

Сучасні CASE- технології успішно застосовуються для створення IC різного класу. Вони зазвичай мають досить високу вартість і вимагають тривалого навчання і кардинальної реорганізації усього процесу створення IC. Проте еко-

номічний ефект застосування CASE- технології дуже значний, і більшість сучасних серйозних програмних проектів здійснюються саме з їх допомогою.

1.1.4 Напрямки розвитку сучасних систем САПР

Якнайповніше вимогам і суті сучасних САПР відповідають інтегровані комплекси високоавтоматизованих спеціалізованих систем, які розроблені у рамках єдиної методології. І на додаток вони мають бути досить гнучкими - дозволяти виконувати адаптацію до конкретних умов експлуатації фахівцями прикладних областей.

Сьогодні перед фахівцями і керівниками машинобудівних підприємств виникає проблема не вибору і придбання програмних продуктів, а проблема вибору концепції або філософії автоматизації усієї виробничо-економічної діяльності підприємства.

Додатка з областей автоматизації проектування погано вписуються в стару схему. У цих областях замовники не в змозі чітко і повністю визначити вимоги до системи. До того ж, при передачі розробки з етапу на етап, різні виконавці, як правило, не можуть до кінця зрозуміти один одного. В результаті на завершальному етапі робіт замовники залишаються незадоволеними. При цьому або робота припиняється, або починається тривалий і дорогий процес доопрацювання і адаптації системи.

В середині 80-х років у фірмі Du Pont був формалізований підхід до розробки інформаційних систем, ґрунтований на послідовному випуску прототипів системи, жорстких обмеженнях за часом і залученні до роботи кінцевих користувачів системи. Після публікації в 1991 році книги Дж. Мартіна "Rapid Application Development" ("швидка розробка додатків") цей підхід отримав широку популярність як RAD- технологія.

У основі RAD- технології лежать наступні положення.

1 Користувачі активно беруть участь в розробці системи від початку обстеження предметної області до впровадження.

2 Не треба повного визначення вимог до системи(її специфіка-цій), деталі можна додавати в ході розробки.

Це скорочує тривалість аналізу і дає деяку свободу у визначенні вимог низького рівня в ході побудови прототипів системи і їх обговорення з кінцевими ко-

ристувачами. В умовах жорстких тимчасових обмежень менш пріоритетні вимоги можуть бути опущені.

Система розробляється невеликою командою з 4-6 чоловік, включаючи 1-2 користувачі. Під час проектування склад команди практично не міняється, завдяки чому зводиться до мінімуму об'єм проміжної документації.

Розробка ведеться ітераціями. Основну роль грає правило 80/20, яке свідчить, що 80% роботи може бути виконане за 20% часу, що витрачається на усю роботу. Це означає, що немає сенсу займатися тонким налаштуванням системи, коли ще не визначені до кінця основні вимоги до неї. Кожен крок має бути закінчений настільки, наскільки це необхідно для виконання наступного етапу.

Тестування проводиться поступово упродовж усього життєвого циклу системи.

Великі застосування розбиваються на дрібніші функціональні компоненти, для яких чітко визначається група користувачів. При наявності декількох команд можлива паралельна розробка системи. В цьому випадку проводиться ретельніший аналіз прикладної області. Сильна сторона підходу RAD полягає в тому, що він дозволяє безпосередньо в ході розробки швидко виявляти і уточнювати, а потім реалізовувати необхідний набір функціональних можливостей і в результаті отримувати систему, що дійсно задовольняє вимогам замовника на момент її впровадження.

Переваги нової технології :

- скорочується тривалість циклу розробки в 10-15 разів;
- повністю задовольняються вимоги за кожним робочим місцем;
- програмні засоби характеризуються високою якістю і досягають високої міри уніфікації і інтеграції.

Сегодня жизнь выставила новые **стратегические ориентиры** в организации функционирования производственной среды предприятий:

- гибкое управление и планирование всех этапов создания изделий в виде со-параллельного (concurrent) их выполнения базе ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА предприятия;
- формирование, накопление и рациональное использование ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ предприятия;
- ПОЭТАПНАЯ комплексная автоматизация производственных (интеллектуальных и материальных) и управленческих процессов на базе НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (методов и средств искусственного интеллекта, метаинструментальных средств и др.). В любом случае, на каждом кон-

кретном производстве придется принимать как минимум *три возможных решения*:

1 Почати автоматизацію, послідовно придбаваючи локальні спеціалізовані і універсальні засоби. Наприклад: графічні ре-дакторы, бази даних, системи проектування техпроцессов і тому подібне, з надією згодом об'єднати їх в єдине проектує середовище.

Тут чекає:

- низький рівень автоматизації безпосередньо проектною діяльністю: комп'ютер використовується як засіб отримання результатів проектування (креслень, специфікацій, техпроцессов і так далі), а не як засіб проектування, що залишає методологію проектування такою ж, якою вона була при використанні креслярської дошки;

- складність (а швидше неможливість) інформаційної інтеграції локальних спеціалізованих і універсальних засобів. З однієї підсистеми в іншу передаються дані, а не зв'язки між ними, що ставить під сумнів можливість реалізації ітераційного багатоваріантного проектування;

- неможливість роботи з інформаційною моделлю створюваного об'єкту на різних етапах (максимум – обмін між підсистемами);

- необхідність поперемінного входу і виходу в кожну з локальних підсистем і звідси - відносно низька продуктивність.

2 Спробувати визначити увесь комплекс завдань, який необхідно вирішити і придбати універсальне інтегроване проектує середовище. При високих витратах отримується досить потужний засіб, при використанні якого зустрінуться наступні проблеми:

- алгоритми і інформаційне забезпечення не відповідатимуть логіці проектування, до якої звикли фахівці підприємства;

- велика надмірність функціональних можливостей це не лише зайві витрати, але і складність освоєння фахівцями проектує середовища, а також спеціальні вимоги до технічних засобів за об'ємом пам'яті, швидкодії і так далі;

- як би ретельно не вівся первинний аналіз, рано чи пізно якісь завдання виявляться не вирішуваними, а спроби внести зміни або доповнення в алгоритмічне забезпечення виявляться марними, оскільки, зазвичай, такі засоби закриті для користувача.

- неминуче виникнуть складнощі з впровадженням і супроводом, особливо з методичним, оскільки вітчизняні фірми-дилери, як правило, не мають можливості містити команду експертів з питань автоматизації.

3 Найбільш прийнятний третій шлях - знайти стратегічного партнера-фірму, що спеціалізується на розробках комплексних систем проектування на основі сучасної RAD- методології, спільно розробити детальне технічне завдання, зробити техно-рабочий проект системи, і поетапно його реалізовувати, узгодившись з першочерговими завданнями і фінансовими можливостями. Це питання політичної волі керівництва підприємства плюс компетентність фахівців з автоматизації на цьому підприємстві.

Окрім постійного зростання можливостей електронної техніки усю-вершенствуються методологічне і математичне забезпечення, що дозволяє здійснювати ефективнішу оптимізацію проектування.

1.1.5 Характеристики ряда современных систем САПР

Одним з прикладів CASE- технології може служити "Спрут-технологія" розроблена в МГТУ ім. Баумана. Операційне середовище СПРУТ надає спеціалізований інструментарій, що дозволяє створювати високорівневі програмні продукти безпосередньо фахівцям прикладникам, без відвернення їх від основної роботи на довгий час.

Автоматизоване створення компонентів САПР за допомогою інтерактивних засобів(без програмування) з автоматичною кодогенерацією програм, ефективні засоби макетування, легкість внесення змін до вже розробленої системи дозволяють максимально полегшити завдання розробника і вирішити воно за допомогою простих і інтуїтивно зрозумілих дій, даючи можливість зосередитися, головним чином над тим як працює система, а не на техніці її створення.

Відмітною властивістю систем, розроблених в СПРУТ-технологии, є той факт, що це самостійне, незалежне від архітектури СПРУТ і його розробників спеціалізовані продукти, що мають власне ім'я і тиражовані без ядра, що породжує їх. Таким чином, комплекс СПРУТ - не закритий набір підсистем, а открытая система, яка може розвивати сама собі.

RAD- методологія, суть якої "технологія інструментальні сред-ства", є основною характеристикою системи СПРУТ як новій інформаційній технології САПР. Вона відрізняється тим, що знання замовника про методи проектування АВТОМАТИЧНО перетворюються на робочий проект системи. У більшості

випадків до створення навіть великих систем практично не притягуються програмисти.

Система має спеціальні засоби для створення технологічних САПР. Зокрема є технологічний процесор ЧПУ, що дозволяє управляти тривимірною(3D) обробкою контурів поверхонь з урахуванням різального інструменту. Іншим прикладом сучасних CAD/CAM- систем може служити система T - FLEX/Технопро для Windows, яка стала вдалим результатом співпраці фірми "Топ Системи" і фірми " Вектор"(розробник популярної системи "СІАП ТП"). На думку творців, ТехноПро - універсальна система проектування технології і підготовка виробництва.

Система створена на основі більш ніж 20-річних власних досліджень в області автоматизації проектування, і вона може функціонувати як автономно, так і у складі інтегрованих комплексів проектування, виробництва і управління підприємством. Забезпечені проектування технологічних процесів будь-яких виробів : механообробляємых деталей, складання, зварювання, штампування, кування, термообробки, нанесення покриттів, електромонтажу, виготовлення печатних плат та ін.

1.1.6 Особливості технологічного підготування виробництва в сучасних умовах

Структурно-функціональна схема АСТПВ

Особливості розвитку в машинобудуванні обумовлюють широке застосування методів уніфікації виробів, типізації технологічних процесів, стандартизації перенастроюваних засобів технологічного оснащення і автоматизації виробничих процесів. Прикладом засобів узагальнення може служити запроваджена ще за часів СРСР єдина система підготовки виробництва (ЄСТПВ).

ЄСТПВ базується на 3 принципах:

- 1) уніфікація та опрацювання виробів на технологічність;
- 2) типізація ТП;
- 3) механізація та автоматизація виробничих процесів та інженерно-технічних робіт.

ЄСТПВ призначена для скорочення строків і витрат на технологічну підготовку виробництва.

АСТПВ – це система, яка будується на використанні стандартів ЄСТПВ і в якій більше 60 % об'єму інженерних робіт виконується автоматизовано на ЕОМ у системі “людина – машина” (рис.1).

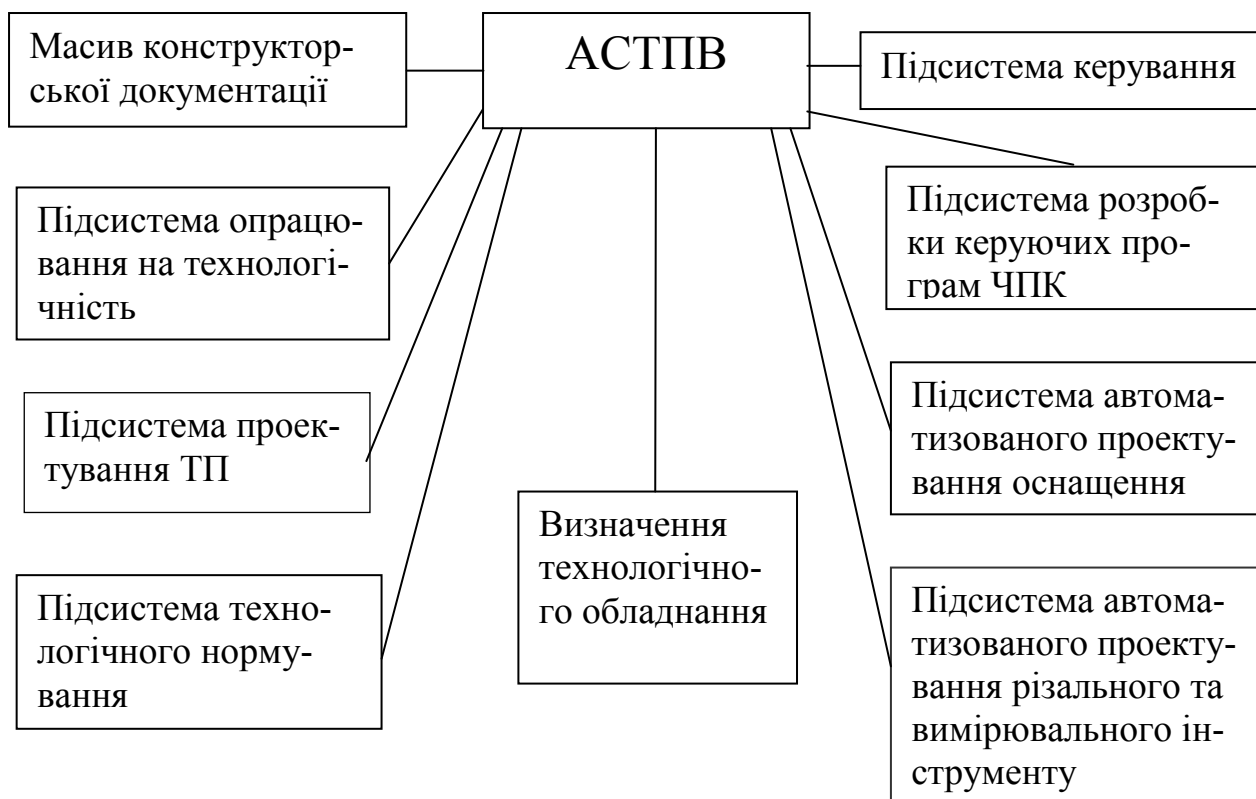


Рисунок 1 – Структурно-функціональна схема АСТПВ

Основою АСТПВ є об'єднання у єдине ціле творчої праці інженера-технолога і автоматичне рішення технологічних задач на базі використання інформаційного, математичного і технічного забезпечень.

Підсистема керування АСТПВ здійснює планування, облік та регулювання роботи всіх підсистем та окремих підрозділів технологічної служби.

Основними задачами підсистеми є:

- 1) класифікація і групування деталей;
- 2) розрахунок виробничих потужностей;
- 3) розробка сіткових графіків та їх оптимізація;
- 4) планування і облік роботи підрозділів технологічної служби.

Підсистема опрацювання на технологічність забезпечує аналіз конструкцій деталей на технологічність з використанням математичних методів і засобів обчислювальної техніки. Аналіз конструкції здійснюється по кількісним і якісним показникам.

До кількісних показників якості відносять:

- 1) *диференційовані*: рівень технологічності по шорсткості; по точності; по коефіцієнту використання матеріалу;
- 2) *комплексні*: трудомісткість виготовлення, собівартість.

До якісних показників відносять:

- 1) форму деталі;
- 2) схему базування;
- 3) уніфікацію розмірів, конструктивних елементів, матеріалів.

Підсистема передбачає також проведення розрахунків з оцінювання та прогнозування технологічності нових виробів. Також підсистема здійснює керування технологічністю конструкцій виробів.

До складу інформаційного забезпечення підсистеми входять:

- 1) масив класифікаторів деталей;
- 2) масив даних про типові та нормалізовані елементи деталей;
- 3) інформація про марки та сортамент матеріалу;
- 4) інформація про гальванопокриття;
- 5) інформація про засоби хіміко-термічної обробки;
- 6) інформація про технологічне обладнання;
- 7) масиви характеристик точності;
- 8) розрахункові показники технологічності.

Математичне забезпечення підсистеми базується на розрахункових формулах оцінки технологічності конструкції.

Підсистема проектування ТП служить для автоматизованого проектування маршрутних, операційних, типових та групових ТП обробки.

Початкові дані: інформація про деталь, описана формалізованою мовою.

До складу інформаційного забезпечення цієї підсистеми можна віднести структуру бази даних, масиви технологічних операцій, технологічного обладнання, оснащення, різального та вимірювального інструментів.

Математичне забезпечення – це інформаційні і математичні моделі, які описують структуру технологічних операцій.

Вихідна інформація – це документація на ТП: маршрутні, операційні карти, карти ескізів, карти технічного контролю та ін.

Підсистема технологічного нормування призначена для нормування операцій дослідно-статистичним та розрахунково-аналітичним методами.

Вхідні дані: тип операцій, обладнання, спосіб базування та закріплення заготовки, різальний та вимірювальний інструмент, режими різання, розміри деталі.

Інформаційне забезпечення системи – масиви допоміжного часу та штучного часу при нормуванні дослідно-статистичним методом (встановлення норми часу і пов'язання її з технологічним переходом, масив нормалізованих даних по обслуговуванню технологічного обладнання, витрати часу на організаційно-технічне обслуговування та на підготовчо-заклучні роботи).

Математичне забезпечення – це математичні моделі для визначення норм часу в залежності від конкретних умов.

Вихідною інформацією для цієї системи є штучний час або штучно-калькуляційний час.

Розрахунково-аналітичний метод визначення технічної норми часу:

$T_{шт.} = t_o + t_{доп} + t_{орг.тех.обсл.}$ (для одиничного виробництва);

$T_{шт.к.} = t_o + t_{доп} + t_{орг.тех.обсл.} + T_{пз}/n$ (для масового виробництва),

де n – партія деталей, $n = (N \cdot t)/\Phi$;

t – час роботи складального цеху;

N – програма запуску;

Φ – кількість днів у році.

Дослідно-статистичний метод нормування:

$T_{шт.} = t_{н.шт.} + t_{вст.},$

де $t_{н.шт.}$ – неповний штучний час.

При формуванні дослідно-статистичним методом до інформаційного забезпечення включають неповний штучний час.

Підсистема розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК служить для автоматизованого проектування розробки керуючих програм.

Вхідні дані: розрахунково-технологічна карта (РТК) наладки або в інтегрованих системах дані з підсистеми проектування ТП.

Інформаційне забезпечення: постпроцесор системи керування ЧПК, а також дані про обладнання.

Математичне забезпечення – формалізована модель траєкторії руху різального інструменту.

Вихідні дані: програма для ЧПК.

Підсистема проектування технологічного оснащення і підсистема проектування різального та вимірювального інструменту працюють в двох режимах:

- 1) автоматизований вибір стандартного, нормалізованого, уніфікованого, існуючого на даному підприємстві оснащення, вимірювального та різального інструменту з бази даних;
- 2) доробка вже існуючого стандартизованого або проектування спеціального оснащення, різального та вимірювального інструменту.

Підсистема визначення технологічного обладнання призначена для визначення необхідної кількості обладнання для виконання робіт за ТП.

Вихідні дані: зведена відомість технологічного обладнання по групам, у якій вказано розраховану і прийняту кількість обладнання, Кзо, гістограма завантаження обладнання.

Принципи побудови АСТПВ

- 1 Інформаційна ув'язка всіх систем, які діють на підприємстві
- 2 Єдність інформаційно-пошукової мови (мова запитів)
- 3 Раціональний розподіл функцій між комп'ютером та технологом
- 4 Оптимальність структури АСТПВ
- 5 Побудова типових АСТПВ в умовах галузі

1.2 Поняття, склад і структура, види забезпечення САПР ТП

1.2.1 Структура САПР ТП

У відповідності з вирішуваними задачами, що виникають під час проектування технологічних процесів, кожна САПР ТП може розглядатись як сукупність взаємозв'язаних підсистем. ГОСТ 23501.0-79 встановлює склад і основні засади побудови САПР ТП.

Підсистема – виділена за якимись ознаками частина системи, яка забезпечує виконання закінченої процедури одержання відповідного рішення або проектної (технологічної) документації. Підсистеми САПР за призначенням можна розділити на два види:

- 1) проектуючі, які виконують проектні процедури і операції;
- 2) обслуговуючі, які підтримують працездатність проектуючих систем.

Проектуючі підсистеми в залежності від їх відношення до об'єкту проектування розділяють на об'єктні та інваріантні. Перші виконують процедури, характер яких визначається об'єктом проектування. Інваріантні підсистеми виконують уніфіковані проектні процедури (підготовка та видача документів, введення і коригування вхідних даних, стандартизовані математичні розрахунки).

До складу САПР ТП входять наступні класи підсистем (рис.2):

1 Інформаційні підсистеми призначені для введення, корегування та обліку інформації як про об'єкт виробництва, так і нормативно-довідкового характеру.

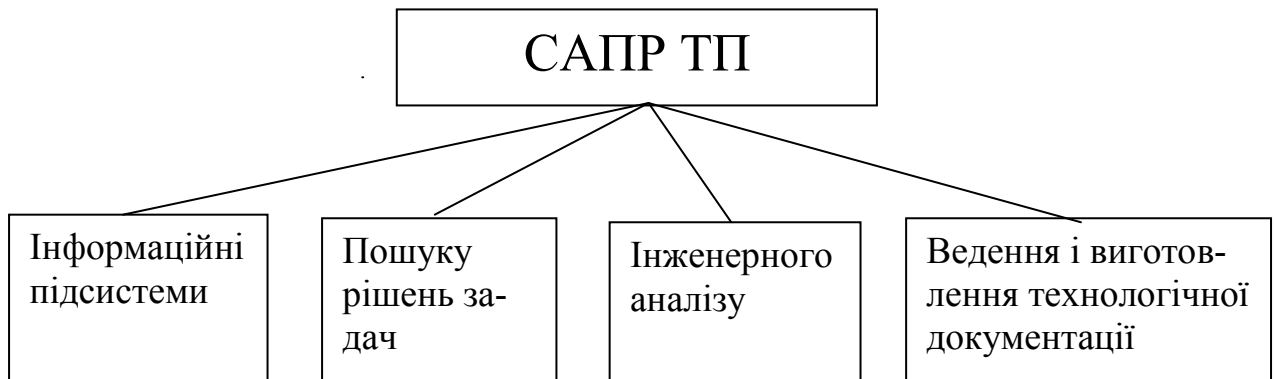


Рисунок 2 – Склад САПР ТП

2 Підсистема пошуку рішень задач забезпечує пошук варіантів рішення задачі.

Тут існує два напрями:

- 1) пошук розв'язання нових задач з новим складом;
- 2) пошук варіантів рішення задач з відомими діями.

3 Підсистема інженерного аналізу призначена для моделювання об'єкту, що проектується, і оптимізації його параметрів на основі сучасних математичних методів.

Основні математичні моделі, що використовуються:

- 1) аналітичні:
 - дискретні,
 - детерміновані,
 - стохастичні;
- 2) імітаційні моделі;
- 3) евристичні моделі.

4 Підсистема ведення і виготовлення технологічної документації призначена для проектування технологічної документації, в якій відображується об'єкт, що проектується (маршрутно-операційні карти, карти ескізів, схеми, таблиці і т.ін.).

1.2.2 Засоби забезпечення САПР ТП

Можна виділити сім видів забезпечення САПР:

- 1 Технічне
- 2 Математичне
- 3 Програмне
- 4 Інформаційне
- 5 Лінгвістичне
- 6 Методичне
- 7 Організаційне

Технічне забезпечення – це засоби обчислювальної і організаційної техніки, передачі даних, вимірювальні та інші пристрої, необхідні для виконання автоматизованого проектування (комп'ютери, сканери, мережі).

Математичне забезпечення – сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів, необхідних для проектування.

Програмне забезпечення – програми, їхні вихідні тексти, а також інструкції з використання.

Інформаційне забезпечення – документи, що вміщують описи типових проектних рішень, нормативно-довідкової інформації у потрібній формі.

Лінгвістичне забезпечення – сукупність мов опису вхідних даних і завдань на проектування, результатів проектування, в тому числі і проміжних, представлених в зручній для розуміння і практичного використання формі.

Методичне забезпечення – документи, в яких відображено склад і правила відбору та експлуатації засобів забезпечення автоматизованого проектування.

Організаційне забезпечення – сукупність документів, що встановлюють склад і структуру проектних підрозділів, які використовують автоматизоване проектування, а також форми представлення всього документообігу.

Лінгвістичне забезпечення. Однією з основних задач, рішення яких необхідно для здійснення автоматизованого проектування, є формалізація технологічної інформації, тобто представлення її за допомогою набору формальних правил, що дозволяють всю інформацію записати на мові ЕОМ.

У питанні формалізації опису технологічної інформації можна виділити два принципових методичних підходи: розробка комплексу кодувальних відомостей і використання спеціальної формалізованої мови.

При проектуванні на базі типових технологічних процесів спочатку необхідно знайти відповідний типовий технологічний процес. Для цього замість креслення деталі достатньо вказівки, до якого типу вона відноситься. Це можна зробити за допомогою класифікації деталей і завдання класифікаційних ознак типу.

Проектування на базі типових технологічних процесів здійснюється з використанням конструкторсько-технологічної класифікації. Для представлення інформації робочого креслення у виді, прийнятному ЕОМ, необхідна система кодування конструктивно-технологічних параметрів деталі. На кафедрі Технології і управління виробництвом розроблені таблиці кодування конструктивно-технологічних параметрів деталей, покладені в основу методу автоматизованого проектування маршрутних технологічних процесів.

Для кодування інформації робочого креслення деталі використовується класифікаційний символічний код. Число знаків може бути різним в залежності від необхідного ступеня конкретизації параметрів деталі. У наведеної САПР прийнятий одинадцятизнаковий код.

Для створення маршрутно-операційної й операційної технології необхідно застосування системи кодування конструкторсько-технологічних параметрів деталі, що дозволяє задавати точнісні і розмірні характеристики конкретних поверхонь, а також їхнє взаємне розташування. Є ряд пропозицій по її організації:

- 1) поверхням комплексної (групової) деталі привласнити символічні мнемонічні позначення і організувати кодувальні таблиці;
- 2) врахувати прив'язку розмірів до базових поверхонь і можливість варіювання;
- 3) додаткові поверхні (фаски, проточки, галтелі і т.д.) прив'язувати до основних.

Використання такої системи кодування конструкторсько-технологічних параметрів деталі дозволить одержувати міжопераційні розміри, проводити розрахунки режимів різання і норм часу на обробку, вибирати конкретну номенклатуру оснастки.

Інформаційне забезпечення. Інформаційне забезпечення САПР є необхідною складовою. До нього відносять формалізований опис, Держстандарти, нормалі, керуючі матеріали, технічні характеристики устаткування і т.д., а також ти-

пові рішення. У зазначеній системі САПР інформаційне забезпечення складається з бібліотеки типових технологічних процесів і довідкових баз даних, найменування операцій і їхнього змісту, устаткування, оснастки, різального і вимірювального інструмента.

З метою скорочення часу на розробку програми, необхідної для автоматизованого проектування маршрутного технологічного процесу, доцільно нормативно-довідкову інформацію представити у вигляді інформаційної моделі. Найбільш раціональною формою представлення інформаційної моделі технологічного маршруту обробки для рішення інформаційної задачі є таблиця рішень.

У випадку збігу логічних умов вибору технологічних операцій, устаткування, пристосувань, різального і вимірювального інструмента, із метою спрощення структури файлу технологічного процесу логічні умови, що дублюються, виключаються. Ключем вибору технологічної оснастки є код операції.

Отриманий таким способом технологічний процес є груповим для деталей з заданим набором поверхонь. При цьому для частини пристосувань і інструмента необхідно вилучити посилання на конкретну номенклатуру.

1.2.3 Призначення, класифікація і склад інформаційно-пошукових систем (ІПС)

Призначення ІПС

ІПС призначається для централізованого введення, збереження, коригування, пошуку та видачі інформації, необхідної для розв'язання конструкторсько-технологічних задач.

Технологічне проектування являє собою складний і розгалужений процес переробки інформації. Інформацію можна розділити на два класи: перемінну й умовно-постійну. Накопичувачем і хранителем інформації в АСТПВ є інформаційно-пошукова підсистема (ІПС).

ІПС у складі АСТПВ – це система збору, збереження, накопичення, пошуку і передачі даних, що застосовуються у процесі технологічного проектування; вона складається з таких частин:

- інформаційно-довідковий фонд (архів, бібліотека даних, мова системи);

- комплекс моделей і програм, що забезпечують функціонування ІПС;
- комплекс технічних засобів, що виконують функції ІПС.

Роль ІПС у процесі автоматизованого проектування значна, тому до її складу, структури і методів організації пред'являють високі вимоги.

Класифікація ІПС

Щоб систематизувати існуючі та розроблювані ІПС, застосовується єдина класифікація цих систем за допомогою багатозначних кодів (12 символів, 8 параметрів):

X	X	X	X	X	X	X	X	XX	XX
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- 1) сфера використання ІПС;
- 2) рівень автоматизації;
- 3) вид результату, що видається;
- 4) режим роботи;
- 5) вид пошуку;
- 6) тип інформаційно-пошукової мови;
- 7) тип структури інформаційного фонду;
- 8) код характеру процесу обробки;
- 9) код носія інформації у першому контурі;
- 10) код носія інформації у другому контурі.

1 За сферою використання ІПС поділяються на чотири види:

- 1) ІПС індивідуального використання;
- 2) ІПС колективного користування конструкторсько-технологічних служб;
- 3) ІПС підприємства;
- 4) ІПС галузі.

Відмінністю класифікації ІПС за сферою використання є об'єм інформаційного фонду та його спеціалізація.

До складу ІПС підприємства входить наступна інформація:

- номенклатура виробів підприємства;
- переліки складальних одиниць та окремих деталей;
- технологічні процеси виготовлення деталей;

- матеріальні та трудові нормативи;
- бази даних прецедентів обробки.

2 За рівнем автоматизації ІПС підрозділяють на 2 види:

- 1) механізовані;
- 2) автоматизовані.

3 За видом результату, що видається:

- 1) документальні;
- 2) фактографічні;
- 3) змішані (комбіновані).

Документальні ІПС видають або весь документ, або посилання на нього. Фактографічні видають частину інформації, яка відповідає поданому запиту.

4 За режимом роботи:

- 1) ІПС ретроспективного виду (пошуку);
- 2) ІПС поточного сповіщення;
- 3) ІПС змішаного виду.

ІПС ретроспективного виду здійснюють пошук по всьому зафіксованому на якийсь конкретний час інформаційному фонду.

ІПС поточного сповіщення здійснюють пошук в рамках інформації, що надходить.

ІПС змішаного виду працюють по обом ознакам.

5 За видом пошуку:

- 1) за набором конструктивно-технологічних параметрів;
- 2) за найменуванням;
- 3) за позначенням.

6 За типом інформаційно-пошукової мови:

- 1) ІПМ, засновані на конструкторсько-технологічних класифікаторах;
- 2) ІПМ, засновані на дескрипторах;
- 3) ІПМ, засновані на зв'язках між дескрипторами.

Приклади дескрипторів:

- СУ - спосіб установки;
- ТОЧ - точити;
- ЗНК - зенкувати;

ЦП - циліндрична поверхня.

ТОЧ_ЦП/D=100, D1=105;

точити циліндричну поверхню діаметром 105 мм до 100 мм.

7 За типом структури інформаційного фонду:

- 1) ІПС з постійною структурою інформаційного фонду;
- 2) ІПС зі змінною структурою інформаційного фонду.

ІПС з постійною структурою не дозволяють змінювати структуру без зміни програмного та математичного забезпечення. ІПС зі змінною структурою дозволяють це робити.

8 За характером процесу обробки:

- 1) обробка інформації з участю людини;
- 2) обробка інформації без участі людини.

9,10 За кодом носія інформації в першому та другому контурах.

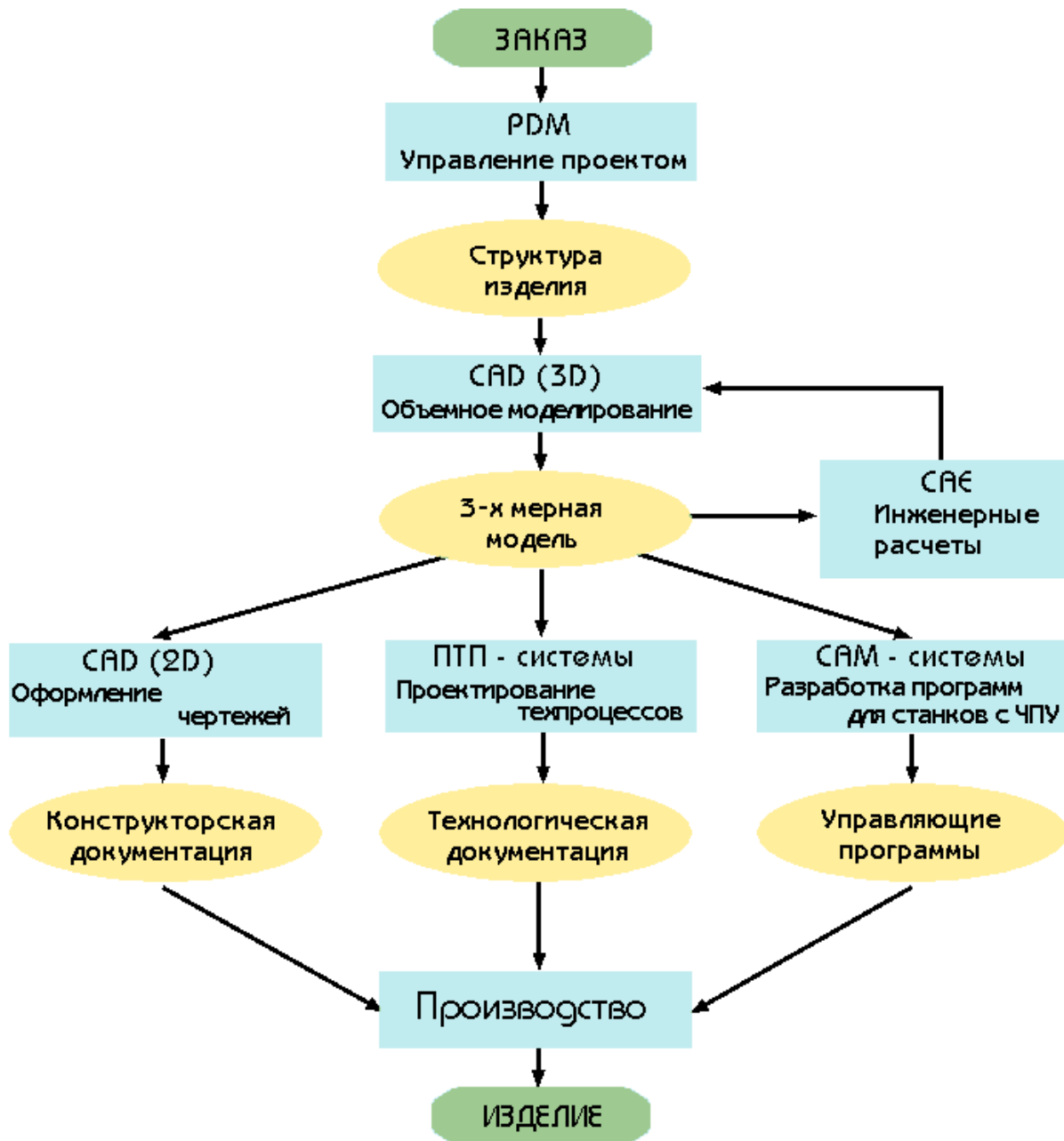
При роботі ІПС в першому контурі ми одержуємо інформацію переважно документального виду. При роботі в другому контурі – фактографічного виду.

3.1 Автоматизація циклу підготовки виробництва.

CAD/CAM/CAE/PDM/CAPP системи як складові частини

- 1 **CAD** системи в буквальному перекладі аббревіатури "комп'ютерна підтримка проектування". Предназначаются для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации. Как правило современные **CAD** системы включают в себя два модуля: моделирование трехмерной объемной конструкции (детали) и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификации, ведомости и т.д.). Трехмерные **CAD** системы дают возможность реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства.
- 2 **CAM** системы - "комп'ютерна підтримка виготовлення". Предназначаются для проектирования обработки на станках с ЧПУ и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных). Пока это единственный путь для изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла изготовления детали. **CAM** системы используют непосредственно трехмерную модель созданную в **CAD**.

Схема сквозного цикла



- 3 **CAE** системы - "Поддержка инженерных расчетов". Очень обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач). Сюда относятся - расчеты на прочность, анализ и моделирование тепловых процессов, расчет гидравлических систем и машин, расчет процессов литья. Как правило это очень дорогие системы и требуют высокой квалификации специалиста (пользователя). **CAE** системы так же используют непосредственно трехмерную модель созданную в **CAD**.

- 4 **PDM** системи - "Управление данными о продукте (изделии)" или управление проектами, то есть автоматизированная система управления конструкторским проектированием и технологической подготовкой производства. Позволяют планировать, управлять разработкой любых проектов, создавать и хранить архив технической документации. **PDM** системы - это системы для руководителей различного ранга. Позволяют интегрировать конструкторские, технологические и расчетные системы и создавать информационную базу данных предприятия.

1.4 Методи проектування технологічних процесів. Принципи прийняття рішень

1.4.1 Методи проектування технологічних процесів

Під *автоматизацією проектування* розуміють систематичне використання ЕОМ у процесі проектування при обґрунтованому розподілі функцій між людиною й ЕОМ і обґрунтованому виборі методів автоматизованого рішення технологічних задач.

По ГОСТ 22487-77 розрізняють 3 види проектування: *неавтоматизоване, автоматизоване й автоматичне*. При *неавтоматизованому* проектуванні всі перетворення описів об'єкта і (або) алгоритму його функціонування здійснює людина. При *автоматизованому* проектуванні усе вищевказане здійснюється при взаємодії людини й ЕОМ, а при *автоматичному* – без участі людини.

При автоматизованому проектуванні проектувальник повинен вирішувати творчі задачі, які важко формалізуються, а ЕОМ – задачі, функції яких пов'язані в основному з виконанням нетворчих або розумово-формальних процесів. До останнього можна віднести розрахункові задачі (визначення припусків на механообробку, операційних розмірів, режимів різання тощо).

Сучасний рівень розвитку теорії проектування, методів формалізації і технічних засобів дозволяє поступово передавати ЕОМ рішення і творчих задач.

По ступеню поглибленості розробок розрізняють декілька рівнів проектування: розробку принципової схеми технологічного процесу, проектування технологічного маршруту обробки деталі, проектування технологічних операцій, розробку керуючих програм для устаткування з ЧПК.

ТП механоскладального виробництва і його елементи є дискретними, тому задача синтезу полягає у визначенні їхньої структури. Якщо серед варіантів структури шукають найкращий, то таку задачу синтезу називають *структурною оптимізацією*. Розрахунок оптимальних параметрів ТП або операції (переходу) при заданій структурі з позиції деякого критерію називають *параметричною оптимізацією*. Можливості постановки і рішення задач структурної оптимізації обмежені, тому під оптимізацією часто розуміють тільки параметричну оптимізацію.

1.4.2 Принципи прийняття рішень при технологічному проектуванні

Проаналізуємо принципи прийняття рішень при вирішенні технологічних задач. Як приклад роздивимось завдання про вибір методу обробки. Нехай у деталі треба обробити отвір за заданими розмірами. Для вирішення цієї задачі технолог застосовує відомі апробовані методи. У технології машинобудування є декілька перевірених на практиці методів обробки отворів: чорнові – свердлення, розсвердлення, зенкування, розточування; чистові – розгортання, розточування, протягування, шліфування, хонінгування. Отже, є кінцевий набір відомих методів обробки (типових рішень), і задача технолога складається в обґрунтованому виборі одного з них, тобто робота технолога зводиться до прийняття одного з типових рішень розглянутої технологічної задачі.

Кожний із методів обробки (типове рішення) має свою область раціонального застосування, що визначається комплексом умов як технологічного, так і організаційно-економічного характеру. При відсутності отвору в заготовці першим чорновим переходом призначають свердлення. Якщо остаточні розміри отвору великі, спочатку свердлять отвір меншого діаметра, а потім його розсвердлюють. У крупносерійному і масовому виробництвах застосовують більш точні методи одержання заготовок, тому в заготовці отвір, як правило, уже є. Як чорновий перехід тоді можна використовувати більш продуктивний метод обробки – зенкування. Проте зенкери виготовляють в основному діаметром до 150 мм. При великих діаметрах отворів необхідно призначати розточування. Аналогічна ситуація спостерігається і для чистових методів обробки отворів. Отвори, виготовлені за 7-м квалітетом, розгортають. Але стандартні розгортки мають діаметр до 80 мм, тому для одержання отворів великого діаметра застосовують чистове розточування. У серійному і крупносерійному виробництвах дуже часто призначають протягування. Для одержання точного отвору призначають шліфування. Для забезпе-

чення малих параметрів шорсткості і високих показників механічних властивостей поверхневого прошарку застосовують хонінгування.

Таким чином, *основний принцип дій технолога при рішенні розглянутої задачі складається в обґрунтованому виборі (прийнятті) типового рішення*. Аналогічним є і методологічний підхід до рішення інших технологічних задач нерозрахункового характеру.

1.5 Принципи й методи автоматизованого проектування ТП

1.5.1 Принципи автоматизації процесу прийняття рішень

Технологічне проектування є послідовним процесом прийняття рішень по окремим технологічним задачам. По кожній з них, за виключенням задач розрахункового характеру, рішення приймають у результаті вибору з відомих типових рішень, з урахуванням комплексу умов. Це шлях до формалізації самого процесу прийняття рішень. Для цього потрібно описати якимось чином увесь набір типових рішень, а також умов використання кожного з них. Вибір зводиться до перевірки відповідності вхідних даних умовам використання типових рішень.

Приклад. *Задача вибору верстата на операцію зубошевінгування*

По-перше, виявляємо множину типових рішень (МТР). Припустимо, на підприємстві є зубошевінгувальні станки трьох моделей, і вони складають цю множину: $MTR = \{5A702Г; 5703В; 5717С\}$.

Сформуємо комплекс умов використання (КУВ) вказаних типових рішень для даної задачі. Необхідними умовами в цьому випадку є можливість розмістити деталь у робочій зоні верстата та можливість обробки її на верстаті даної моделі. Перша група умов регламентує габаритні розміри деталі (діаметр D та довжину L), котрі повинні знаходитись в межах, що допустимі робочою зоною верстата. Друга група умов визначає діапазони можливої зміни таких параметрів, як модуль m та кут нахилу зубу α . Математично все це можна записати у вигляді системи подвійних нерівностей:

$$\begin{aligned} & \{D_{min} \leq D \leq D_{max}\} \\ КУВ = & \{L_{min} \leq L \leq L_{max}\} \\ & \{m_{min} \leq m \leq m_{max}\} \\ & \{\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}\} \end{aligned}$$

Сукупність параметрів, що регламентуються КУВ, – є комплексом параметрів використання $KPB = \{D, L, m, \alpha\}$. **КПВ** є головним визначаючим об’єктом при алгоритмізації задач нерозрахункового характеру.

Далі необхідно виявити можливі діапазони для кожного типового рішення параметрів використання. Параметри зубошевінгувальних верстатів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Умови використання зубошевінгувальних верстатів

Модель верстата	<i>Допустимі інтервали параметрів використання</i>			
	Діаметр вінця D, мм	Довжина зуба L, мм	Модуль m, мм	Кут нахилу зуба α , ...°
5A702Г	60...320	До 110	1,5...6	± 35
5703В	125...500	До 80	1,75...8	± 17
5717С	300...800	До 200	2,2...8	± 35

У відповідності з КУВ для заданих вхідних даних (параметри деталі)

$$U_d = \{D_d; L_d; m_d, \alpha_d\}$$

з трьох можливих приймаємо рішення, котре задовольняє КУВ. Процедуру перевірки цих умов можна описати за допомогою алгоритму (рисунок 3), який досить легко можна реалізувати на ЕОМ.

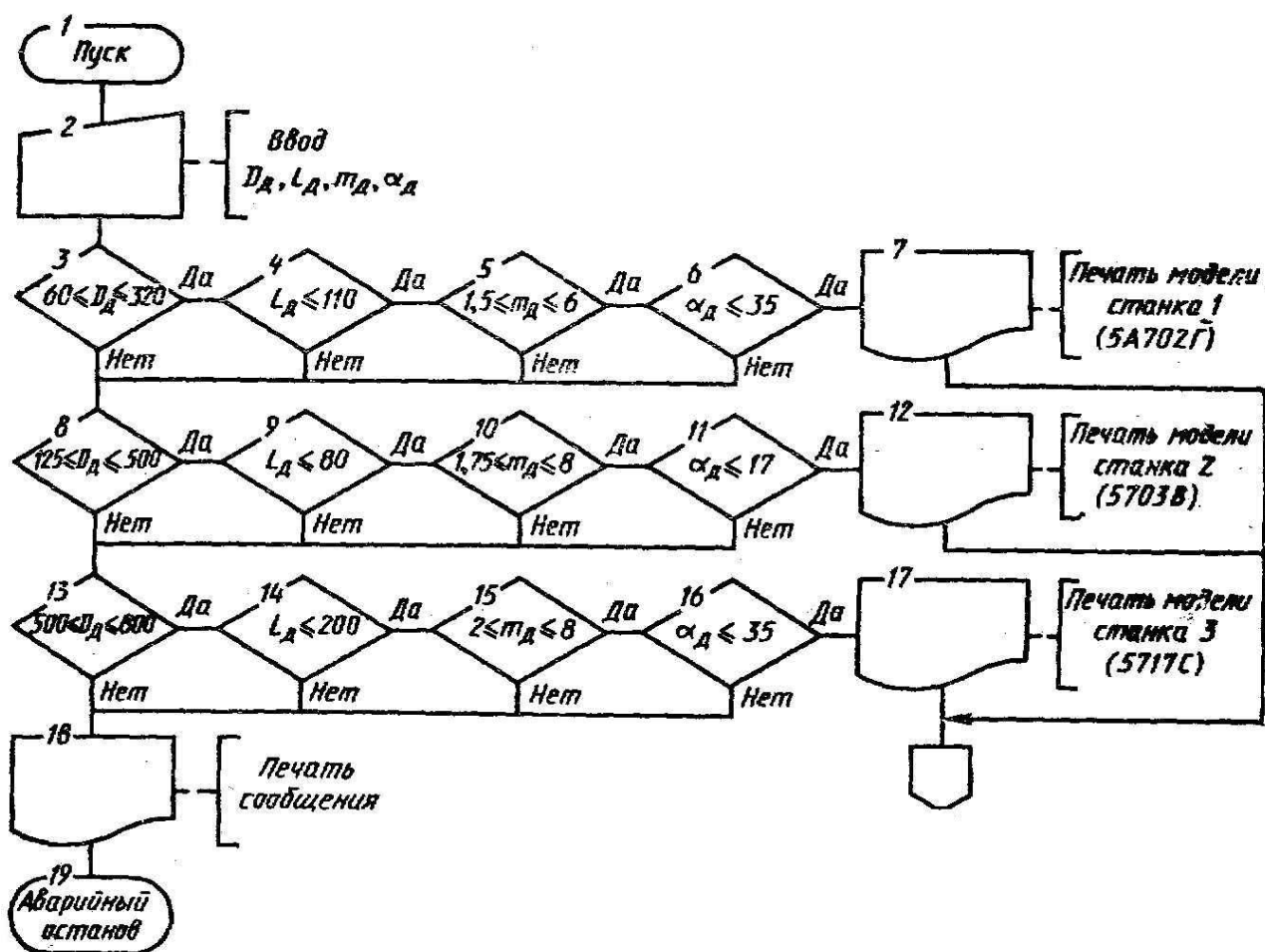


Рисунок 3 – Алгоритм выбора зубошевингувального верстата

Для будь-якого набору вхідних даних U_d вибирається відповідне типове рішення (модель верстату). В цьому алгоритмі закладено принцип переважності використання верстатів менших розмірів (наприклад, набору вхідних даних: {300, 80, 1.75, 35} відповідає рішення 1 (модель верстата 5A702Г), а набору даних: {320, 150, 3, 10} – рішення 3 (верстат 5717С).

Формування комплексу умов використання є найважливішим етапом у розробці алгоритму рішення нерозрахункової задачі. КУВ може бути як досить простим (у нашому прикладі), так і доволі складним і мати, наприклад, вигляд таблиці. До того ж, параметри використання можуть бути пов'язані між собою. За допомогою характеристик типових рішень по КУВ неважко розробити алгоритм рішень цієї задачі на ЕОМ

1.5.2 Методи автоматизованого технологічного проектування

Типові рішення є основою технологічного проектування при використанні ЕОМ. По рішенню задач, які вирішуються, типові рішення розподіляють на 2 групи: локальні і повні.

Локальні типові рішення відносять до окремих технологічних задач, які визначають лише частину ТП, який проектується, наприклад призначення верстату на виконання операції (попередній пункт лекції). Наведемо інший приклад:

МТР1

<i>ТР1 Різець спеціальний</i>	<i>Множина</i>
<i>ТР2 Фреза кінцева ГОСТ 17025-71</i>	<i>локальних</i>
<i>ТР3 Свердло спіральне ГОСТ 10902-77</i>	<i>типових рішень</i>
.....	

де МТР1 – множина ріжучих інструментів, а типові рішення ТР1, ТР2,... - види ріжучого інструменту.

Повні типові рішення охоплюють все коло задач, які вирішуються. Прикладом може бути типовий ТП. Множина типових рішень цієї групи – це множина типових технологічних процесів МТР2, де кожне типове рішення є технологічний процес виготовлення деталей окремого типу:

МТР2

<i>ТР1</i>	<i>ТР2</i>	<i>ТР3</i>
<i>1 Фрезерно-центрувальна</i>	<i>1 Токарна</i>	
<i>2 Токарна</i>	<i>2 Термічна</i>	
<i>3 Токарна</i>	<i>3 Токарна</i>	
<i>4 Шліфувальна</i>	<i>4 Зубодовбальна</i>	
<i>5 Вертикально-фрезерна</i>	<i>5 Шевінгувальна</i>	
<i>6 Радіально-свердлильна</i>	<i>6 Внутрішшліфувальна</i>	

де ТР1 – типовий ТП виготовлення валу, ТР2 – типовий ТП на зубчасте колесо.

Типові рішення розрізняють також за своєю структурою. МТР1 – типове рішення з простою структурою (*одноелементне*). В цьому випадку кожне типове рішення є одиницею проектування, що *не підлягає зміні*, і може бути прийняте або не прийняте цілком.

Більш складну структуру мають типові рішення МТР2. Вони є *багатоелементними*. Тобто кожне з них складається з сукупності елементів, які в процесі проектування можуть розглядатися окремо. Елементи цих типових рішень (маршрутних ТП) – технологічні операції. У свою чергу, для кожної операції потрібно призначити верстат, провести нормування, тобто роздивитись окремо елементи цього типового рішення.

В залежності від складу типового рішення розрізняють процедури роботи з ними. Для одноелементних типових рішень організовується алгоритм їх вибору (див. рис.3). Прийняте таким чином рішення використовується безпосередньо. Для багатоелементних типових рішень також створюється алгоритм вибору, але його результатом є не конкретне рішення, а його структура, тобто добірка необхідних елементів. Для формування потрібного рішення необхідно мати ще один алгоритм аналізу типового рішення. Роздивимось цей алгоритм на прикладі повного багатоелементного типового рішення, яким є типовий ТП. Спочатку по алгоритму, аналогічному розглянутому в першому пункті лекції, виходячи з типу деталі, обирають відповідний типовий ТП (рис.4).

Типовий ТП, як об'єкт теорії автоматизованого технологічного проектування, це впорядкований (за послідовністю виконання) набір описів технологічних операцій, достатній для виготовлення групи деталей зі схожими конструктивними та технологічними ознаками.

Для формування з нього ТП виготовлення конкретної деталі необхідно організувати інший алгоритм, в результаті роботи якого залишаться лише ті операції, які потрібні для виготовлення цієї деталі. Такий метод проектування, заснований на повних багатоелементних типових рішеннях, називають *методом аналізу або адресації*.

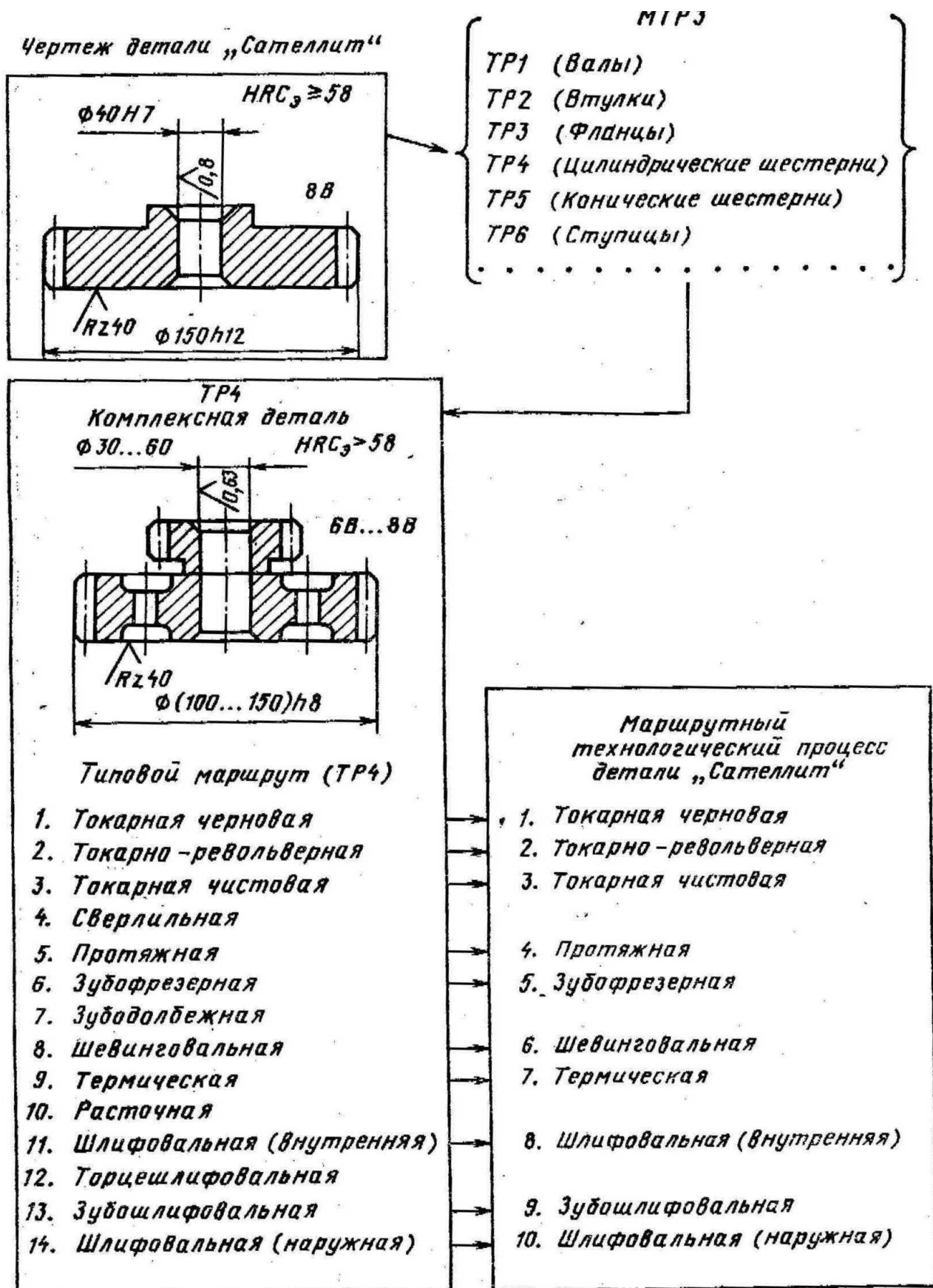


Рисунок 4 – Схема проектирования маршруту обработки на базі типового ТП

Альтернативним підходом є *метод синтезу*. Основу цього методу складають локальні типові рішення, рішення загальної задачі в цьому випадку формується (синтезується) з рішень часткових задач, що визначають елементи ТП (рис. 5). Локальні типові рішення можуть бути багатоелементними (множина планів обробки поверхонь - МТР2).

При використанні методу синтезу легше урахувати індивідуальні особливості деталі, тому що локальні типові рішення є більш універсальними. Технологічні процеси, що спроектовані автоматизованим способом за допомогою методу синтезу, можуть бути названі *одиничними*.

Останнім часом у автоматизованому проектуванні також використовуються компромісні змішані методи, які включають елементи як аналізу, так і синтезу.

Етапи автоматизованого проектування ТП

- 1 Визначення заготовки та технологічних баз
- 2 Визначення припусків на механообробку
- 3 Визначення міжопераційних розмірів
- 4 Визначення послідовності технологічних переходів
- 5 Визначення режимів різання
- 6 Технологічне нормування

Узагальнений алгоритм автоматизованого проектування індивідуальних операційних ТП наведено на рисунку 6.

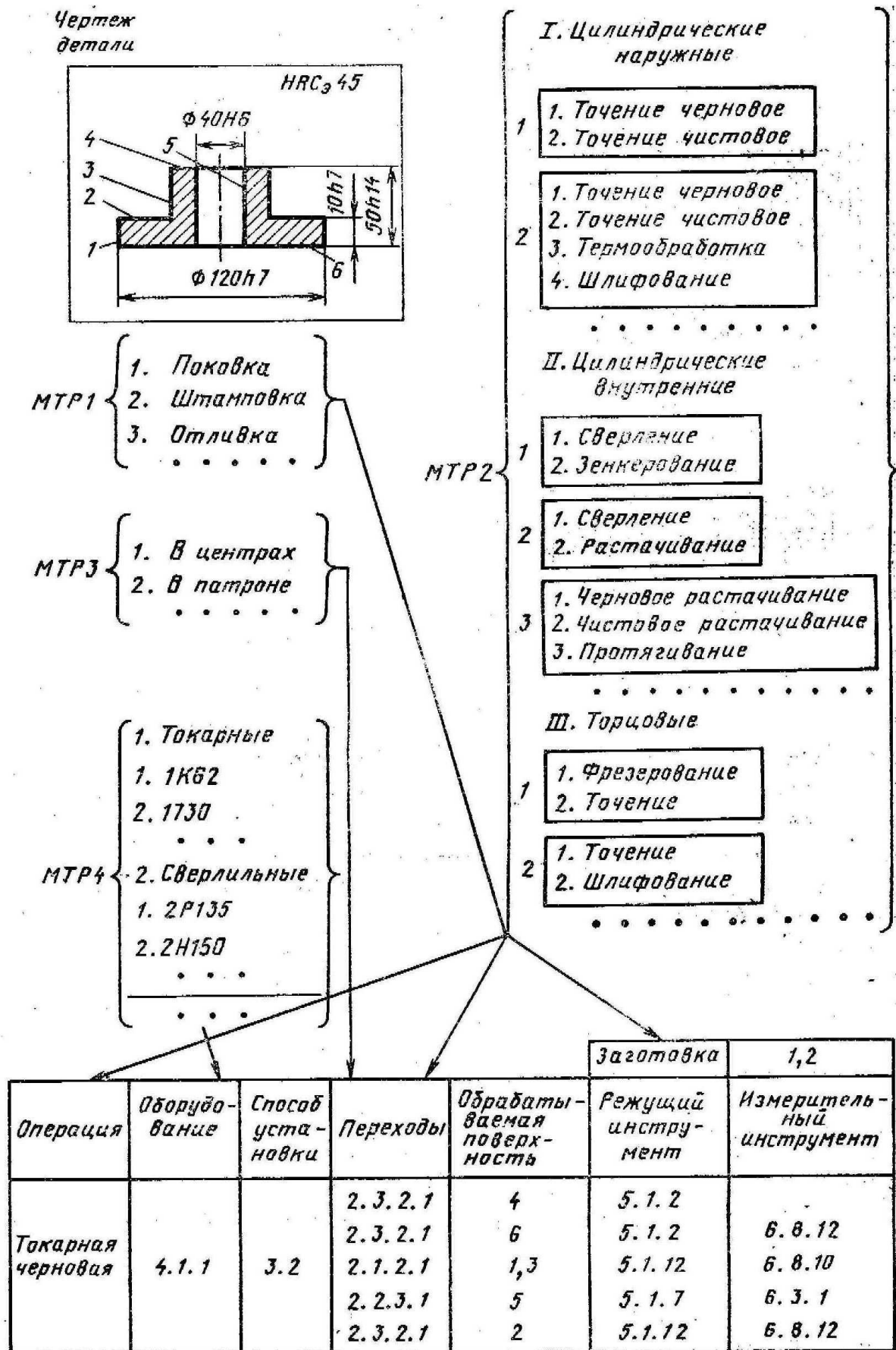


Рисунок 5 – Схема синтезу ТП з локальних типових рішень

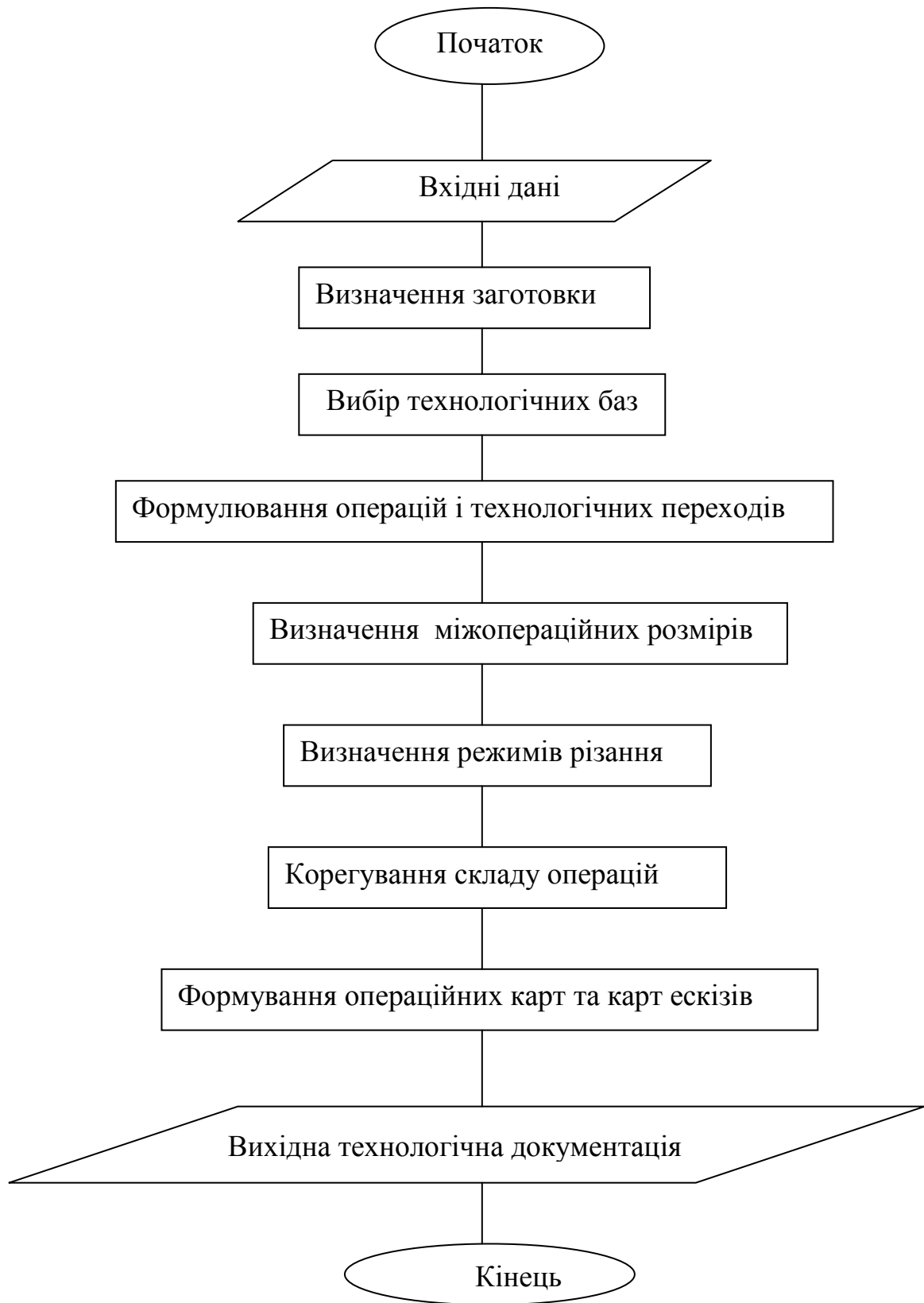


Рисунок 6 – Алгоритм автоматизованого проектування індивідуальних операційних ТП

2. Модуль 2. Автоматизоване проектування на базі типових та групових ТП

2.1 Лінгвістичне забезпечення САПР ТП

Методи формалізованого описання вхідної інформації

Однією з основних задач, рішення яких необхідне для здійснення автоматизованого проектування, є формалізація технічної інформації, як змінної, так і умовно-постійної, тобто представлення її за допомогою набору формул, правил, що дозволяє записати цю інформацію на мові вхідних пристроїв ЕОМ.

Якщо умовно-постійна інформація (довідково-нормативна, типові рішення, алгоритми вибору рішень) досить легко перетворюється до формалізованого вигляду (довідкові таблиці, таблиці рішень, таблиці відповідності), то для змінної інформації ця задача значно важча. Інформація про деталь має геометричне представлення, набір чисел, символів та текстовий опис. Система опису повинна усю цю різнохарактерну інформацію представити в єдиному літерно-цифровому (символьному) вигляді.

Можна виділити два принципових підходи до питання формалізації опису технологічної інформації:

- 1) розробка комплексу кодувальних відомостей;
- 2) використання спеціальних формалізованих мов.

При проектуванні на базі типових ТП спочатку треба знайти відповідний типовий ТП. Для цього можна замість креслення деталі використати конструкторсько-технологічну класифікацію, таким чином ми можемо записати інформацію про геометрію деталі, її конструктивні особливості – найбільш складну інформацію. Інформацію про розміри конструктивних елементів деталі, їхнє взаєморозташування та інші вимоги можна записати за допомогою спеціальних кодувальних таблиць, розроблених окремо для кожного типу деталей.

При синтезі технологічного процесу, коли задачі проектування вирішують на основі інформації про конкретну геометрію деталі та індивідуальні особливості, необхідний опис кожної поверхні деталі, усіх подробиць її форми. Тому в системі проектування одиничних ТП для опису вхідних даних використовують формалізовані проблемно-орієнтовані мови, які характеризуються більшою інваріантністю відносно виду деталі, тобто є більш універсальними.

Функції системи і технолога у САПР маршрутно-операційних ТП (на прикладі АРМ технолога-нормувальника ЗАТ НКМЗ)

Функції технолога:

- 1) аналіз деталей на технологічність;
- 2) складання маршруту обробки;
- 3) вибір обладнання;
- 4) розрахунки розмірних ланцюгів;
- 5) розробка операційних ескізів.

Функції системи:

- 1) проектування допоміжних та основних переходів;
- 2) визначення розподілу припусків між елементарними переходами в складному переході;
- 3) вибір різального та вимірювального інструменту;
- 4) визначення режимів обробки;
- 5) визначення норм часу основного та допоміжного;
- 6) визначення розряду роботи;
- 7) визначення тарифних сіток;
- 8) визначення видів норм виробки;
- 9) оформлення та друк технологічної документації.

2.2 Автоматизоване проектування маршрутних ТП на базі типової та групової технологій

2.2.1 Визначення і структура типових і групових технологічних процесів

Усі технологічні процеси можна розділити на одиничні, розроблені для окремих деталей, та уніфіковані, що містять узагальнений технологічний процес для цілої групи деталей. Уніфіковані, у свою чергу, підрозділяють на типові і групові (рис.11).

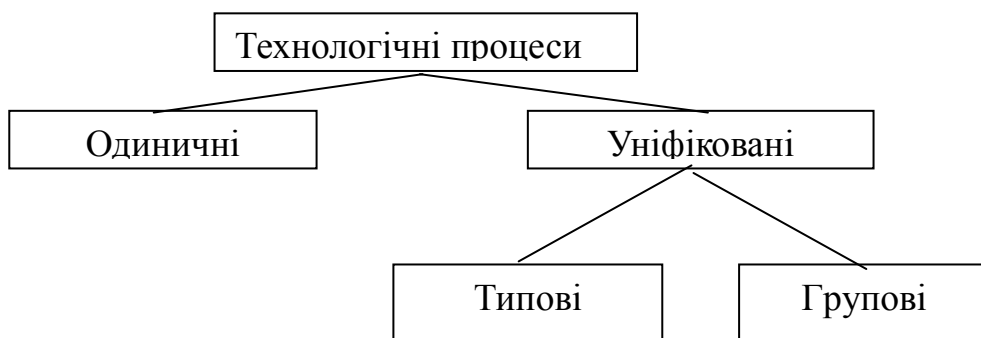


Рисунок 11 – Класифікація технологічних процесів механообробки

Як було сказано раніше, *типовий ТП* – це впорядкований (за послідовністю виконання) набір описів технологічних операцій, достатній для виготовлення групи деталей з подібною формою та схожими конструктивними і технологічними ознаками.

Типовий технологічний процес розробляється для деталі-представника, яка має спільні конструкторсько-технологічні ознаки з усіма деталями, що входять до даного типу. Типізація розпочинається з класифікації поверхонь і деталей. Головне завдання класифікації полягає в приведенні різноманітних поверхонь і деталей до обраного набору груп, типів, класів, підкласів. Чим більше ознак задіяно при класифікації, тим більше визначень має технологічний процес для обробки деталі з таким же шифром.

(Приклад типового ТП для обробки зубчастих колі дивись у п. 2.2.)

Під **груповою обробкою** розуміють форму організації виробництва для обробки груп деталей, не обов'язково подібних за формою. Основою групової обробки є об'єднання деталей в групи. При формуванні груп деталей враховують наступні ознаки:

- 1) спільність елементів;
- 2) спільність поверхонь, що оброблюються;
- 3) точність і шорсткість;
- 4) спільність заготовок;
- 5) серійність випуску.

При груповій обробці використовується одне і те ж обладнання, незмінна наладка. Основою розробки групового технологічного процесу є комплексна деталь, яка може існувати реально, а може бути сформована умовно (рис.12).

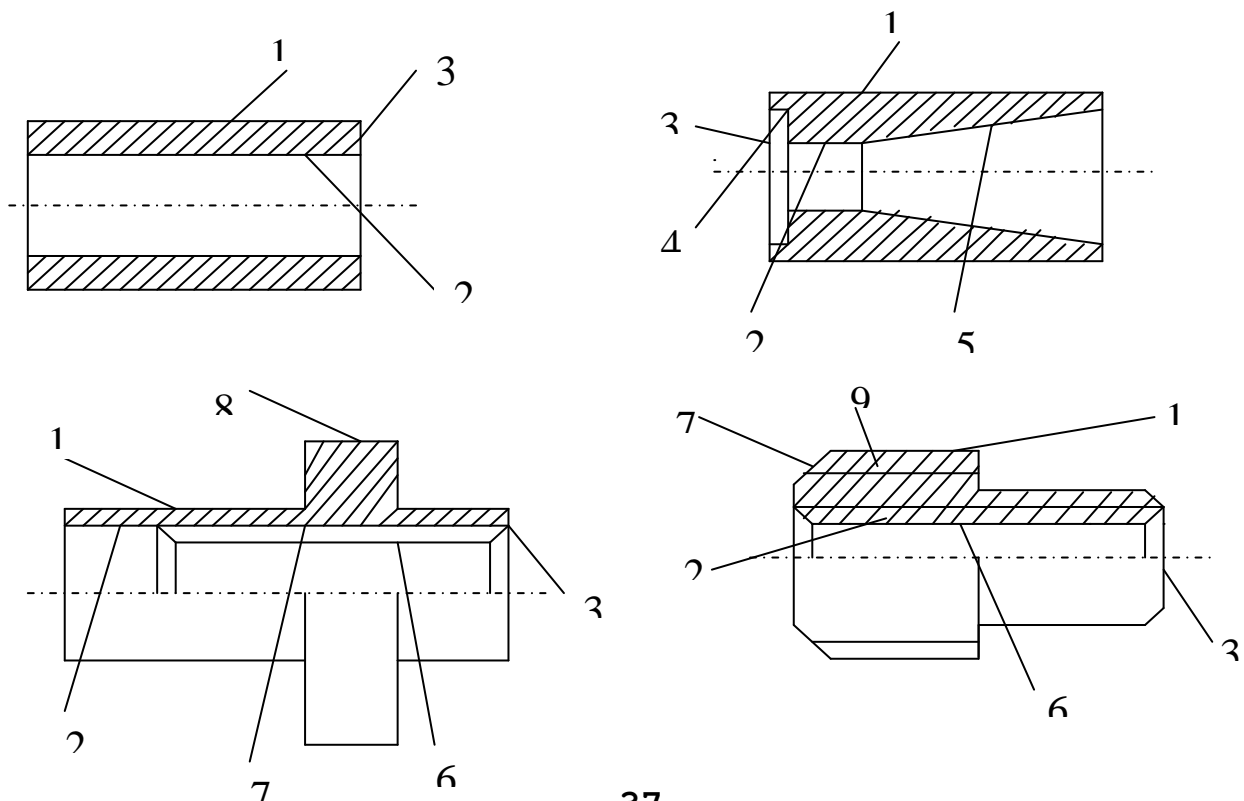


Рисунок 12 – Приклад формування комплексної деталі з окремих

При оформленні технологічної документації на типові та групові ТП розробляються таблиці міжопераційних розмірів; таблиці норм часу; технологічного обладнання.

2.2.2 Принципи об'єднання індивідуальних ТП в комплексний

Якщо ми маємо множину індивідуальних ТП $\{M_1; M_2; M_3; \dots M_n\}$, де $1, 2, 3, \dots i, \dots, n$ – номери індивідуальних маршрутів, які можна об'єднати в комплексний (узагальнений) ТП: $M_0 \supset M_i$.

1 Число об'єднаних маршрутів повинне прямувати до максимуму:

$$M_0 = \bigcup_{i=1}^n M_i, n \rightarrow \max.$$

2 В комплексний технологічний процес повинні включатись індивідуальні технологічні процеси, які перетинаються між собою: $M_i \cap M_j \neq \emptyset$ (є якась спільна частина між ними). Але комплексний технологічний процес буде включати не тільки область перетину, але і всю іншу частину індивідуальних технологічних процесів: $M_0 \supset (M_i \wedge M_j)$.

3 Якщо індивідуальні технологічні процеси не мають спільної частини, вони не можуть бути об'єднані у комплексний: $M_i \cap M_j = \emptyset$.

Важливою характеристикою (критерієм оптимальності) формування узагальненого маршруту є потужність перетину множин ($M_{пер}$) операцій індивідуальних маршрутів (кількість однакових операцій, що входять до цього перетину без урахування відносин порядку елементів (операцій) множини):

$$|M_{пер}| = \bigcap_{i=1}^n M_i, (i=1, 2, 3, \dots, n) \rightarrow \max.$$

Тоді потужність узагальненого маршруту повинна прямувати до мінімуму:

$$|M_y| = \bigcup_{i=1}^n M_i, (i=1, 2, 3, \dots, n) \rightarrow \min.$$

2.2.3 Алгоритм автоматизованого проектування маршрутного ТП на базі типового

Кожній операції вибраного маршруту відповідає логічна функція f_k , що залежить від конструктивно-технологічних параметрів деталі та розміру партії L_j .

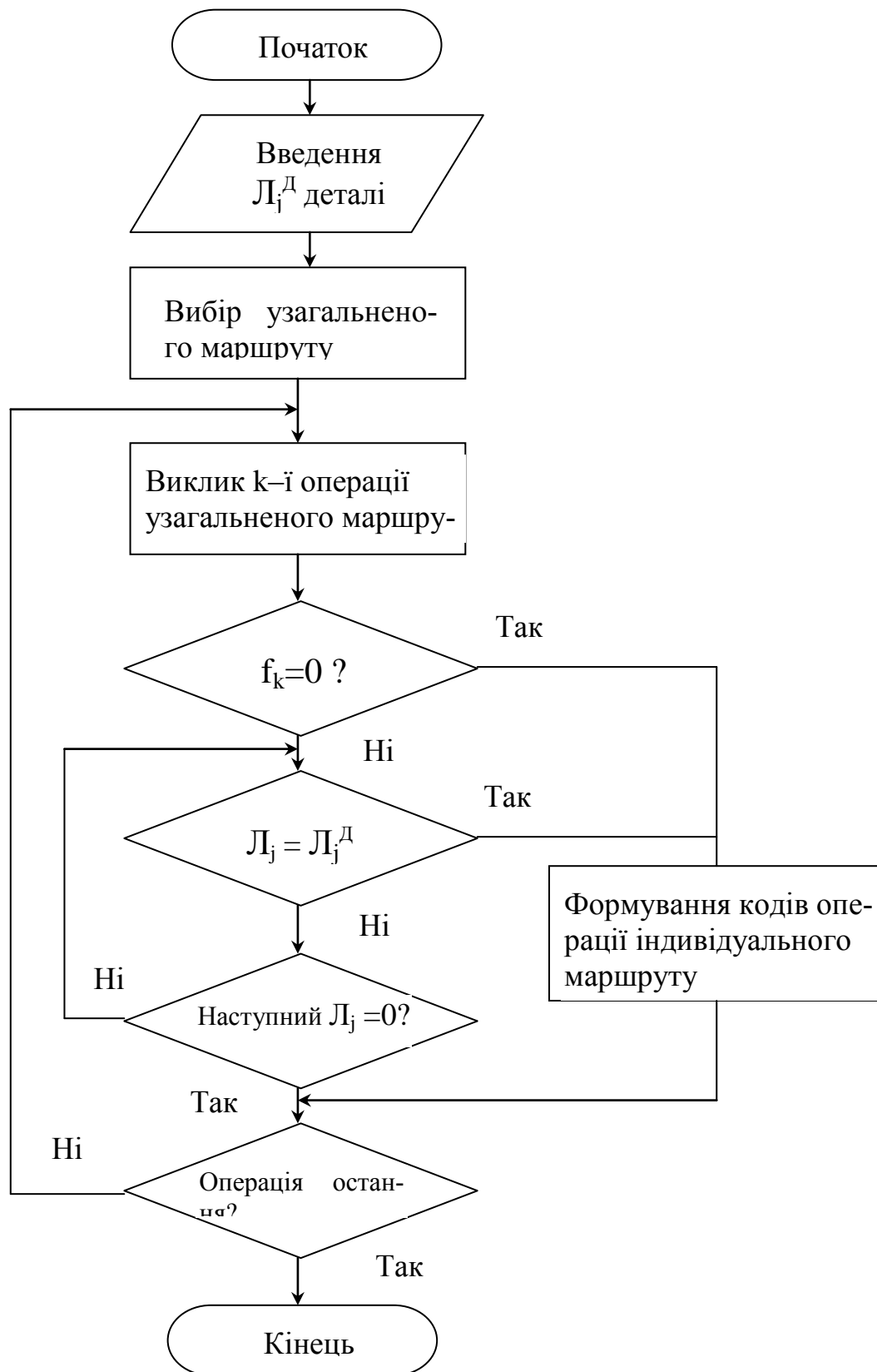


Рисунок 13 – Алгоритм проектування індивідуального маршрутного ТП на базі типового

Побудова індивідуальних технологічних маршрутів здійснюється шляхом їх виділення з комплексного (уніфікованого). Вхідними даними для такої побудови є умови L_j^D конкретної деталі.

Для деяких операцій, що є спільними для усіх деталей класу (групи), логічна функція відсутня, тобто $f_k=0$. Кожен набір умов L_j порівнюється з умовами конкретної деталі L_j^D . Для кожного коду операції C_k з функцією $f_k \neq 0$, що входить до індивідуального маршруту M_i , виконується вимога існування хоч однієї такої добірки умов L_j , що є підмножиною усіх наборів f для заданого коду:

$$\forall C_k \in M_i [\exists L_j (L \subseteq f_k)].$$

Тоді умовою входження k -ї операції узагальненого (типового) маршруту до індивідуального буде $L_j = L_j^D$. Алгоритм у вигляді блок схеми наведено на рис.13.

2.2.4 Розробка інформаційного забезпечення САПР ТП на базі типової та групової технологій

Побудова бази даних при проектуванні типових і групових технологічних процесів

При організації баз даних для проектування типової технології вся множина деталей машинобудівного виробництва може бути класифікована у відповідності з наступними вимогами:

1 Клас деталі

Класифікаційні ознаки – спільність геометричної форми і базування деталей.

2 Підклас

Класифікаційна ознака – функціональне призначення. Використовується для проведення уніфікації і стандартизації в умовах підприємства, для уточнення класу.

3 Група

Класифікаційна ознака – конструктивні елементи (шліци, шпонкові канавки, пази, отвори...).

4 Тип

Класифікаційна ознака – ідентичність типу конструкції.

5 Габаритні розміри

Класифікаційна ознака – розміри по найбільшому діаметру, діаметру шліців, модулю для зубчастих коліс та максимальні лінійні розміри.

6 Шорсткість і точність

Класифікаційна ознака – виконання з урахуванням технологічних можливостей методів обробки типових поверхонь.

7 Матеріал

Класифікаційні ознаки з урахуванням фізико-механічних властивостей та оброблюваності.

8 Вид хіміко-термічної обробки та покриття

Класифікаційні ознаки з урахуванням впливу хіміко-термічної обробки на послідовність технологічних операцій.

9 Вид заготовки

Класифікаційні ознаки з урахуванням способу отримання заготовки.

Формування інформаційної і математичної моделей операцій

З метою скорочення часу на розробку програми, необхідної для автоматизованого проектування маршрутного технологічного процесу, доцільно нормативно-довідкову інформацію представити у вигляді інформаційної моделі. Найбільш раціональною формою представлення інформаційної моделі технологічного маршруту обробки для розв'язання інформаційної задачі є таблиця рішень. У таблиці 7 наведено фрагмент інформаційної моделі визначення логічних умов виконання операцій, вибору устаткування, пристосувань, різального і вимірювального інструмента деталей типу «вал-шестерня циліндрична».

Таблиця 7 – Таблиця рішень - інформаційна модель

Перелік технологічних операцій, устаткування, пристосувань, різучих і вимірювальних інструментів	Перел. логіч. умов	Значення логічних умов									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
005 Відрізна (5)	S11						X				
015 Розмічальна (35)	S5	X									
	S6						X			X	X
	S11		X	X							
Розмічальна плита (4400)	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Комплект розміч. інструменту (300)	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

В основу побудови математичних моделей опису структури технологічних операцій покладені правила алгебри логіки. Якщо логічну умову, що визначає виконання дії, об'єднати диз'юнкцією з іншою логічною умовою (\vee – або), то для

виконання дії достатньо однієї з умов. Якщо логічні умови об'єднані кон'юнкцією ($\wedge - i$), то для виконання дії необхідне виконання всіх логічних умов.

В загальному вигляді математична модель, яка визначає структуру операцій, має наступний вигляд : $f_{\alpha} = \bigvee_{i=1}^{n_1} \left(\bigwedge_{j=1}^{n_2} S_{k_1}^{k_2} \right)$. Математична модель, яка описує структуру усього комплексного технологічного процесу, має вигляд:

$$Mo = \left\{ \bigvee_{\alpha=1}^{n_3} \left[\bigvee_{i=1}^{n_1} \left(\bigwedge_{j=1}^{n_2} S_{k_1}^{k_2} \right) \right] \right\},$$

де Mo - узагальнений маршрут;

f_{α} - ідентифікатор технологічної операції;

$i=1,2..n_1$ - номери логічних умов, об'єднаних диз'юнкцією, що визначають структуру технологічних операцій;

$j=1,2..n_2$ - номери логічних умов, об'єднаних кон'юнкцією, що визначають структуру технологічних операцій;

S - ідентифікатор параметру деталі;

k_1 - порядковий номер коду параметру деталі у відповідності з класифікаційним кодом деталі;

k_2 - чисельні значення коду параметра деталі у відповідності з класифікаційним кодом;

$\alpha=1,2..n_3$ - номери операцій, які можуть бути включені в комплексний маршрутний технологічний процес.

Деталь – тіло обертання $L \geq 2D$: $S_1 = 2$, $S_2 = 0$, ...

Умови вибору фрезерно-центрувальної операції:

$$F_{фр.ц} = S_1^2 \wedge S_5^0 \wedge S_6^1 \left(\bigvee (S_5^0 \wedge S_6^2) \vee (S_5^0 \wedge S_6^3) \dots \right).$$

2.2.5 САПР групових маршрутних ТП

Аналіз використовуваних САПР ТП

Проведемо аналіз ряду використовуваних САПР ТП. Порівняльну таблицю приведено в додатку А. У ній наведено основні якісні характеристики таких розробок:

- САПР ТП НВО «Литстанкопроект», м. Вільнюс, варіант для КСПО;

- САПР ТП деталей з елементами зубчастих зачеплень, НВО «НИИПТ-Маш», м. Краматорськ;

- АРМ технолога-нормувальника ЗАТ НКМЗ, на базі MCOT, м. Луганськ;

Перша з перерахованих вище систем є достатньо повно підготовленою до промислового використання. Вона надає користувачеві досить значні сервісні засоби, що дозволяють ефективно працювати, маючи мінімальні знання про ПЕОМ. Важливою перевагою цієї системи є інваріантність основного програмного забезпечення стосовно об'єкта проектування, що в принципі дозволяє використовувати САПР НВО «Литстанкопроект» при проектуванні техпроцесів, що не відносяться до механообробки. Нормування і визначення режимів різання здійснюються у версії системи, що використовується на СКМЗ.

Недоліком цієї системи є використання складних креслень комплексних деталей, що декілька ускладнює зв'язок із конструкторським САПР при його можливому використанні.

САПР ТП виробництва НВО «НИИПТМаш» використовує групову технологію обробки зубчастих коліс. Система підтримує зручний інтерфейс із користувачем. Основним недоліком є відсутність можливості коригування користувачем бази даних спеціальними засобами.

АРМ технолога-нормувальника достатньо широко використовується в даний час на ЗАО НКМЗ. Система вимагає від користувача-технолога самостійної розробки маршруту обробки, а також складу операцій. Виконується автоматичне формування елементарних переходів на основі локальних типових рішень. Позитивним моментом можна вважати можливість автоматичного вибору режимів різання і нормування. Інтерфейс системи – на рівні початку 90-х років, хоча в загальному може вважатися задовільним.

Недоліком є слабкий захист від внутрішніх помилок, що призводить до періодичних збоїв системи.

Існують спеціальні засоби ведення і коригування бази даних технологами-проектувальниками, хоча вони є достатньо складними в освоєнні.

Система підтримує проблемно-орієнтовану мову опису технології для запису локальних типових технологічних рішень.

У сучасних умовах застосування подібної системи доцільне лише в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Кожна зі згаданих систем реалізує певний підхід до принципів розробки й експлуатації САПР, що демонструє різноманіття творчих рішень даної задачі.

У даний час однією з галузей інформаційних технологій, що найбільш динамічно розвиваються, є так звані CASE-технології (Computer Aided System Engineering).

Під CASE-технологією розуміється сукупність засобів автоматизації розробки інформаційної системи (ІС), що включає в себе методологію аналізу предметної області, проектування, програмування й експлуатації ІС.

Одним із прикладів CASE-технології може служити “СПРУТ-технологія” розроблена в МДТУ ім. Баумана. Операційне середовище СПРУТ надає спеціалізований інструментарій, що дозволяє створювати високорівневі програмні продукти безпосередньо спеціалістами-прикладниками без відволікання їх від основної роботи на довгий час.

Загальна структура САПР групових маршрутних ТП

Функціональними складовими САПР є проектуючі і обслуговуючі підсистеми, що мають усі властивості системи і будуються як самостійні частини. Це є результатом застосування блочно-ієрархічного підходу до проектування.

До складу запропонованої САПР групових технологічних процесів входять чотири основні підсистеми (плакат):

- 1) підсистема кодування;
- 2) підсистема групування деталей;
- 3) підсистема роботи з базою даних;
- 4) підсистема формування ТП.

Дві останні також містять у собі ряд підсистем.

Підсистема *кодування* призначена для швидкого одержання конструкторсько-технологічного коду деталі в інтерактивному режимі. Можливе формування бібліотеки графічних зображень.

Підсистема *групування* деталей формує деталі в групи по конструкторсько-технологічному коду, що є вихідними даними для одержання групового ТП.

Деталі, що мають однаковий (або збіжний по заданих символах) конструкторсько-технологічний код, формуються в групи, для яких достатньо одержання групової технології. Це значно скорочує час підготовки виробництва. Ведеться підрахунок числа згрупованих деталей на виріб (замовлення) і на плановий період.

Групування деталей по конструктивно-технологічній подібності також дозволяє підвищити технологічність конструкції деталей, встановити однакові вимоги на вибір матеріалу, види термообробки, вимоги по шорсткості і точності ос-

новних поверхонь деталей. Групова технологія забезпечує уніфікацію і стандартизацію індивідуальних ТП.

Підсистема *роботи з базою даних* забезпечує доступ до довідників найменування і змісту операцій, устаткування, пристосувань, різального і вимірювального інструмента. Крім того, існує можливість ведення роботи з бібліотекою типових ТП.

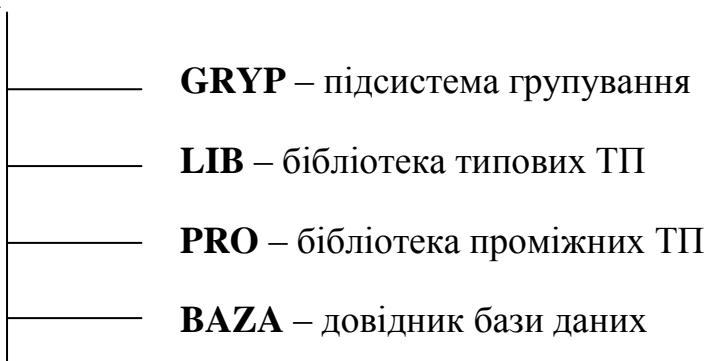
Підсистема *формування ТП* виконує три функції:

- 1) одержання ТП у формалізованому виді;
- 2) одержання проміжної технології;
- 3) одержання вихідних документів.

Дана САПР ТП призначена для використання в середовищі DOS, що дозволяє задіяти вже наявну обчислювальну техніку. Для роботи системи достатньо 640 кб ОЗУ і 1 Мб на жорсткому диску. Система може бути встановлена на будь-який локальний диск в кореневий каталог. Тут створюється каталог SAPRGR, в якому розміщено всі підсистеми, що зв'язані в єдине ціле за допомогою командного файлу SAPRNEW.BAT. Структура розміщення системи на диску приведена на рисунку 14.

X :\ SAPRNEW.BAT

X:\ SAPRGR



Ядро системи

Рисунок 14 – Структура розміщення системи

2.3 Структура мови символьного опису технології

Вхідною мовою опису інформації є мова символьного опису технології (MCOT). MCOT складається з ідентифікаторів і фрагментів, а також записів.

Ідентифікатор – це умовне позначення параметру або признаку:

- L - довжина;
- D - діаметр;
- HD - найменування деталі;
- Ш - шорсткість.

Фрагмент складається з ідентифікаторів, знаків присвоєння і їх значень:

- L=200,
- D=100,
- HD=ВАЛ.

Запис – це добірка фрагментів, які відокремлюються один від іншого комою і закінчуються крапкою з комою (;). Кожний запис починається з першої позиції, перенос дозволяється на будь-якому фрагменті, максимальна довжина запису 240 символів.

Вся вихідна інформація про деталь поділяється на 4 частини:

- 1) загальна інформація про деталь;
- 2) інформація про матеріал;
- 3) інформація про операцію;
- 4) інформація про поверхню або перехід.

Для опису інформації використовуються такі параметри.

1 Загальна інформація про деталь.

- ОЧ - позначення креслення (обов'язковий параметр);
- HD - найменування деталі;
- КД - кількість деталей;
- ЗК - замовлення;
- ФИО - прізвище, ім'я та по батькові;
- ШОП = -998 – шифр операції (таке значення тільки на початку).

2 Інформація про матеріал.

- КМ - код матеріалу (обов'язковий параметр);
- ТКД - технологічний код деталі;
- MZ - маса заготовки;
- MZT - маса заготовки в тонах;

DZ - діаметр або ширина заготовки;
HZ - висота заготовки;
LZ - довжина заготовки;
LZM - довжина заготовки в метрах;
HB - твердість по Брінеллю.

3 Інформація про операцію.

ШОП - шифр операції (обов'язковий параметр);
СТ - код верстату;
НЦ - номер цеху;
ТС - тарифна сітка;
ТПЗ – підготовчо-заключний час;
ТШТ - штучний час.

Якщо в процесі розробки не потрібна деталізація до рівня маршрутно-операційної, то у фрагменті, де вказується шифр операції, перед її номером ставиться мінус. В цьому випадку система не буде деталізувати до рівня переходів.

4 Інформація про поверхні та переходи.

Переходи поділяються на основні та допоміжні.

Основні (машинні) поділяються на складні та елементарні.

Кожний запис має такий вигляд:

* *, фрагмент [коментарі] /значення параметрів.

Точити зовнішню поверхню діаметром 75мм і шорсткістю 6.3мкм.

**,Т_ПЦ [перевірити] /D=75, RA=6.3;

Ідентифікатори *допоміжних переходів*:

**,УС_ДТ - встановити деталь;
**,П_ДТ - переустановити деталь;
**,ПКР_ДТ - перезакріпити деталь;
**,ПРМ_ДТ - перемістити деталь;
**,КТВ_ДТ - кантувати деталь;
**,СВМ_ОТВ - сумістити вісь шпинделя з віссю отвору;
**,КНТ_МР- контролювати міжцентрові відстані;
**,УС_ПР - встановити пристосування;
**,П_ПР - переустановити пристосування;
**,СН_ПР - зняти оснащення.

Ідентифікатори *основних видів робіт*, які виконуються на металорізальному обладнанні:

Т – точити на токарному верстаті;
К – точити на карусельному верстаті;
Р – розточити отвір на розточному верстаті;
С – свердли́ти (зенкерувати, розвернути) на свердлильному верстаті;
Ф – фрезерувати;
Ш – шліфувати;
ПР – стругати на поздовжньо-стругальному верстаті;
ПП – стругати на поперечно-стругальному верстаті;
П – протягнути;
Д – довбати.

Умовні позначення *основних поверхонь*:

ПЦ – поверхня циліндрична (обробка на прохід).
ПЦС – поверхня циліндрична ступінчата;
ПК – поверхня конічна;
СФ – сфера;
ПСФ – напівсфера;
ВТН – виточка зовнішня;
ОС – отвір крізний;
СТВ – ступінь внутрішня;
ВТВ – виточка внутрішня;
ОК – отвір конічний;
ОГ – отвір глухий;
СФВ – сфера внутрішня;
СФТ – сфера торцева.

Умовні позначення параметрів *основних переходів*:

D – зовнішній діаметр після обробки або менший діаметр конуса;
D1 – діаметр заготовки до обробки (на попередньому переході);
D2 – більший діаметр конуса або сфери;
L – довжина обробки;
В – ширина обробки;
Н – висота обробки;
П – припуск на обробку;
RA – шорсткість;
КТ – квалітет точності;
КТД – квалітет точності для канавок;
К – конусність;

ПР – ознака повторюваності переходу;

СР – нарізати різьбу зовнішню на прохід на токарних, карусельних або розточних верстатах;

СР1 – нарізати різьбу зовнішню в упор (з канавкою під вихід різця);

ОР – нарізати різьбу в отворі на прохід на токарному, карусельному і розточних верстатах;

ОР1 – нарізати різьбу в отворі в упор на токарному, карусельному та розточному верстатах;

СОР – нарізати різьбу в отворі на прохід на свердлильному верстаті;

СОР1 – нарізати різьбу в отворі в упор на свердлильному верстаті.

2.3.1 Підготовка вхідної інформації для автоматизованого проектування операційної технології

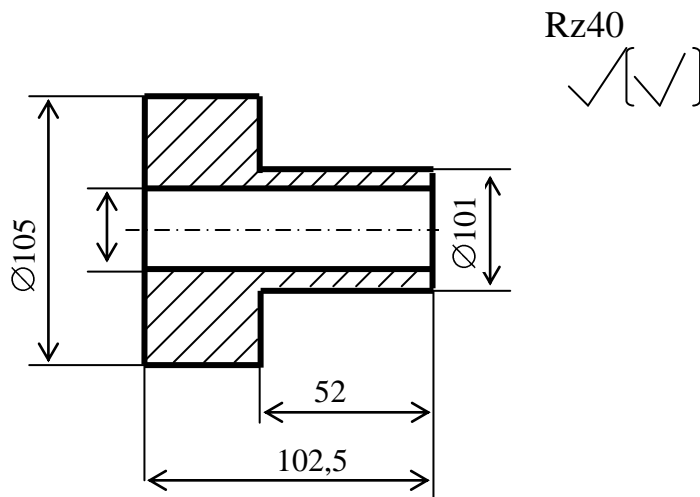


Рисунок 7 – Ескіз деталі “втулка”

Сталь 45 Маса 2.5кг Штамповка

ОЧ=КР005, НД=ВТУЛКА, ФИО=ІвановАА;
ШОП=-998, КМ=145, МZ=3, MD=2.5, DZ=105;
LZ=105, KZ=123, НВ=200;

#

НОП=005,ШОП=414,СТ=1402;

**,УС_ДТ /СУ=300;

**,Т_ПТ/Д=105,П=2.5,RA=6.3,КТ=14,L=102.5;

**,Т_ПЦ/Д=101,Д1=105,L=52,RA=6.3,КТ=14;

#

2.4 Формалізована модель геометричної структури деталей

2.4.1 Побудова формалізованої моделі опису геометричної структури деталі

В умовах автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей необхідно у формалізованому вигляді описати геометричну структуру деталі.

Геометрична структура деталі – це взаємозв'язок окремих поверхонь деталі та її розмірів, які визначають їх взаємне розташування. Головна особливість конструктивних елементів – кожен з них має постійну, незалежну від конкретної деталі номенклатуру кількісних і якісних характеристик.

Задачі, які вирішуються за допомогою геометричної структури деталі:

- 1) визначення методів досягнення необхідної точності та якості поверхонь, що обробляються;
- 2) вибір технологічних та вимірювальних баз;
- 3) визначення послідовності обробки деталі (циліндрична, бокові отвори, шпонковий паз і т.п.);
- 4) визначення міжопераційних розмірів, припусків на обробку та допусків;
- 5) визначення послідовності складання вузла та виробу.

Геометрична структура деталі може бути представлена у вигляді графу вершини якого визначають елементарні поверхні, а ребра – взаємозв'язки між цими поверхнями.

Формалізована модель геометричної структури – це граф (рис.8):

$$G:=\{ A_i; U_{i-1} \}$$

де A_i – елементарна поверхня деталі;

U_{i-1} – зв'язки між елементарними поверхнями деталі.

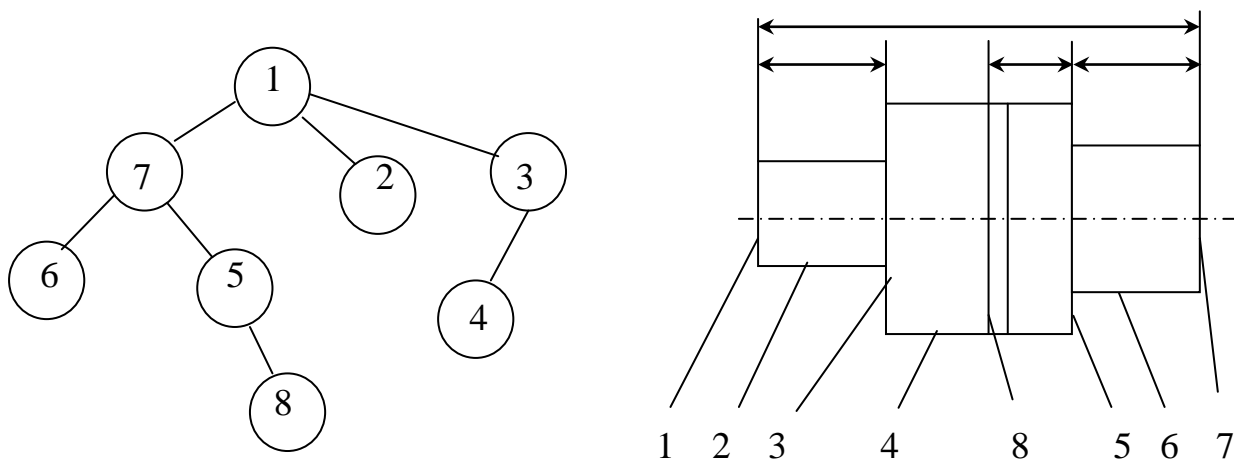


Рисунок 8 – Представлення геометричної структури деталі у вигляді графу

2.4.2 Послідовність побудови геометричної структури деталі

- 1 Накреслити деталь і пронумерувати елементарні поверхні.
- 2 Визначити коди елементарних поверхонь у відповідності з використанням класифікаторів поверхонь (наведемо приклад подібного класифікатору) (табл.3).

Таблица 3 – Коды элементарних поверхонь

Циліндрична поверхня	210
Торцева поверхня	211
Канавка	401
Різьба	800
Шліц	701
Зубчасте зачеплення	901

- 3 Визначити реквізити та скласти таблицю реквізитів,
де НЕ – номер елемента; КЕ – код елемента;
КБ – код бази; Х – лінійний розмір;
ВВ, НВ – верхнє і нижнє відхилення відповідно:

HE	KE	KB	X	BB	HB

- 4 Побудувати формалізовану модель (граф) геометричної структури деталі.

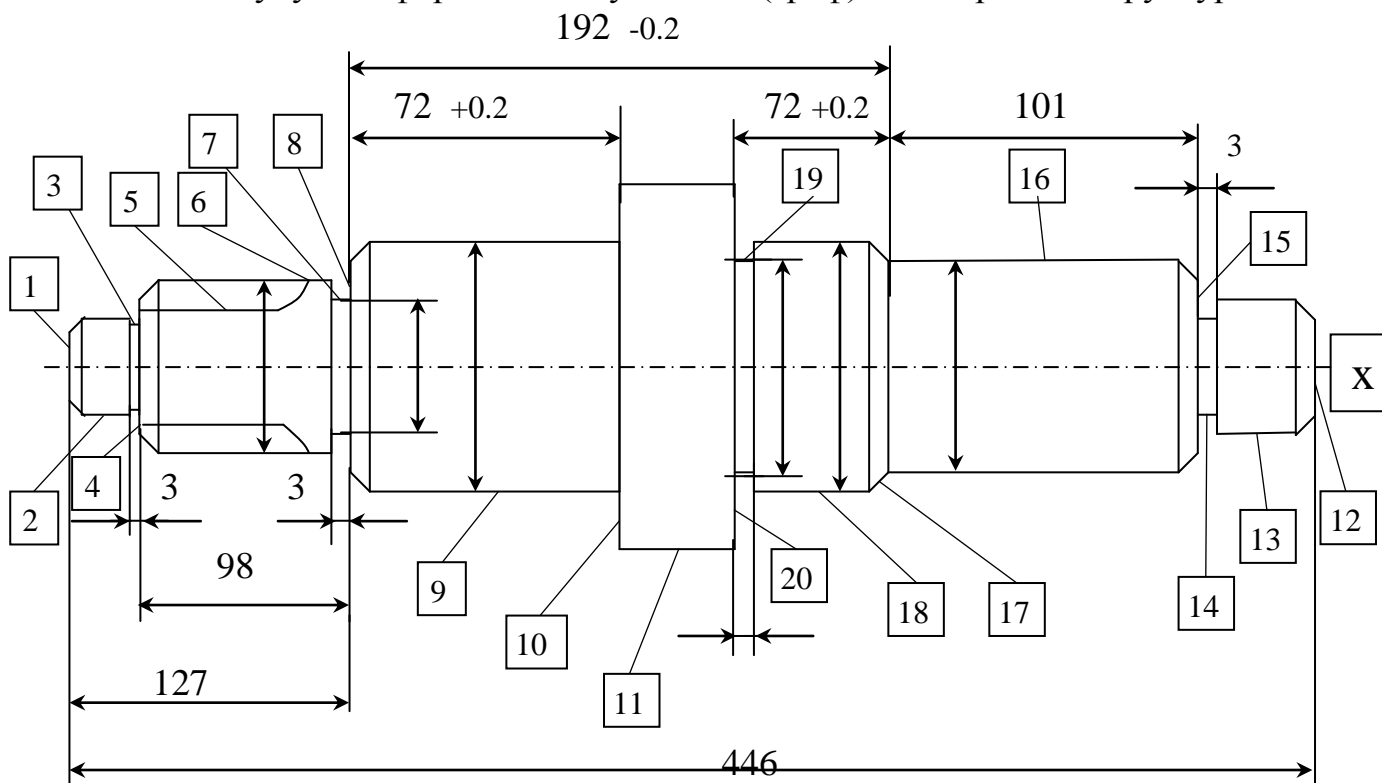


Рисунок 9 – Ескіз деталі “Вал шліцьовий”

5 Побудувати матрицю суміжності розмірних зв'язків.

6 Визначити зв'язки і установити можливість суміщення конструкторської та технологічної баз.

При побудові формалізованої моделі деталі типу тіло обертання враховують в основному лінійні розміри, тому що конструктивна база вісь обертання.

Наведемо приклад побудови формалізованої моделі геометричної структури деталі “Вал шліцьовий” (рис.9).

Таблиця 4 – Кодувальна відомість елементарних поверхонь “Вал шліцьовий”

HE	KE	KB	X	BB	HB
1	211	0			
2	210	1			
3	401	4			
4	212	8	98		
5	701	8	30		
6	210	8			
7	401	8			
8	212	1	-127		
9	210	8			
10	212	8	-72	0.1	0
11	210	10			
12	211	1	-446		
13	210	15			
14	401	15			
15	212	17	-101		
16	210	17			
17	212	8	-192	0	-0.2
18	210	20			
19	401	20			
20	212	17	72	0.1	0

2.4.3 Побудова формалізованої моделі геометричної структури деталі

Послідовність побудови графу:

- 1) вибрати поверхню, яка буде первинною базою; відмітити її на рисунку ;
- 2) вибрати поверхні, які пов'язані з цією базою;

3) вибрати поверхні, для яких попередні являються базовими і повторяти пункт 3, поки не буде вичерпано всі поверхні.

Примітка. Граф не повинен мати цикли.
Приклад наведений на рисунку 10.

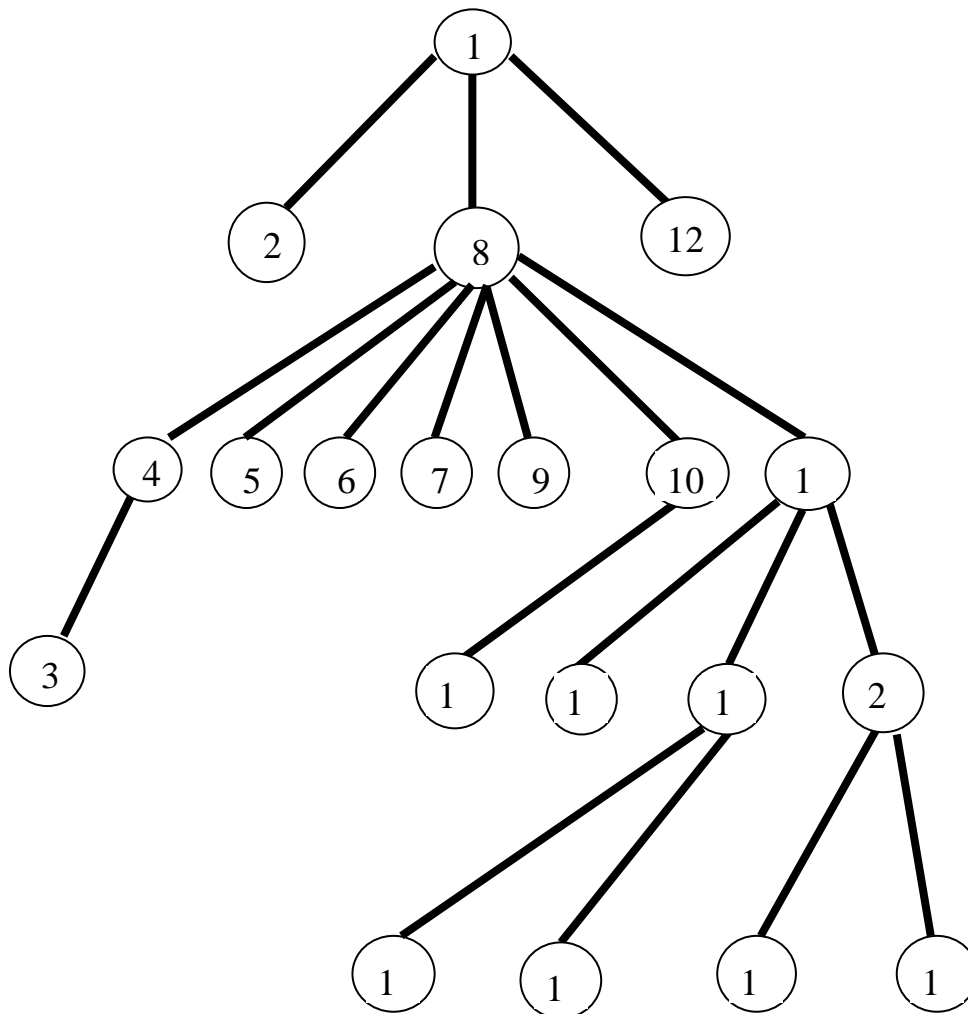


Рисунок 10 – Граф деталі “Вал шліцьовий”

2.4.4 Побудова матриці суміжності графу розмірних зв’язків

На основі формалізованої моделі геометричної структури деталі будується матриця суміжності, при цьому по горизонталі розміщені зв’язки між поверхнями, а по вертикалі – номери елементарних поверхонь. Приклад матриці суміжності для описаної вище деталі “Вал шліцьовий” наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 – Матриця суміжності графа деталі “Вал шліцьовий”

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		1						1				1								
2																				
3																				
4			1																	
5																				
6																				
7																				
8				1	1	1	1		1	1							1			
9																				
10											1									
11																				
12																				
13																				
14																				
15													1	1						
16																				
17															1	1				1
18																				
19																				
20																		1	1	

2.4.5 Принципи побудови таблиць відповідності для автоматизованого вибору плану обробки поверхонь

До інформаційного забезпечення САПР операційних ТП входять набори планів обробки типових елементарних поверхонь, а також логічні умови їх вибору. Для визначення цих логічних умов доцільно використовувати таблицю відповідей.

Таблиця 6 – Таблиця відповідності автоматизованого вибору плану обробки поверхонь

Найменування поверхні	Код плану обробки	Код методу обробки	Метод обробки	Логічні умови										
				Геометр. форма		Точність					Шорсткість			
				Зовн.	Внутр.	14	12	10	8	6	6.3	2.5	0.4	Rz40

3. Модуль 3. САПР технологічного оснащення

3.1 Автоматизоване проектування ТП обробки деталей на верста- тах-автоматах

Етапи автоматизованого проектування

За ступенем формалізації процес проектування обробки деталей на верста-
тах-автоматах можна підрозділити на два етапи.

1 Встановити послідовність технологічних переходів та принципи їх кон-
центрації.

2 Визначити режими різання, норми часу та розрахувати параметри орга-
нів керування верстатом.

2-й етап технологічного проектування є досить формальним процесом, тоб-
то параметри режимів різання, кулачків, норми часу є функціями відомих аргумен-
тів. Ці функції відбиваються через математичні описи.

1-й етап є більш творчим. Для автоматизації цього етапу необхідно розро-
бити математичні та формалізовані моделі на основі логіки.

При проектуванні технологічних операцій для верстатів-автоматів вирішу-
ються такі *задачі*:

- визначити торець або сторону початку обробки;
- провести вибір технологічних устаткувань та обладнання;
- сформувати операційний ескіз обробки;
- визначити припуски;
- визначити розміри заготовки;
- розробити варіанти інструментальної наладки і вибрати найбільш раціона-
льні;
- провести розрахунки режимів різання, кулачків, норм часу;
- спроектувати (при необхідності) груповий технологічний процес і т. ін.

Послідовність проектування інструментальних наладок для верстатів-автоматів

Високу продуктивність верстатів-автоматів отримують за рахунок викорис-
тання багаторізцевих державок, що закріплені в револьверній головці чи у попе-
речних супортах, або суміщення у часі роботи окремих супортів та револьверної
головки.

Для проектування наладки потрібно підготувати таку *вхідну інформацію*:

- визначити види внутрішніх та зовнішніх поверхонь деталі;

- визначити номер лівого торцю та довжину деталі;
- визначити код матеріалу деталі;
- визначити точність та шорсткість кожної елементарної поверхні;
- визначити розміри від торцю-початку обробки до кожної елементарної поверхні;
- за допомогою коду визначити розташування внутрішніх та зовнішніх різьб, пазів, накатки, торцевих канавок, лисок та інших конструктивних елементів.

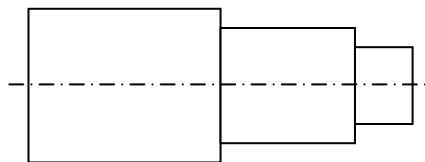
Вибір сторони початку обробки чинить значний вплив на весь технологічний процес. Помилковий вибір приводить до наступного:

- не всі поверхні деталі можуть бути оброблені в операції;
- ТП може мати велику технологічну собівартість (збільшення витрат машинного часу, додаткове використання спеціального інструменту).

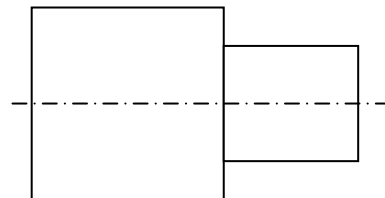
3.1.1 Класифікація зовнішніх та внутрішніх поверхонь

Для вибору сторони початку обробки застосовують класифікатор зовнішніх та внутрішніх поверхонь. По виду зовнішніх поверхонь деталі класифікуються на чотири види (рис.15), а по внутрішнім – на вісім видів (рис.16).

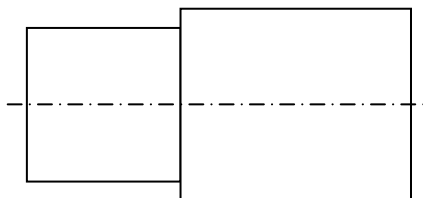
1 - двоступінчаста поверхня



2 - одноступінчаста права поверхня



3 - одноступінчаста ліва



4 - безступінчаста

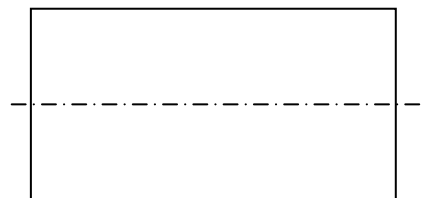
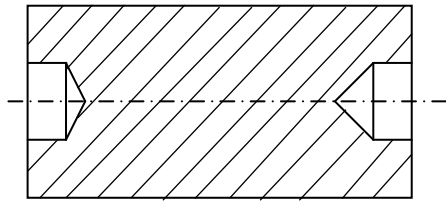
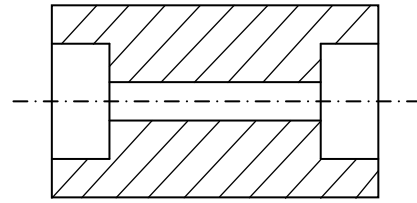


Рисунок 15 – Класифікація по зовнішнім поверхням

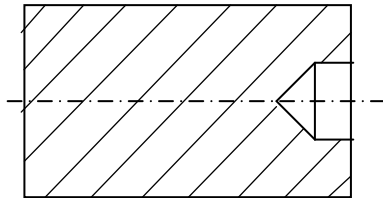
1 - двостороння глуха



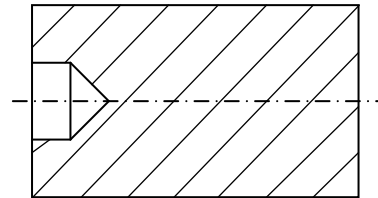
2 - двостороння наскрізна



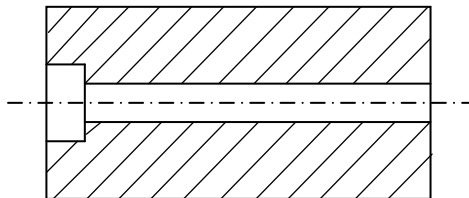
3 - одностороння права глуха



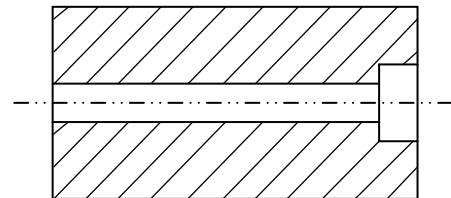
4 - одностороння ліва глуха



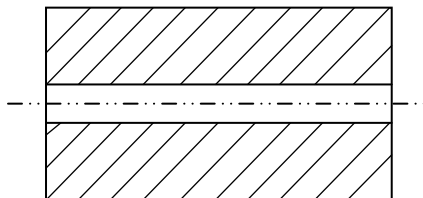
5 - одностороння наскрізна ліва



6 - одностороння наскрізна права



7 - наскрізна безступінчаста



8 - суцільна деталь

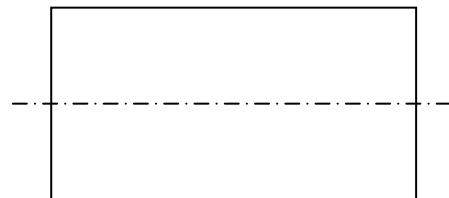


Рисунок 16 – Класифікація по внутрішнім поверхням

При виборі сторони початку обробки деталі підрозділяють на чотири групи в залежності від виду зовнішніх та внутрішніх поверхонь:

- 1 – з безступінчастою зовнішньою та внутрішньою поверхнями;
- 2 – з безступінчастою зовнішньою та будь-якими внутрішніми поверхнями;
- 3 – з одноступінчастою зовнішньою та будь-якою внутрішньою поверхнею;
- 4 – з двоступінчастою зовнішньою та будь-якими внутрішніми поверхнями.

При виборі треба враховувати наступні критерії:

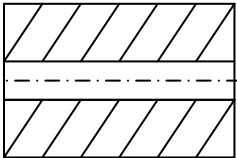
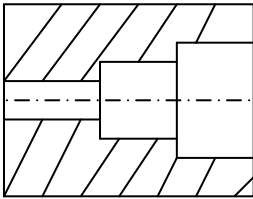
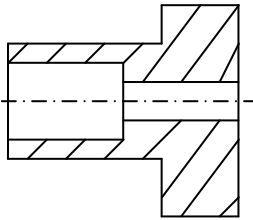
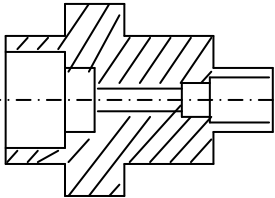
- 1) можливість обробки найбільшої кількості поверхонь з одного установу;

- 2) обов'язкова обробка спеціальних поверхонь та поверхонь, які пов'язані жорсткими допусками на взаємне розташування;
- 3) мінімальна технологічна собівартість обробки.

3.1.2 Розробка таблиць відповідності для автоматизованого вибору сторони початку обробки

Процедура вибору сторони початку обробки може бути автоматизована з використанням відповідних таблиць (табл.8).

Таблиця 8 – Таблиця відповідності для автоматизованого вибору сторони початку обробки для основних видів деталей

Група деталей	Сторона обробки	Види зовнішніх поверхонь				Види внутрішніх поверхонь							
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
1 	СО – ЛТ сторона обробки – лівий торець				X							X	
	СО – ПТ сторона обробки – правий торець				X							X	
2 	СО – ЛТ				X								
	СО – ПТ				X						X		
3 	СО – ЛТ			X						X			
	СО – ПТ												
4 	СО – ЛТ	X					X						
	СО – ПТ	X					X						

При розробці таблиці відповідності необхідно враховувати вимоги по шорсткості, точності та видам поверхонь. Для четвертої групи деталей (найбільш складної) може передбачатися прийняття остаточних рішень технологом. В цьому випадку призначаються два варіанти технологічного процесу.

3.1.3 Формалізація процесу автоматизованого вибору обладнання

Завдання вибору моделі автомата може бути сформульовано так: є деталь з її повною геометричною та технологічною характеристикою у закодованому вигляді. Необхідно з парку обладнання вибрати окрему модель верстата. Технологічна методика припускає вибір верстата, що забезпечує у процесі обробки деталі її геометричні, якісні і розмірні характеристики. Завдання ускладнюється тим, що автомати конкретного підприємства мають різні технологічні можливості.

Автоматизований вибір обладнання виконується в два етапи на основі таблиць відповідностей.

1-й етап передбачає вибір обладнання з урахуванням габаритних розмірів деталі (діаметр і довжина). $M1$ – множина верстатів-автоматів, що складається з N найменувань верстатів, які вдовольняють вимогам по довжині і діаметру деталі:

$$M1 = \{A, B, C, D, \dots, N\}.$$

2-й етап передбачає вибір обладнання з урахуванням технологічних можливостей верстата:

- 1) максимальний діаметр нарізання різьби;
- 2) максимальна довжина різьби;
- 3) шорсткість та точність обробки;
- 4) можливість обробки конусних поверхонь значної довжини;
- 5) наявність пристосувань для обробки отворів (не враховуючи осі), обробку лисок, фрезерування різьби.

$M2$ – множина верстатів-автоматів, що в змозі забезпечити технічні вимоги креслення:

$$M2 = \{D, N, K, \dots, G\}.$$

Потрібна модель автомата повинна знаходитись одночасно у обох множинах. Результат логічного множення $M1$ та $M2$ є множина $M3$:

$$M3 = M1 \wedge M2 = \{D, N\}.$$

При виборі технологічного обладнання можливі наступні варіанти рішення задачі:

$M1 = \emptyset$ - неправильно проведено розподіл операцій по цехам (модель верстата не визначено);

$M2 = \emptyset$ - відсутнє обладнання, що дозволяє повністю обробити поверхні заданої деталі. Призначається перший верстат з множини $M1$ – обробка деталі виконується на обладнанні з урахуванням розмірної характеристики обладнання;

$M3 = \emptyset$ - вибирається перший верстат із другої множини $M2$;

$M3 \neq \emptyset$ - вибирається перший верстат із третьої множини – найбільш оптимальний випадок.

Для побудови алгоритму автоматизованого вибору технологічного обладнання необхідно визначити логічні умови, базуючись на таблицях відповідності.

3.2 Автоматизоване проектування технологічного оснащення

3.2.1 Алгоритм автоматизованого проектування верстатних пристосувань

Процес спорядження спроектованого ТП універсальним та спеціальним технологічним оснащенням є досить складним і трудомістким етапом технологічної підготовки виробництва.

На стадії проектування технологічного процесу необхідно спочатку вибрати технологічне оснащення з числа універсального і нормалізованого, що є на підприємстві, або, у випадку його відсутності, спроектувати спеціальне. При проектуванні спеціальних пристосувань можливі два варіанти рішення задачі:

- 1) часткова доробка універсальних або нормалізованих пристосувань;
- 2) проектування нових конструкцій спеціальних пристосувань.

Узагальнений алгоритм автоматизованого проектування технологічного оснащення наведено на рисунку 17.

В основу алгоритму автоматизованого проектування пристосувань закладено принцип першочергового максимального використання стандартних нормалізованих та уніфікованих пристосувань без додаткової доробки.

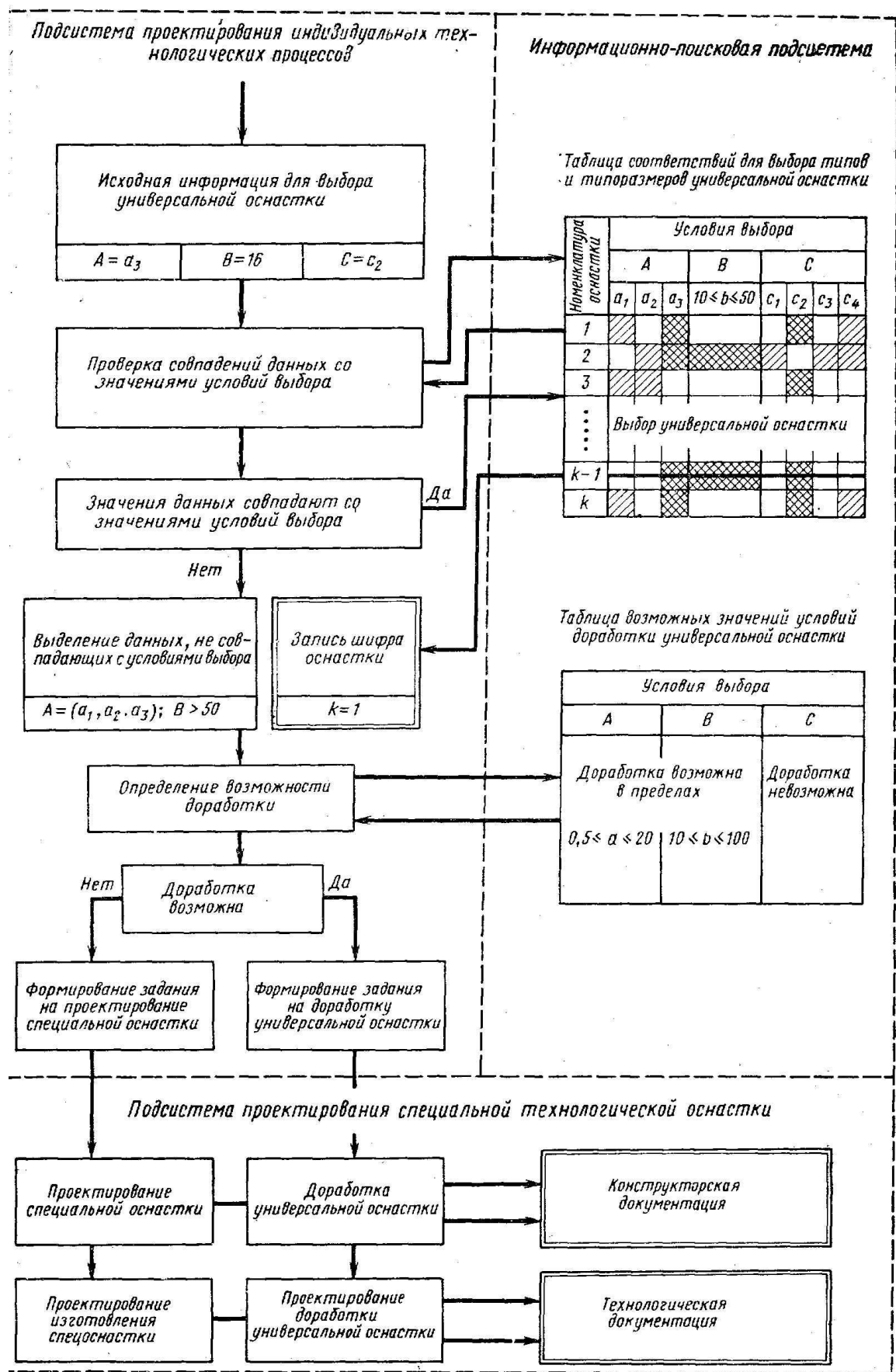


Рисунок 17 – Узагальнений алгоритм автоматизованого проектування технологічного оснащення

3.2.2 Структура інформаційно-пошукової системи для автоматизованого проектування пристосувань

До складу ІПС входить умовно-постійна інформація, необхідна для автоматизованого проектування технологічного обладнання.

Умовно-постійна інформація підрозділяється на такі види:

1 Класифікатори універсальних, нормалізованих і уніфікованих пристосувань, вузлів та елементів

2 Класифікатори методів і типових схем встановлення, базування та закріплення заготовок у пристосуваннях, направлення ріжучих інструментів

3 Таблиці відповідностей для вибору найбільш раціональних в заданих умовах схем базування, закріплення заготовок, типів та типорозмірів пристосувань, вузлів і деталей, а також матеріалів (табл.9)

Таблиця 9 – Таблиця схем базування заготовок

Тип пристосування	Схема базування				
	Зовн. цил. поверхня	Отвір циліндричний	Отвір конічний	Отвір шліцьовий	Торці
Самоцентрівний патрон	X	X			X
Оправка циліндрична		X			
Лещата	X				X
Оправка конічна			X		
Оправка шліцьова				X	

4 Довідкові таблиці загально машинобудівного характеру

5 Таблиці можливих доробок нормалізованих пристосувань та їх елементів.

При автоматизованому проектуванні найбільш зручною є класифікація пристосувань по функціональним ознакам та по ступеню їх нормалізації і уніфікації.

Класифікація пристосувань по *функціональним ознакам*:

1 Тип виробництва (клас пристосувань). В залежності від виду виробництва (індивідуальне, серійне, масове і т.п.) розрізняють наступні класи пристосувань: універсальні, універсальні, що налагоджуються, універсальні-збірні, групові, спеціальні і т.п.

2 Геометрична форма і конструктивні елементи деталей, що оброблюються (підклас). Підкласами пристосувань можуть бути пристосування для обробки

корпусних деталей, важелів, валів дисків і т.п., в залежності від прийнятої класифікації деталей.

3 Тип операції (групи пристосувань). Наприклад, пристосування для токарних, фрезерних, протяжних та інших операцій.

4 Типорозміри пристосувань визначаються розмірами деталей, що оброблюються та їх конструктивними особливостями. Ці дані і є умовами для вибору типорозмірі по таблицям відповідності. Прикладами для кондукторів можуть виступати кондуктори скальчасті, накладні, коробчасті, поворотні, кондукторні плити агрегатних верстатів і т.п.

Іншим напрямком класифікації пристосувань та їх елементів при автоматизованому проектуванні є класифікація по ступеню нормалізації і уніфікації конструктивних елементів і в зв'язку з цим – по особливостям їх використання при проектуванні.

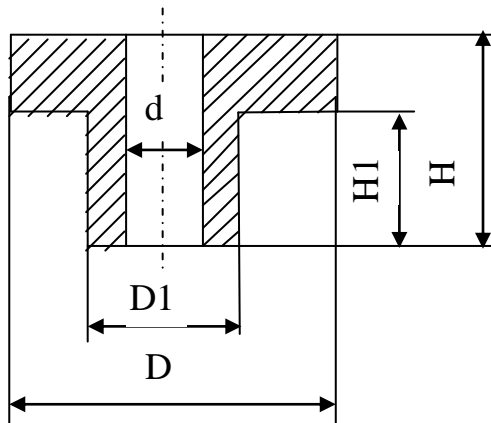
Для ефективної роботи алгоритму автоматизованого проектування верстатних пристосувань таблиці відповідності об'єднують з класифікаторами пристосувань (табл.10).

Таблиця 10 – Таблиця відповідності для автоматизованого вибору пристосувань

Класифікатор пристосувань				Шифр пристосування	Логічні умови		
Клас	Підклас	Група	Підгрупа		Геометр. форма	Констр. елемент	Габарити

Логічні умови, які необхідні для вибору верстатного пристосування, можуть бути використані як вхідні дані класифікатору деталі.

Ще одним напрямком автоматизованого проектування верстатних пристосувань є їх компонування з нормалізованих елементів. Для побудови системи нормалізованих елементів пристосувань розробляється бібліотека конструкцій уніфікованих елементів. Бібліотека – це частина умовно-постійної інформації, яка включає до себе відомості про основні характеристики стандартних нормалізованих та уніфікованих елементів, які описані з достатньою ступінню інформативності. Прикладом такого уніфікованого елементу є напрямна втулка для свердлення (рис.18).



d	D1	D	H	H1
6	10	25	10	7.5
8	12	25	12	9.5
10	15	25	13	10
12	18	36	18	13
16	28	36	22	18

Рисунок 18 – Напрямна втулка для свердлення

Для розробки класифікації пристосувань та їх бібліотек потрібно виконати наступні види робіт:

- 1) вивчити та систематизувати існуюче оснащення та його елементи;
- 2) виконати класифікацію за функціональним призначенням;
- 3) виключити з множини відібраних конструкцій пристосувань та їх елементів такі, що повторюються, застарілі і нетехнологічні;
- 4) обґрунтувати необхідність використання пристосувань, що рідко зустрічаються;
- 5) розробити додаткові конструктивні елементи, необхідні для проектування пристосувань.

Для компоновання пристосувань з уніфікованих стандартних елементів необхідно виконати роботи, пов'язані з прив'язкою системи координат до елементів конструкції. Це необхідно для визначення розташування елементів одне відносно іншого і опису процесу компоновання. При цьому до кожного елемента конструкції прив'язується прямокутна система координат, нульова точка називається "точкою прив'язки". "Точку прив'язки" необхідно розміщувати так, щоб вона співпадала з головною складальною базою елементів, а також центром симетрії цієї бази, якщо останній існує. Прийнято для елементів пристосувань, які направляють ріжучий інструмент (кондукторні втулки), основні складальні бази прирівнювати до нижньої поверхні елемента, орієнтованої до поверхні, що обробляється (рис.19).

Для установочних елементів пристосування складальною базою буде виступати поверхня контакту, а також вісь цієї бази (рис.20).

Для елементів закріплення головна складальна база розташована на поверхнях, повернених до деталі, що закріплюється.

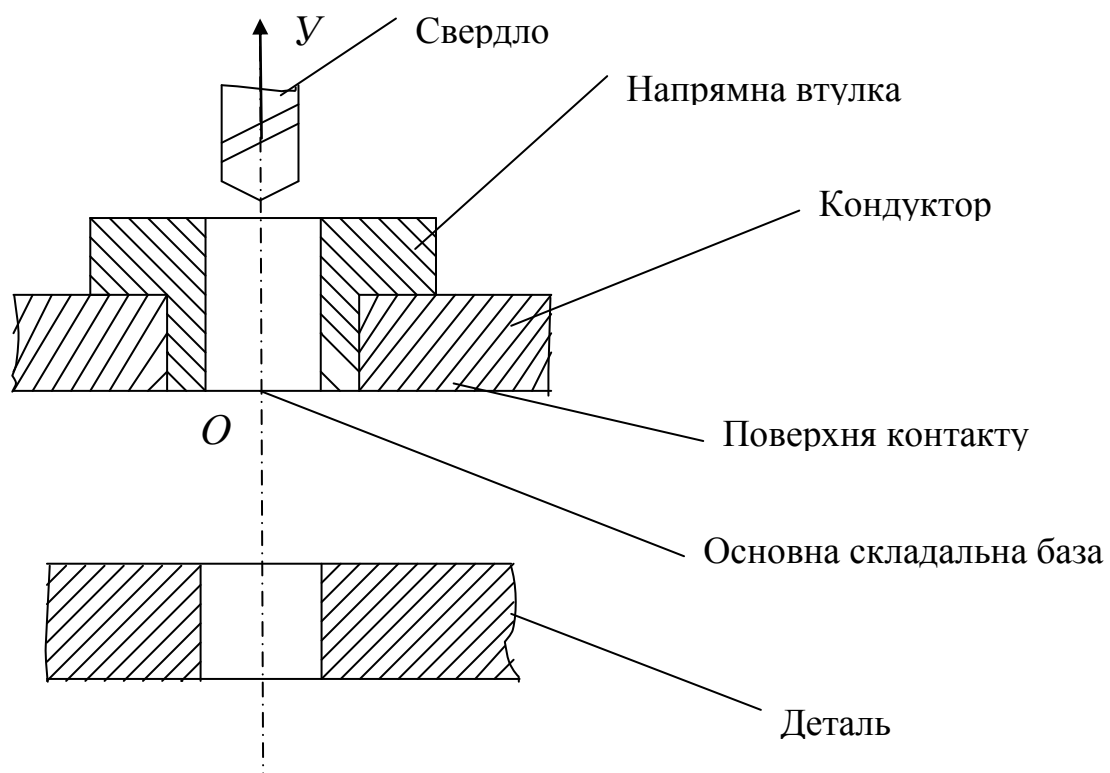


Рисунок 19 – Прив'язка системи координат направляющего приспособления

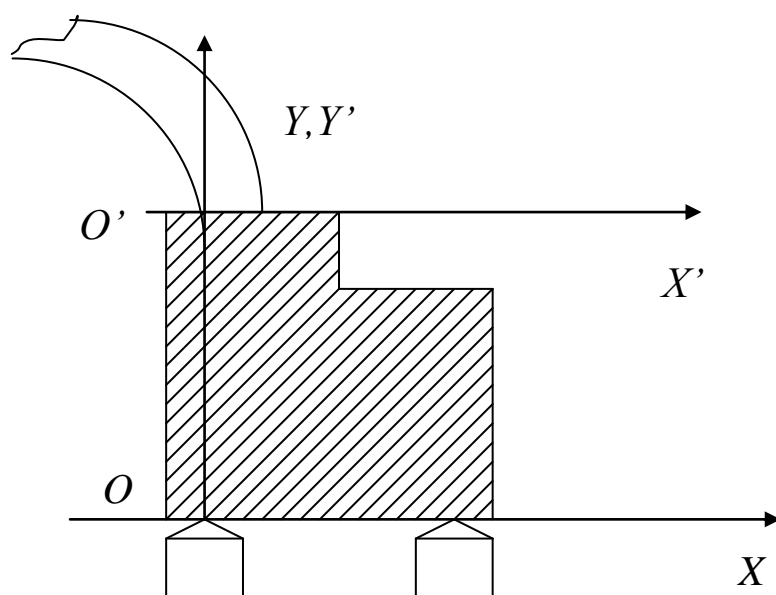


Рисунок 20 – Прив'язка системи координат для установочних елементів

3.3 САПР технологічного оснащення гнучких виробничих систем (ГВ)

3.3.1 Методи групування деталей

В машинобудівному виробництві застосовуються наступні методи групування деталей для підвищення серійності виробництва:

- 1 По спільності технологічного устаткування
- 2 По спільності технологічного оснащення
- 3 По спільності технологічної наладки
- 4 По спільності технологічного маршруту обробки

Основні конструктивно-технологічні параметри, які визначають найбільш ефективний у кожному окремому випадку метод групування деталей, наведено у таблиці 11.

Таблиця 11 – Параметри, які визначають метод групування деталей

<i>Метод групування</i>	<i>Параметри</i>
1 По спільності технологічного устаткування	1 Форма, габаритні розміри, точність, шорсткість, конструктивні елементи
2 По спільності технологічного оснащення	2 Форма, габаритні розміри, конструктивні елементи, точність, шорсткість, вид заготовки
3 По спільності технологічної наладки	3 Конструктивні елементи, форма, точність і шорсткість, матеріал, хіміко-термічна обробка
4 По спільності технологічного маршруту обробки	4 Структура класифікаційного коду деталі для автоматизованого проектування

При групуванні деталей *по спільності технологічного устаткування* деталі, які оброблюються на токарних верстатах, поділяються на 3 групи:

- 1) деталі – тіла обертання, у яких оброблюються зовнішні і внутрішні поверхні;
- 2) деталі – тіла обертання, у яких оброблюються тільки зовнішні поверхні (вали, гвинти);
- 3) деталі, які не є тілами обертання, але які мають поверхні обертання.

Метод дозволяє підвищити коефіцієнт завантаження обладнання і найбільш ефективний при обробці деталей з невеликим циклом обробки.

Деталі, які оброблюються на свердлильних верстатах, підрозділяються на 4 групи:

- 1) деталі з радіальним розміщенням отворів;

- 2) деталі з отворами, розміщеними по зовнішнім поверхням і на торцях;
- 3) і 4) корпусні деталі, які мають отвори з осями, що перетинаються.

У другому методі групування *по спільності технологічного оснащення* виконується на основі розробки комплектів універсальних перенастроюваних пристосувань.

Наприклад, до комплекту можуть входити наступні типи пристосувань:

- 1) універсальний 2-кулачковий патрон;
- 2) скальчастий і консольні кондуктори;
- 3) поворотний стіл;
- 4) універсальні столи для фрезерних робіт.

Застосування методу дозволяє підвищити оснащеність технологічних операцій.

По 3-му методу – групування *по спільності технологічної наладки*.

В основу метода покладено застосування комплексної деталі, яка повинна мати всі елементарні поверхні деталей, які входять у групу. На основі цієї деталі виконується налагодження обладнання і оснащення.

Метод ефективний для одно-двоопераційного ТП, використовується на верстатах токарно-револьверної групи або ЧПК. Використовується в приладобудуванні.

4-ий метод – *по спільності технологічного маршруту* – використовується для деталей, які мають багатоопераційний ТП. Він найбільш складний по методиці формування, базується на використанні класифікаційних конструкторсько-технологічних ознак. Метод повинен враховувати всі технологічні особливості деталей, що входять у групу, і організаційні форми планування.

Групування доцільно виконувати за допомогою ЕОМ на основі кодів параметрів, які визначають групу.

3.3.2 Розробка математичної моделі організації проектування

Для організації групового виробництва в умовах дрібносерійного виробництва необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1 Визначити номенклатуру виробів, що випускаються.
- 2 Встановити період планування запуску виробів у виробництво (рік, квартал, місяць, тиждень, замовлення).

Відсоток згрупованих деталей Q визначається таким чином:

$$Q = b/B * 100\% \rightarrow \max,$$

де b - кількість деталей, які можуть бути згруповані;

B - загальна кількість деталей.

Відсоток не згрупованих деталей H :

$$H = (1 - b/B) * 100\% \rightarrow \min.$$

Для оптимізації групування деталей вхідною інформацією є відомість деталей, що групуються. Вона вміщує наступні реквізити:

- 1) класифікаційний код деталей;
- 2) позначення деталі, наприклад, номер креслення;
- 3) позначення усього виробу;
- 4) кількість деталей на виріб;
- 5) кількість деталей на період планування.

3.3.3 Операторна схема моделюючого алгоритму оптимізації планування

Поставлена задача оптимізації групування розв'язується методом *статистичного моделювання*.

Операторна схема моделюючого алгоритму має такий вигляд:

$$\Phi_1 K_2 C_3 K_4 K_5 P_6 \downarrow \uparrow P_7 Я_8,$$

де Φ_1 - формування масиву класифікаційних кодів деталей виробів, які плануються виробничим замовленням;

K_2 - лічильник кількості деталей у виробках;

C_3 - сортування класифікаційних кодів деталей;

K_4 - лічильник кількості згрупованих деталей;

K_5 - лічильник кількості не згрупованих деталей;

P_6 - визначення відсотку згрупованих деталей;

\downarrow - знижувати;

\uparrow - підвищувати;

P_7 - визначення відсотку не згрупованих деталей;

$Я_8$ - закінчення розрахунків і видача документації по розв'язанню задачі.

Вирішення даної задачі дозволяє оптимально спланувати запуск виробів у виробництво з максимальною кількістю згрупованих деталей для обробки.

3.3.4 Розробка математичної моделі оптимізації завантаження технологічного обладнання

При розробці математичної моделі оптимізації завантаження обладнання враховується трудомісткість виготовлення деталей, які входять у групу, і пропускна здатність технологічного обладнання. Виходячи з цього математична модель оптимізації обладнання буде мати вигляд:

$$Ц.Ф. \quad \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \rightarrow opt \quad \min \text{ або } \max,$$

де C_i - витрати або прибуток на одну деталь i -го найменування;

X_i - кількість деталей i -го найменування.

Витрати зазвичай мінімізують, прибуток – максимізують.

При цьому необхідно враховувати такі обмеження: обмеження по пропускній здатності обладнання:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot x_i \leq A_j,$$

де a_{ij} - трудомісткість обробки i -ї деталі на j -му обладнанні;

A_j - пропускна здатність j -го виду обладнання.

Необхідно також враховувати параметричні обмеження:

$$x_i \geq 0.$$

Ця задача вирішується за допомогою лінійного програмування.

Наприклад, ми обробляємо 3 види деталей на трьох верстатах (табл.12).

Таблиця 12 – Постановка задачі лінійного програмування

Вид деталі	C_i , гр.од.	Трудомісткість α_{ij}			Кількість деталей
		1 верстат	2 верстат	3 верстат	
1	$C_1=5$	$\alpha_{11}=0,5$	$\alpha_{12}=0,4$	$\alpha_{13}=0,7$	X_1
2	$C_2=10$	$\alpha_{21}=0,7$	$\alpha_{22}=0,8$	$\alpha_{23}=0,5$	X_2
3	$C_3=7$	$\alpha_{31}=1$	$\alpha_{32}=1,1$	$\alpha_{33}=1,9$	X_3
Пропускна здатність		$A_1=500$	$A_2=400$	$A_3=650$	

$N=3$; $I=1..N$; $M=3$; $J=1..M$.

Маємо дані по прибутку на обробку деталей кожного виду.

Задача буде полягати у відшукуванні такої кількості деталей кожного виду, що випускається, щоб досягти максимуму загального прибутку, не виходячи при цьому за обмеження:

$$\begin{aligned}F_{\Pi} &= 5x_1 + 10x_2 + 7x_3, \\0.5x_1 + 0.7x_2 + x_3 &\leq 500, \\0.4x_1 + 0.8x_2 + 1.1x_3 &\leq 400, \\0.7x_1 + 0.5x_2 + 1.9x_3 &\leq 650, \\x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 &\geq 0.\end{aligned}$$

В результаті проведення оптимізації отримали значення $\pi = 5\,000$ гр.од. при тому, що $X_1 = 200$, $X_2 = 400$ і $X_3 = 0$. Тобто 3-й вид деталі випускати не вигідно.

3.4 Економічна ефективність використання САПР ТП. Основні показники

Правильне обґрунтування складу і структури технічних засобів проектування і керування у сполученні з економічним розрахунком є обов'язковою умовою будь-якої раціоналізації, проведеної з метою підвищення технічної озброєності проектувальної праці.

САПР може застосовуватися як на окремих етапах конструкторського і технологічного підготування виробництва виробу, так і в комплексі в процесі всього технічного підготування виробництва.

У зв'язку з великими капітальними витратами, що потребуються на створення й експлуатацію САПР, її використання повинно бути економічно обґрунтовано відповідними розрахунками.

Ефективність використання САПР виявляється не тільки в сфері проектування об'єктів (зокрема технологічної і конструкторської документації), але й у сферах виробництва й експлуатації.

Основними показниками економічної ефективності використання САПР є:

- а) річна економія на поточних витратах $E_{\text{рік}}$;
- б) річний економічний ефект $E_{\text{Ф}}$;
- в) розрахунковий коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних витрат, вкладених у створення САПР $E_{\text{р}}$;
- г) розрахунковий термін окупності $T_{\text{р}}$.

Джерелами одержання економічного ефекту від використання САПР є:

а) скорочення трудомісткості робіт технологічного підготування виробництва за рахунок використання ЕОМ;

б) скорочення трудомісткості виготовлення деталей і трудомісткості робіт технологічного підготування за рахунок використання групових техпроцесів.

3.5. Економічна ефективність використання САПР ТП. Методика розрахунків витрат

Капіталовкладення в створення програмних виробів (ПВ) носять одноразовий характер і визначаються за формулою

$$K_o = K_1 + K_2 + K_3, \quad (1)$$

де K_1 - витрати на устаткування, грн.;

K_2 - витрати на ліцензійні програмні продукти, грн.;

K_3 - витрати на створення ПВ, грн.

Розрахунок витрат на устаткування – K_1

Витрати на устаткування включають вартість придбання комп'ютерів:

$$K_1 = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2)$$

де N_i - кількість одиниць i -го устаткування, необхідного для реалізації, шт.;

C_i - ціна одиниці i -го устаткування, грн.;

n - загальна кількість різноманітних видів устаткування;

k_1 - коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат, частки;

k_2 - коефіцієнт збільшення витрат на виробничо-господарський інвентар, частки.

$$k_1 = 1,01; \quad k_2 = 1,015;$$

Розрахунок витрат на ліцензійні програмні продукти – K_2

Витрати на ліцензійні програмні продукти K_2 визначають за даними з прайс-листів.

Розрахунок витрат на створення ПВ – K_3

$$K_3 = 3_1 + 3_2 + 3_3, \quad (3)$$

де 31 - витрати праці програмістів-розроблювачів, грн.;

32 - витрати комп'ютерного часу, грн.;

33 - непрямі (накладні) витрати, грн.

Витрати праці програмістів-розроблювачів – 31

$$31 = \sum_{k=1}^K N_k r_k T_k K_{зар}, \quad (4)$$

де N_k - кількість розроблювачів k -ї професії, осіб;

r_k - годинна зарплата розроблювача k -ї професії, грн.;

T_k - трудомісткість розробки для k -го розроблювача (кількість витраченого розроблювачем часу), год.;

$K_{зар}$ - коефіцієнт нарахувань на фонд заробітної плати, частки;

Годинна зарплата розроблювача визначається за формулою

$$r_k = M_k / F_k^{міс} \quad (5)$$

де M_k - місячна зарплата k -го розроблювача, грн.;

$F_k^{міс}$ - місячний фонд часу його роботи, год.

Трудомісткість розробки включає час виконання робіт, наведених у табл.13.

Таблиця 13 – Час виконання робіт на різних етапах проектування

Етапи робіт	Тривалість робіт, год.
1 Технічне завдання	
2 Ескізний проект	
3 Технічний проект	
4 Робочий проект	
5 Впровадження	

Розрахунок трудомісткості розробки для кожного розроблювача здійснюється по формулі:

$$T_k = t_{1k} + t_{2k} + t_{3k} + t_{4k} + t_{5k}, \quad (6)$$

де t_{1k} , t_{2k} , t_{3k} , t_{4k} , t_{5k} – час, витрачений на кожному етапі розробки k -м розроблювачем, год.

Витрати комп'ютерного часу - $З_2$:

$$З_2 = C_K \cdot F_0, \quad (7)$$

де C_K - собівартість комп'ютерного часу, грн.;

F_0 - витрати комп'ютерного часу на розробку програми, год.

Собівартість комп'ютерного часу обчислюється за формулою:

$$C_K = C_A + C_E + C_{TO}, \quad (8)$$

де C_A - амортизаційні відрахування, грн.;

C_E - енерговитрати, грн.;

C_{TO} - витрати на техобслуговування, грн.

Розрахунок амортизаційних відрахувань

$$C_A = \sum_{i=1}^n C_i \cdot N_{Ai} / F_{pik\ i}, \quad (9)$$

де C_i - балансова вартість i -го устаткування, що використовувалося для створення ПВ, грн.;

N_A - річна норма амортизації i -го устаткування, частки;

F_{pik} - річний фонд часу роботи i -го устаткування, год.

Розрахунок енерговитрат

$$C_E = P_E \cdot C_{kBm}, \quad (10)$$

де P_E - витрати електроенергії, споживаної комп'ютером, год;

C_{kBm} - вартість 1 кВт/год електроенергії, грн.;

Розрахунок витрат на техобслуговування

$$C_{TO} = M_{TO} / F_{mic}, \quad (11)$$

де M_{TO} - місячна заробітна плата робітника, що обслуговує устаткування, грн.;

F_{mic} - місячний фонд часу роботи персоналу, що обслуговує устаткування, год.

Накладні витрати $З_3$

$$З_3 = k_4 \cdot C_y, \quad (12)$$

де k_4 - коефіцієнт накладних витрат; $k_4 = 1,004$;

C_y - ціна використовуваного устаткування, грн.

3.5.1 Розрахунок річної економії від автоматизації технологічного підготування виробництва

Основним джерелом економії є зниження трудомісткості розробки маршрутних технологічних процесів у великому обсязі.

Річна економія від автоматизації технологічного підготування виробництва визначається в такий спосіб:

$$E_{рік} = \Delta З + E_k, \quad (13)$$

де $\Delta З$ - зниження собівартості проектування в розрахунковому році, грн.;

E_k - річна економія від підвищення якості проектних рішень у розрахунковому році, грн.;

Зниження собівартості проектування в розрахунковому році:

$$\Delta З = C_1 - C_2, \quad (14)$$

де C_1 – собівартість розробки техпроцесів у ручному варіанті, грн.;

C_2 – собівартість розробки техпроцесів в автоматизованому варіанті, грн.
Собівартість розробки техпроцесів у ручному варіанті:

$$C_1 = T_{cp} \cdot C_{год1} \cdot N_1, \quad (15)$$

де T_{cp} – середній час написання технологічного процесу базовим способом, год.;

$C_{год1}$ – вартість однієї години роботи технолога, грн./год;

N_1 – кількість креслень, що групуються у рік, шт.

Вартість однієї години роботи технолога:

$$C_{год1} = \frac{C_{міс1} \cdot 12}{F_T}, \quad (16)$$

де $C_{міс1}$ - вартість одного місяця роботи інженера-технолога, грн./міс;

F_T - ефективний фонд часу роботи технолога за рік, год.; $F_T = 1840$ год.

Вартість одного місяця роботи технолога:

$$C_{mic1} = M_{IT} + P_{нак}, \quad (17)$$

де M_{IT} - середньомісячна заробітна плата інженера-технолога, грн.;

$P_{нак}$ - накладні витрати даної категорії робітників, грн.

Накладні витрати інженера-технолога:

$$P_{нак1} = M_{IT} K_{нак}, \quad (18)$$

де $K_{нак}$ - коефіцієнт, що враховує накладні витрати.

Коефіцієнт, що враховує накладні витрати:

$$K_{нак} = K_{соц} + K_{доп}, \quad (19)$$

де $K_{соц}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні потреби,
 $K_{соц} = 0,375$;

$K_{доп}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на додаткову заробітну плату, $K_{доп} = 0,15$.

Собівартість розробки техпроцесів в автоматизованому варіанті:

$$C_2 = C_{21} + C_{22}, \quad (20)$$

де C_{21} - вартість кодування креслень і одержання техпроцесів на ЕОМ, грн.;

C_{22} - вартість роботи ЕОМ, грн.

Вартість кодування креслень і одержання техпроцесів на ЕОМ:

$$C_{21} = C_{mic2} n_{Т.Т.}, \quad (21)$$

де C_{mic2} - вартість одного місяця роботи техніка-технолога, грн./год;

$n_{Т.Т.}$ - кількість техніків-технологів, зайнятих кодуванням і одержанням технологічних документів на ЕОМ.

Вартість одного місяця роботи техніка-технолога:

$$C_{mic2} = M_{ТТ} + P_{нак}, \quad (22)$$

де M_{TT} - середньомісячна заробітна плата техника-технолога, грн.;

$P_{нак}$ - накладні витрати даної категорії робітників, грн.

Накладні витрати техника-технолога:

$$P_{нак2} = M_{TT} K_{нак}, \quad (23)$$

де $K_{нак}$ - коефіцієнт, що враховує накладні витрати; $K_{нак} = 0,5$.

Кількість техніків-технологів, зайнятих кодуванням і одержанням технологічних документів на ЕОМ :

$$n_{Т.Т.} = \frac{T_{1cp} \cdot N_1 + T_{2cp} \cdot N_1 + T_{3cp} \cdot N_2 + t_{еск} \cdot N_2}{F_T \cdot 60}, \quad (24)$$

де T_{1cp} - середній час кодування одного креслення, хв.;

T_{2cp} - середній час введення і сортування коду креслення, хв.;

T_{3cp} - середній час одержання документів групового маршрутного техпроцесу, хв.;

$t_{еск}$ - середній час розробки і друкування ескіза на ЕОМ із використанням бібліотеки шаблонів, хв.;

N_2 - середня кількість групових комплектів у рік.

Середній час введення і сортування коду креслення:

$$T_{2cp} = t_{21} + t_{22}, \quad (25)$$

де t_{21} - середній час для введення коду одного креслення, хв.;

t_{22} - час, необхідний для сортування одного креслення, хв.

Середній час одержання документів групового маршрутного техпроцесу:

$$T_{3cp} = t_{31} + t_{32} + t_{33}, \quad (26)$$

де t_{31} - середній час проектування і формування техпроцесу, хв.;

t_{32} - середній час роздруківки одного примірника техпроцесу, хв.;

t_{33} - середній час коректування техпроцесу, хв.

Мінімальна кількість обслуговуючого персоналу $n \geq 2$ осіб.

Вартість роботи ЕОМ розраховується за формулою

$$C_{22} = \frac{t_{2cp} \cdot N_1 + T_{3cp} \cdot N_2 + t_{эск} \cdot N_2}{60} \cdot C_{кВм}, \quad (27)$$

Річна економія від підвищення якості проектних рішень являє собою економію від зниження трудомісткості виготовлення деталей:

$$E_k = E_{n.з.} + E_{штк}, \quad (28)$$

де $E_{n.з.}$ - економія за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу при груповій обробці деталей, грн.;

$E_{штк}$ - економія за рахунок зменшення штучно-калькуляційного часу при груповій обробці деталей, грн.

Економія за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу

$$E_{n.з.} = T_1 C_{год.врст}, \quad (29)$$

де T_1 - зниження трудомісткості виготовлення деталей за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу, год.;

$C_{год.врст.}$ - вартість однієї години роботи верстатника, грн./год.

Зниження трудомісткості виготовлення деталей за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу:

$$T_1 = T_{n.з.и.} - T_{n.з.гр.}, \quad (30)$$

де $T_{n.з.и.}$ - сумарний підготовчо-заключний час при індивідуальній обробці деталей, год.;

$T_{n.з.гр.}$ - сумарний підготовчо-заключний час при груповій обробці деталей, год.

Сумарний підготовчо-заключний час при індивідуальній обробці деталей

$$T_{n.з.и.} = T_{n.з.} \cdot N_1 / 60. \quad (31)$$

Сумарний підготовчо-заключний час при груповій обробці деталей

$$T_{n.з.гр.} = \frac{t_{n.з.} + T_{n.з.} \cdot (I_i - 1) \cdot K_{n.з.}}{60} \cdot N_2, \quad (32)$$

Економія за рахунок зменшення штучно-калькуляційного часу

$$E_{\text{шт. к.}} = T_2 C_{\text{год.врст}}, \quad (33)$$

де T_2 - зниження трудомісткості виготовлення деталей за рахунок упорядкування технічних норм часу і розробки групових технологічних процесів, год.

Зниження трудомісткості виготовлення деталей за рахунок упорядкування технічних норм часу і розробки групових технологічних процесів

$$T_2 = \frac{T_{\text{шт.к.}} N_{\text{д}} (K_{C1} + K_{C2} K_{\text{п.з.}})}{60}, \quad (34)$$

де K_{C1} - коефіцієнт зниження штучно-калькуляційного часу за рахунок упорядкування технічних норм часу, $K_{C1} = 0,08$;

K_{C2} - коефіцієнт зниження штучно-калькуляційного часу за рахунок розробки групових техпроцесів, $K_{C2} = 0,1$.

3.5.2 Розрахунок річного економічного ефекту від упровадження САПР

Річний економічний ефект визначається за формулою

$$E_{\Phi} = E_{\text{рік}} - E_n K, \quad (35)$$

де $E_{\text{рік}}$ - річна економія поточних витрат, грн.;

K - капітальні витрати на створення програмного виробу, грн.

E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень, частки. E_n залежить від особливостей застосування засобів автоматизації в різноманітних галузях; для машинобудування він дорівнює 0,42.

3.5.3 Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності і терміна окупності капіталовкладень

Коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень показує розмір річного приросту прибутку або зниження собівартості в результаті використання САПР на одну гривню одноразових витрат (капіталовкладень):

$$E_p = \frac{E_{\text{рік}}}{K}, \quad (36)$$

Розроблена програма є економічно ефективною, якщо виконується нерівність

$$E_p \geq E_n. \quad (37)$$

Термін окупності капіталовкладень - період часу, протягом якого окупаються витрати на САПР:

$$T_p = \frac{K}{E_{pik}}, \quad (38)$$

При ефективному використанні капіталовкладень розрахунковий термін окупності T_p повинний бути менше нормативного:

$$T_p < T_n = 2,4 \text{ роки (для машинобудування).}$$

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении: Справочник. – Т.1. – Минск: Вышейш. школа, 1976. – 315 с.
- 2 Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении /Под ред. Г.К. Горанского. – М.: Машиностроение, 1976. – 240 с.
- 3 Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 176 с.
- 4 Гавриш А.П. Автоматизация технологической подготовки производства. – К.: Техника, 1982. – 215 с.
- 5 Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства / Под ред. С.П. Митрофанова. — М: Машиностроение, 1981. – 287 с.
- 6 Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебник для вузов \ С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Сеницын; Под общ. ред. С.Н. Корчака. — М.: Машиностроение, 1988 – 352 с.
- 7 Системы автоматизированного проектирования: Учебное пособие для вузов: В 9 кн. – Кн.1.: Принципы построения и структура / И.П. Норенков. – Минск: Выш. шк., 1987. – 123 с.: ил.
- 8 Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.1. – С. 209-219.
- 9 Экономическая информатика: Учебник для вузов / Под ред. д.э.н., проф. В.В.Евдокимова. – СПб.: Питер, 1997. – 592 с.
- 10 Энгельке У.Д. Как интегрировать САПР и АСТПП: Управление и технология / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

САПР ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Матеріали з курсу лекцій

для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності

7.05050201 “Технології машинобудування”

Укладачі: Галина Пилипівна Володченко,
Валерій Леонідович Аносов
Олена Сергіївна Ковалевська

Редактор Олена Олександрівна Дудченко

Підписано до друку

Формат 60x84/16.

Ризограф. друк

Ум. друк. арк.

Облік.-вид. арк.

Тираж прим.

ДДМА. 84313, м. Краматорськ, вул. Шкадинова, 72