

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

З ДИСЦИПЛІНИ

**«Системно-структурна оптимізація
процесів обробки на верстатах з ЧПК»**

на 2020-2021 навчальний рік

Дніпро
НТУ «ДП»
2020

Пацера С.Т. Конспект лекцій з дисципліни «Системно-структурна оптимізація процесів обробки на верстатах з ЧПК» / Пацера С.Т., Проців В.В.; Нац. техн. ун-т., каф. технологій машинобудування та матеріалознавства. – Д. : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – 91 с.

ЗМІСТ

Системно-структурне моделювання процесів механічної обробки (Початок)

1.1 Системний аналіз процесів механічної обробки

1.2 Особливості побудови структури математичних моделей технологічних процесів

Системно-структурне моделювання процесів механічної обробки (Закінчення)

3 Обґрунтування і вибір критеріїв оптимізації

4 Вибір технічних обмежень

5 Види оптимізації процесів механічної обробки

Структурна оптимізація технологічних процесів (початок):

1 Особливості структурної оптимізації

2 Вибір виду заготовки і методів її виготовлення

3 Структурний аналіз вибору типового маршруту обробки деталей

4 Вибір припусків і операційних розмірів

Структурна оптимізація технологічних процесів (закінчення):

5 Вибір технологічних операцій

6 Вибір кількості та послідовності переходів в операції

7 Оптимізація процесів механічної обробки з урахуванням дії технологічної спадковості

8 Вибір раціональної системи верстатних пристосувань

9 Конструкторсько-технологічне забезпечення зносостійкості деталей

ВСТУП

Головна задача сучасного машинобудівного виробництва – випуск конкурентоспроможної продукції. Це обумовлює необхідність частого (адекватно попиту ринку) оновлення об'єкта виробництва і швидкого освоєння його випуску, ще й забезпечити високу якість і мінімальну собівартість. Отже, виробництво повинно бути швидко переналаштовувемим, переважно серійного характеру. У серійному виробництві вимоги високої продуктивності і гнучкості традиційно вважалися альтернативними. Однак використання робототехнічних комплексів, верстатів з числовим програмним управлінням, гнучких виробничих модулів і систем знищило грань між серійним і масовим виробництвом за показниками продуктивності і рівня автоматизації, але при цьому значно збільшився обсяг робіт по підготовці виробництва та актуальною стала їх автоматизація.

Основними технологічними процесами в машинобудуванні є механічна обробка і складання. На їх частку доводиться більше половини загальної трудомісткості виготовлення машини. У ході підготовки виробництва розробляються технологічний процес виготовлення кожної деталі і технологічний процес складання кожної складальної одиниці, а також технологічні процеси виготовлення заготовок, термічної обробки деталей, фарбування виробів і т. п.

Основними завданнями технологічної підготовки виробництва на сучасному етапі є:

- зниження трудомісткості підготовки виробництва та виготовлення продукції в цілому;
- скорочення термінів освоєння випуску нових виробів;
- підвищення якості розроблюваних технологічних процесів і продукції в цілому.

Зазначені завдання вирішуються шляхом автоматизації технологічної підготовки виробництва і всього виробничого процесу.

Теорія автоматизованого проектування різних технологічних об'єктів (маршрутних і операційних технологічних процесів, режимів різання, ріжучих інструментів, технологічної оснащення, керуючих програм для верстатів з ЧПК тощо) активно розроблялася з 60-х років XX століття. Основна увага приділялася формалізації методів проектування і розрахунку технологічних завдань, подання інформаційної моделі у вигляді необхідної технологічної документації. Великий внесок у розвиток автоматизації технологічної підготовки виробництва внесли Р.К. Горанський, А.Р. Ракович, В.Д. Квіток, С.П. Мітрофанов, Б. Н. Челіщев, Н.М. Капустін та інші радянські вчені. З появою персональних ЕОМ і програмно-технічних засобів опрацювання графічної інформації коло автоматизованих технологічних завдань значно розширилося і стало можливим поєднувати різні етапи конструкторської і технологічної підготовки виробництва шляхом створення інтегрованих систем.

У багатьох сучасних системах автоматизованого проектування (САПР) технологічних процесів передбачено накопичення знань в області технології машинобудування. В них використовуються знання досвідчених технологів: розроблені ними технологічні процеси служать аналогами при проектуванні нових технологій. Це дозволяє мінімізувати витрати, скоротити терміни розробки оптимальних технологічних процесів і підвищити загальний рівень технологічної підготовки виробництва. Крім того, використання систем автоматизованого проектування технологічних процесів практично виключає помилки суб'єктивного характеру, в десятки разів підвищує продуктивність праці і гарантує якість розроблюваної технологічної документації за рахунок більш повного використання накопичених знань у даній області.

Системи автоматизованого проектування технологічних процесів є з'єднуючою ланкою між відомими підходами математичного опису методів обробки та побудови їх алгоритмів, з одного боку, і прикладними завданнями технологічного проектування – з іншого. Вони ґрунтуються на знаннях інженерної та комп'ютерної графіки, матеріалознавства і технології

конструкційних матеріалів, метрології і стандартизації, технології машинобудування, теорії графів, лінійного програмування.

Для вирішення завдань автоматизації проектування технологічних процесів у машинобудуванні широко використовують методи дискретної математики і, зокрема, теорії графів. Це обумовлено тим, що багато об'єктів машинобудівного виробництва мають яскраво вираженою дискретністю. Типовими прикладами дискретного є сукупність цехів та служб, а самі цехи і ділянки також є дискретними об'єктами.

Одним із шляхів успішного впровадження інтегрованих систем проектування є реалізація групової технології, заснованої на використанні обладнання, планування і організації виробництва за принципом технологічної спільності деталей. Якщо випуск виробів здійснюється з використанням гнучких виробничих систем, то система автоматизованого проектування повинна, перш все, забезпечувати гнучкість технологічних процесів. Під гнучкістю розуміється можливість швидкого переходу на нові технологічні процеси з урахуванням змін факторів, що визначають якість виготовлених деталей (точність, якість поверхневого шару та ін.) і продуктивність. Запроектований технологічний процес повинен оперативно реагувати на зміну виробничих ситуацій випуску виробів.

В основу кожної системи автоматизованого проектування закладена певна математична модель, що формалізує опис проектованих виробів і процесів їх виготовлення.

При вирішенні технологічних завдань методом математичного моделювання найбільш часто застосовуються алгоритми пошуку оптимальних шляхів у графах. Ці алгоритми можна використовувати в тих випадках, коли існує кінцеве число варіантів розв'язання прикладної задачі, від вибору яких залежить значення деякого критерію оптимальності, наприклад, продуктивності, собівартості, енергоспоживання.

Зокрема, такий підхід може бути використаний для вибору оптимальної структури переходу, операції, а також для оптимізації технологічного маршруту

в цілому, коли обробка деталі допускає різні його варіанти. Виробничі процеси обумовлюють специфіку методів їх математичного моделювання. Це призводить до суттєвого розходження як систем проектування, так і умов їх використання.

У конспекті лекцій викладено основні підходи до структурної оптимізації при одночасній автоматизації проектування технологічних процесів виготовлення деталей в машинобудуванні. При цьому основний акцент зроблений на технологію механічної обробки, наведені приклади автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей машин і керуючих програм для верстатів з ЧПУ в САМ програмі ESPRIT.

Послідовність викладу навчального матеріалу обумовлена логічним сприйняттям завдань технологічної підготовки виробництва на машинобудівних підприємствах галузей: спочатку наводяться відомості про особливості технологічної підготовки в машинобудівному виробництві та методичні основи автоматизованого проектування технологічних процесів, потім розглядаються основи оптимізації технологічних проектних рішень, структура САПР технологічних процесів і керуючих програм для верстатів з ЧПК.

1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Автоматизація проектування за короткий період пройшла великий шлях розвитку від машинної підготовки проектної документації до сучасних систем, що автоматизують практично всі етапи проектування і виготовлення нових виробів. Найбільш трудомістким етапом проектування є розробка технологічних процесів.

Основу будь САПР ТП становить певна математична модель, яка формалізує послідовність дій інженера з проектування технологічних процесів. Різноманіття виробничих процесів обумовлює специфіку методів їх математичного моделювання. Зрозуміло, чим складніше виріб, що проектується, тим більш складною і багатофункціональною повинна бути САПР.

На першому етапі автоматизації на підприємствах з'явилися системи розробки конструкторської документації, дещо пізніше – системи моделювання, що дозволяють досліджувати проектовані вироби на моделях, визначати їх оптимальні розміри і конфігурації, а потім – САПР ТП для визначення оптимальних параметрів технологічних процесів і оснащення. Це значно скоротило терміни виконання окремих стадій проектування і підвищило якість проектів.

Наступним етапом стало покоління систем CAD/CAM/CAE, заснованих на використанні єдиної структури бази даних проекту, що заклало фундамент для так званої паралельної інженерії (concurrent engineering). При такому підході всі проектувальники працюють з однією єдиною математичною моделлю, а не з набором різних модулів.

1.1 Особливості технологічної системи для механічної обробки деталей

При розробці технологічних процесів або окремих операцій, розрахунках режимів різання і виконанні інших технологічних задач виникає безліч можливих рішень. При «ручному» проектуванні, зазвичай, окремі рішення вибираються на основі досвіду технолога. Такий підхід не може бути використаний при створенні САПР ТП, в основу яких повинні бути покладені математичні моделі процесів обробки.

Будь-який ТП виготовлення виробу можна розглядати як послідовну зміну стану об'єкта виробництва – заготовки – від її вихідного стану до кінцевого. При цьому ТП представляється як складна система, в якій можна виділити вхідні параметри (характеристики заготовки), вихідні (характеристики деталі) і керуючі технологічні (режими обробки, види операцій та ін.).

Відоме поняття «система» придбало в останні роки в зв'язку з розвитком кібернетики та інформатики особливий сенс. У застосуванні до САПР ТП під терміном «система» розуміється комплекс елементів, існуючих між ними співвідношень, які утворюють єдину сукупність, що діє в рамках більш складної системи, в яку вона входить. Дане визначення системи відображає її ієрархічну структуру, з якої випливає, що кожен систему можна розділити на підсистеми і розглядати їх окремо.

Розглянемо в найбільш загальному вигляді системну модель технології обробки (рис. 1), виділимо три вхідних потоки: матерія, енергія, інформація. Під матерією стосовно машинобудування будуть розумітися матеріали в рідкому і твердому стані, що попередньо пройшли або не пройшли якусь обробку. Потік матеріалів під впливом потоків енергії та інформації перетворюється в готовий виріб – результат, одержуваний на виході технології і відрізняється від суми вхідних потоків масою (частина матеріалів йде у відходи), фізико-хімічним станом і енергією (після обробки у виробі виникає внутрішня напруга та ін.), а також кількістю міститься в ньому геометричній інформації, що міститься в

ньому та виражена формі виробу, яка змінилася. При розгляді такої моделі технології центральним питанням повинен бути опис потоку інформації.

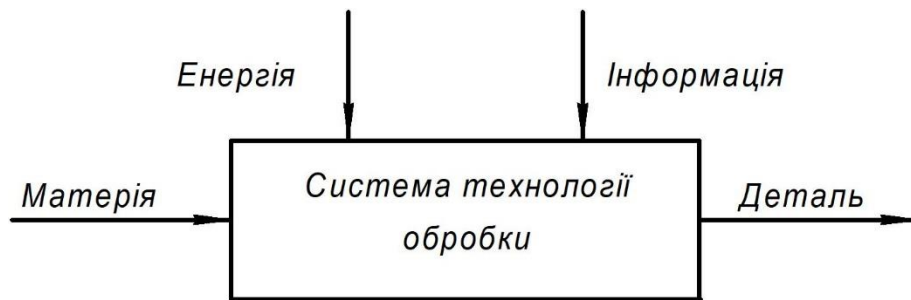


Рисунок 1.1 – Системна модель процесу обробки

Можна уявити собі такий процес формоутворення, в якому маса заготовки збігається з масою виробу, не відрізняються величини укладеної в заготівлі і виробі енергії, але завжди буде інформаційна відміна. Саме в цьому полягає сенс процесу формоутворення, що розглядається в таких загальних категоріях. Потоки матеріалів і енергії є невід'ємними складовими процесу формоутворення, причому перший відображає об'єкт впливу, а другий – засіб впливу. При цьому сутність процесу полягає в передачі інформації на об'єкт (матеріал) за допомогою енергії. Процес перенесення інформації щодо готового виробу або його окремих елементів може представлятися у вигляді схеми (рис. 2), що складається зі стадій підготовки інформації на етапі ТПП, передачі інформації за допомогою підготовки операційних карт ТП, оснащення, інструменту та керуючих програм в разі використання верстатів з ЧПК.

Якщо прийняти, що виробнича діяльність підприємства є особливою системою, то необхідно врахувати, що в ній діють два типи процесів – матеріальний та інформаційний. Виробничий процес або процес виготовлення відноситься до групи матеріальних і полягає в перетворенні вихідного матеріалу в стані заготовки в стан готового виробу. В цьому випадку перетворення відбувається відповідно до технологічного процесу, який відноситься до групи інформаційних і є в певному сенсі алгоритмом виробничого процесу.

З точки зору описаної класифікації різниця між виробничим і технологічним процесами полягає в тому, що перший з них є фізичною реалізацією другого.

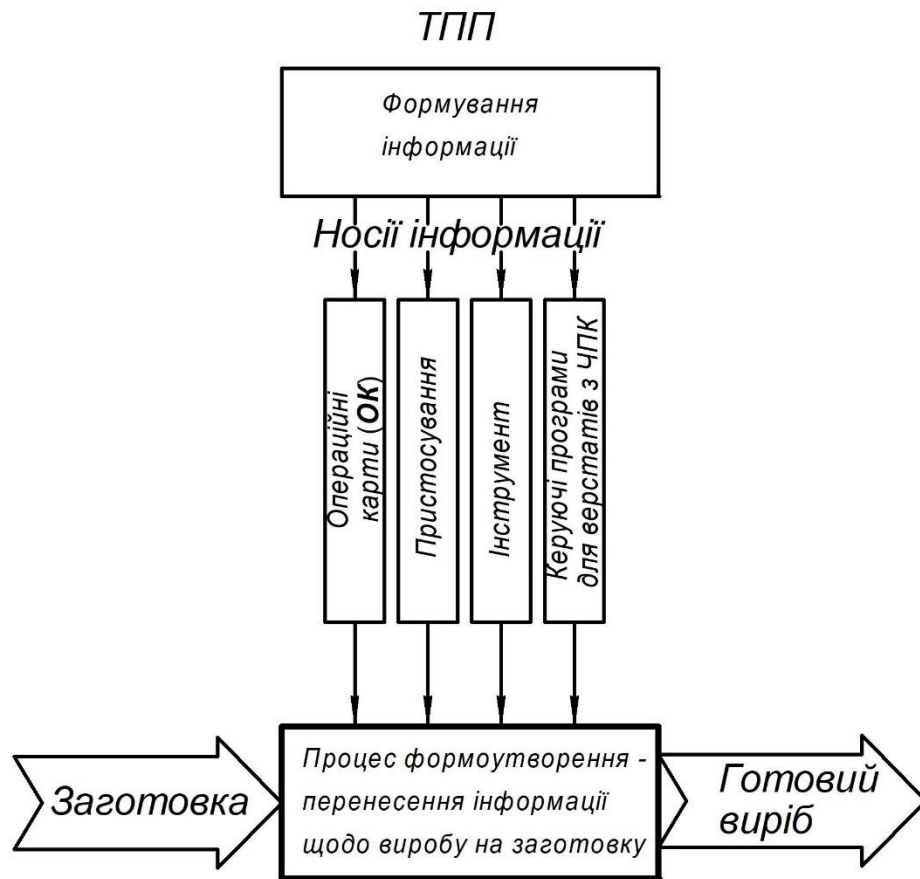


Рисунок 1.2 – Системна модель процесу обробки

З точки зору описаної класифікації різниця між виробничим і технологічним процесами полягає в тому, що перший з них є фізичною реалізацією другого.

Технологічні системи як складні об'єкти визначаються наступними основними характеристиками: багатомірністю, тобто великим числом досить складних складових частин; ієрархічністю будови (в загальному випадку будь-який технологічний процес можна представити сукупністю ряду підсистем, кожна з яких поділяється на ще більш прості підсистеми); багато зв'язністю, що виражається у великій кількості взаємопов'язаних і взаємодіючих між собою підсистем на одному рівні та між різними ієрархічними рівнями системи і з зовнішнім середовищем; багато критеріальністю (для ряду підсистем характерне прийняття рішень на основі декількох критеріїв оптимальності і глобальних критеріїв для досліджуваної системи в цілому); наявністю управління, розгалуженою інформаційною мережею та інтенсивних потоків інформації;

складністю функцій, які виконуються системами, і спрямованими на досягнення заданої мети функціонування.

Технологічний процес механічної обробки може розглядатися як відносно відособлена частина виробничого процесу, пов'язана із іншими його частинами; як функція – це процес якісного і кількісного перетворення об'єктів виробництва зі стану заготовок в стан готових деталей. Як структурна система технологічний процес являє собою сукупність взаємопов'язаних етапів, операцій і переходів. Процеси, що характеризуються вказаними властивостями, можуть розглядатися як системні. Це дає можливість при розробці методів аналізу технологічних процесів використовувати апарат кібернетики і системотехніки.

Труднощі проектування ТП, особливо в умовах САПР, обумовлені головним чином тим, що ці завдання не мають в даний час формальних методів вирішення. Так, вибір маршрутного ТП при його описовому викладі не містить даних про методи проектування процесів виготовлення складних деталей, які могли б бути представлені математичними операціями. Крім того, вибір послідовності дій і засобів для виготовлення деталі не може бути отриманий математичним шляхом на підставі вихідних даних.

Для сучасної технології машинобудування і її використання на практиці характерні:

- відсутність строгих аналітичних залежностей;
- складна логіка суджень,
- складний взаємозв'язок і взаємний вплив окремих завдань;
- велика роль емпірики і наявність прихованих об'єктивних законів;
- наявність величезних інформаційних потоків і великої кількості складових елементів технологій (верстатів, пристосувань, інструментів, режимів обробки і ін.).

Застосування системного аналізу в таких умовах проектування технологічних процесів дозволяє систематизувати всю вихідну інформацію і намітити основні шляхи отримання найбільш раціональних рішень.

Процес «ручного» проектування технології механічної обробки є ряд дій, за допомогою яких інженер-технолог здійснює вибір елементів з розглянутих масивів різних технологічних предметів, встановлює між ними відповідності, формуючи переходи і технологічні операції. Вибір оптимального процесу проводиться шляхом порівняння декількох варіантів процесів при введенні оцінок на елементи, що його складають.

Рішення будь-якої задачі на ЕОМ вимагає наявності аналітичних або інших видів залежностей, що відображають кількісну, а не якісну сторону процесу проектування. Тому для здійснення автоматизації технологічного проектування за допомогою ЕОМ необхідно провести формалізацію технології (або її частини), тобто провести заміну (перетворення) змістовних пропозицій формулами. Цей процес, званий формалізацією, забезпечує можливість створення універсальних алгоритмів і програм щодо початкових і кінцевих умов, тобто щодо форми і розмірів деталі, характеру виробництва, характеристик обладнання та оснащення, тим самим забезпечується ефективне застосування ЕОМ в проектуванні різних ТП для деталей різних класів і будь-якої складності – корпусів, валів, важелів і т. п. Формалізація завдання перетворює процес технологічного проектування з процесу міркувань і побудови аналогій в процес строгого розрахунку. При цьому форма визначення ТП і його складових елементів може бути виражена за допомогою апарату математичної логіки; зміст ТП, що характеризується рядом властивостей об'єктів технології, може бути виражено засобами теорії множин, а якісні відносини – кількісними залежностями за допомогою логічних функцій.

Слід зазначити, що однією з проблем процесу формалізації є те, що існуючі в технології машинобудування емпіричні залежності кількісних відносин виражаються громіздкими таблицями, що мають велике число значень, або формулами, що не враховують різних умов виробництва. Ґрунтуючись на математичному аналізі і статистичному дослідженні, таблиці і емпіричні формули можна замінити математичними виразами, які виключають ці недоліки.

В цьому випадку підвищуються ефективність і точність розрахунку багатьох параметрів і зменшується завантаження пам'яті ЕОМ.

Системи, що відображають технологічні процеси механічної обробки, як зазначалося раніше, відрізняються цілісністю взаємопов'язаних елементів, що входять до неї, визначеністю структури, що допускає багаторівневу побудову елементів, можливістю взаємодії з іншими системами, що робить її, в свою чергу, елементом систем більш високого рівня ієрархії. При дослідженні таких систем доводиться враховувати велику кількість змінних і вибирати з них ті, які мають найбільш сильний вплив.

Системний аналіз дає можливість намітити необхідну послідовність дій по формулюванню загальної проблеми, її рішення і реалізації цього рішення. Рішення будь-якого системного завдання при технологічному проектуванні може бути представлено у вигляді послідовності певних операцій, під якими розуміється сукупність дій, спрямованих на досягнення певної мети.

При вирішенні завдань оптимізації ТП необхідно враховувати ряд принципів, які використовуються при системному підході. Основними з цих принципів є наступні.

1. Система, що складається з оптимальних частин, не є в загальному випадку оптимальною, тому система повинна оптимізуватися в цілому як єдиний об'єкт із заданим цільовим призначенням.

2. Система повинна оптимізуватися за кількісним певним критерієм, що відображає в математичній формі мету оптимізації. Цей критерій, представлений у вигляді функції параметрів, що оптимізуються, і є цільовою функцією.

3. Система оптимізується в умовах кількісно певних обмежень на параметри, що оптимізуються. Це означає, що оптимальність системи завжди відносна, умовна. Досить змінити умови оптимізації, що математично визначаються системою функціональних рівностей і нерівностей, щоб змінити як оптимальний проект системи, так і екстремальну величину досліджуваної функції.

1.2 Особливості побудови структури математичних моделей технологічних процесів

Структура технологічного процесу – це множина його елементів і безліч зв'язків між ними.

Якщо позначити $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – безліч елементів технологічного процесу, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ – безліч зв'язків між елементами, то структуру технологічного процесу можна представити у вигляді $S_{т.п} = \{V, S\}$.

Процес проектування технологічного процесу – це, з одної сторони, просто перелік окремих його етапів (вибір заготовки, визначення маршруту обробки деталі і т. д.), а з іншого – сукупність взаємопов'язаних і взаємообумовлених етапів. Проектування технологічного процесу – складне завдання, загальноприйнятий підхід його рішення – розбиття на прості задачі та їх вирішення у взаємозв'язку одного з одним. «Прості» завдання при проектуванні технологічного процесу – вибір типу заготовки, розрахунок режимів різання і т. д.

Технологічний процес, як об'єкт проектування, можна представити у вигляді ієрархічної структури, що складається з декількох взаємопов'язаних рівнів (рис. 1.3).

У результаті такої декомпозиції процес проектування ТП зводиться до вирішення завдань різного ступеня деталізації на взаємопов'язаних рівнях: від формування складу і структури маршруту обробки до розробки керуючих програм і розрахунку режимів різання для обробки окремих поверхонь.

Процесу проектування на різних рівнях відповідає певний склад і послідовність завдань, основними з яких є задачі аналізу і синтезу.

Аналіз технічних об'єктів передбачає вивчення їх властивостей. При аналізі не створюються нові об'єкти, а досліджуються задані.

Синтез технічних об'єктів спрямований на створення нових варіантів. Оскільки аналіз використовується для оцінки цих варіантів, то синтез і аналіз виступають в процесі проектування в діалектичній єдності.

Поняття «синтез технічного об'єкта» в широкому сенсі слова близьке за змістом до поняття «проектування». Різниця полягає в тому, що проектування означає весь процес розробки об'єкта, а синтез характеризує частину цього процесу, коли створюється якийсь варіант, не обов'язково остаточний, тобто синтез як завдання може виконуватися при проектуванні багато разів, чергуючись з вирішенням завдань аналізу.

Теоретичні і практичні напрацювання в області технології машинобудування стосуються в основному задач аналізу технологічних процесів, з допомогою якого **встановлюється вплив різних технологічних факторів на продуктивність, геометричну точність і якість поверхні при обробці деталей.**

У той же час методи синтезу технологічних процесів на основі інформації щодо оброблюваної деталі і виробничих умов мало вивчені, їх використання в інженерній практиці при розробці технологічних процесів було обмежено.

Процес формування технологічного процесу в загальному випадку – це сукупність процедур структурного та параметричного синтезу з подальшим аналізом проектних рішень.

Структурний синтез реалізується на рівнях формування операцій і переходів, вибору баз, а параметричний — на рівні визначення міжопераційних розмірів, розрахунку режимів різання і т. д. (див. рис. 2.1).

У залежності від ступеня повноти реалізації синтезу (головним чином структурного) і аналізу при автоматизованому проектуванні технологічних процесів можна виділити три основних методи:

- прямого проектування,
- аналізу (адресації, аналога),
- синтезу.

У реальному САПР технологічних процесів може бути реалізований один метод або будь-яка комбінація цих методів.

Метод прямого проектування (метод випадкових аналогій). Даний метод припускає, що підготовка проектних документів (технологічних карт) покладається на самого користувача, що вибирає з бази даних в

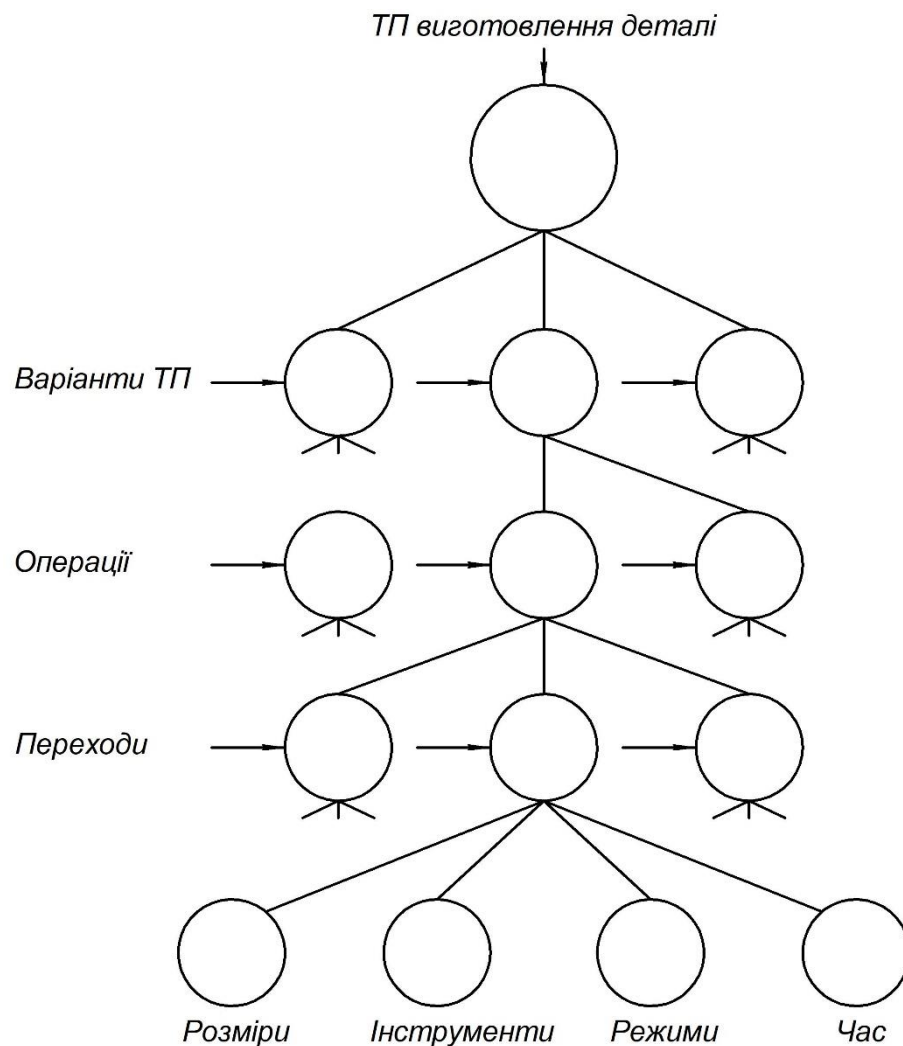


Рисунок 1.3 – Структура ТП як об'єкта проектування

діалоговому режимі типові рішення різного рівня. Тобто цей метод заснований на використанні готових рішень на всіх рівнях проектування за рахунок їх запозичення з існуючих одиничних технологічних процесів. Для реалізації цього методу необхідно мати розвинену інформаційно-пошукову систему (ІПС). Заздалегідь створюється та заповнюється технологічна база даних (БД), що включає в себе інформацію про наявних на підприємстві заготовках, верстатах, пристосуваннях, інструменти і т. д. База даних має структурований характер, тобто чітко поділена на розділи, підрозділи, сторінки, окремі поля (фрази). В БД цієї системи повинні перебувати пошукові зразки деталей та їх технологічні

процеси. Спочатку за допомогою ІПС технологічного призначення знаходять деталі-аналоги. Далі на основі номерів креслеників в БД знаходять технологічні процеси на обрані деталі-аналоги. Технологічний процес на деталь-аналог використовується як вихідний варіант для проектування. Відкоригувавши технологічний процес деталі-аналога стосовно параметрами деталі, можна одержати необхідний робочий технологічний процес. Коригуванню підлягають структура технологічного процесу, параметри ріжучого і вимірювального інструментів, режими різання і т. п. Якість розробленого технологічного процесу залежить від результату пошуку деталі-аналога, тобто від ефективності роботи ІПС технологічного призначення.

Користувачеві на різних рівнях проектування представляються меню для вибору заготовок, операцій, верстатів, пристосувань, переходів, інструментів і т. д. Обрана користувачем з бази даних інформація автоматично заноситься до графі та рядки шаблону технологічної карти. Після цього в режимі редагування інформація при необхідності може редагуватися, а потім роздруковуватися

у формі, передбаченій відповідним стандартом. Зазначений метод проектування доцільно використовувати у випадках, коли відсутні уніфіковані технологічні процеси (УТП) обробки заготовок

Метод аналізу. В даному випадку виходять з того, що структура індивідуального технологічного процесу не створюється заново, а базується на використанні уніфікованих (типових і групових) технологічних процесів. Вона визначається відповідно складом і структурою одного з уніфікованих, тобто відповідного типового або групового, технологічних процесів. Це здійснюється шляхом аналізу необхідності наявності кожної операції та переходу з подальшим уточненням всіх рішень на рівнях декомпозиції «зверху – вниз».

При проектуванні структури одиничних технологічних процесів механічної обробки деталей машин традиційно використовують типові і групові ТП.

Типові ТП застосовуються для деталей, що характеризуються подібністю в конструктивному і технологічному плані. З системної точки зору до числа типових відносяться деталі, що мають однакову структуру, тобто набір і зв'язки

конструкторсько-технологічних елементів (КТЕ) при різних значеннях властивостей цих елементів (розмірів, властивостей матеріалу тощо).

Групові ТП використовуються для деталей, різних в конструктивному відношенні, але подібних в технологічному плані. Такі деталі характеризуються різною структурою КТЕ. На основі вибраної сукупності деталей, що входять у групу, зазвичай розробляють комплексну деталь, що включає всі типи елементів, що зустрічаються у деталей групи. Для такої деталі розробляється комплексний технологічний процес і формується загальне інструментальне налагодження. Робочий ТП для кожної деталі з групи визначається складом її КТЕ і являє собою підмножину комплексного ТП.

Метод аналізу в загальному випадку реалізує наступну схему проектування:

- введення опису кресленика деталі – визначення конструкторсько-технологічного коду деталі;
- пошук по коду в базі даних прийнятного уніфікованого (типового або групового) технологічного процесу;
- аналіз його структури;
- доопрацювання у відповідності з описом кресленика деталі;
- оформлення індивідуального технологічного процесу.

На першому етапі здійснюється адресація (прив'язка) деталі до УТП.

Алгоритм адресації заснований на порівнянні двох об'єктів (адресованого та еталону) за загальними властивостями, складом і структурою. В якості еталону використовується комплексна деталь, на яку вже є УТП.

На підставі такого порівняння робиться висновок про подібність об'єктів і можливості використання УТП.

Після того як УТП обрано, проводиться його аналіз та доопрацювання стосовно до деталі, для обробки якої він був обраний.

При доопрацюванні виключаються окремі (непотрібні для деталі) операції та проводиться аналіз на можливість використання уніфікованих операцій (УО), що залишилися і які при необхідності допрацьовуються.

Доопрацювання полягає в наступному:

- 1) перевіряється можливість використання пристосування за заданою схемою базування;
- 2) проводиться видалення окремих переходів в заданій структурі УО;
- 3) виконується розрахунок режимів різання;
- 4) уточнюються типорозміри ріжучого і вимірювального інструментів.

Недоліком цього методу є необхідність постійного нарощування в базі даних параметрів типової технології.

Використання даного методу на конкретному підприємстві передбачає необхідну підготовчу роботу. З безлічі деталей заводської номенклатури формуються групи, що мають загальні конструкторсько-технологічні ознаки та способи обробки. Далі можливі два підходи.

1. В кожній групі вибирається деталь-представник і для неї розробляється типовий технологічний процес. Всі типові технологічні процеси для всіх груп деталей заносяться до ЕОМ. Спочатку при розробці індивідуального технологічного процесу з типового технологічного процесу, як правило, виключаються зайві операції та переходи. Іноді, що буває набагато рідше, відсутні операції та переходи можуть додаватися в режимі ручного редагування технологічного процесу. Потім уточнюються обладнання, технологічна оснастка, вибираються або розраховуються режими різання, розраховуються норми часу.

2. Для кожної групи формується узагальнена модель всіх деталей – комплексна деталь. Вона включає все різноманіття поверхонь розглянутої групи. Для комплексної деталі розробляється уніфікований (груповий) технологічний процес. Він свідомо є надлишковим, тобто містить операції і переходи з обробки всіх деталей групи. Розробка технологічного процесу, що проєктується полягає в аналізі необхідності включення в нього операцій і переходів з відповідного групового технологічного комплексного процесу. Або, іншими словами, з групового технологічного процесу спочатку виключаються зайві операції і переходи. Потім виконується, як і в першому випадку, так звана

параметричне налаштування: уточнення обладнання і технологічної оснастки, вибір або розрахунок режимів різання і т. д.

Після створення загального (типового або групового) технологічного процесу можна приступати до автоматичного проектування індивідуальних технологічних процесів. Для цього досить створити опис конструкції деталі, для якої необхідно спроектувати технологічний процес обробки.

Опис конструкції деталі можна скласти на вхідній мові САПР ТП або використовувати електронну версію параметричного кресленика деталі, створеного за допомогою системи геометричного моделювання. Опис кресленика деталі полягає в заповненні загальних відомостей щодо деталі (дані штампа кресленика та технічних вимог) і параметрів елементів конструкції (поверхонь), що мають на кресленку. Після опису деталі призначається загальний технологічний процес відповідної їй групи деталей.

Метод аналізу є основним методом проектування технологічних процесів при експлуатації гнучких виробничих систем. Його застосування дає найбільший ефект при використанні на виробництві групових і типових технологічних процесів. Це пояснюється тим, що даний метод не порушує існуючої спеціалізації і традицій виробничих підрозділів, спрощує процес проектування, не вимагає процедур, що важко формалізувати, синтезу нових технологічних процесів.

Метод синтезу. Метод заснований на синтезі маршрутів і операцій, тобто на принципі їх генерації для проектування одиничних технологічних процесів. Різновидами цього методу є: метод, заснований на аналіз розмірних зв'язків деталі, і метод ступеневого синтезу.

Технологічний маршрут на основі аналізу розмірних зв'язків проектується шляхом визначення розмірних зв'язків між елементарними поверхнями деталі, вибору технологічних баз і синтезу схем базування.

Метод східчастого синтезу передбачає поділ технологічного маршруту на таку кількість етапів, при якому на кожному з них структура і параметри процесу виражаються через вихідні дані у вигляді багатьох змінних.

В основі методу синтезу лежать локальні типові рішення. Алгоритми побудови САПР на його основі істотно відрізняються один від одного з наступних причин:

- процедури розробки (синтезу) технологічних процесів відносяться до розряду важко формалізованих;

- ряд САПР ТП, побудованих за методом синтезу, орієнтовані на проектування технологічних процесів виготовлення деталей певного класу (наприклад, «тіл обертання»);

- з метою виключення циклів при розробці технології і забезпечення лінійної стратегії проектування деякі розробники САПР ТП **відійшли від класичної схеми проектування технологічних процесів: маршрут — операція – перехід** і т. д.

Проектування ТП на рівнях формування послідовності етапів, операцій і переходів складається з двох фаз: структурного і параметричного синтезу.

Задача структурного синтезу полягає у формуванні послідовності технологічного процесу на відповідному рівні.

Задача параметричного синтезу – формування властивостей елементів кожного рівня, що включені в технологічний процес.

Основними операціями параметричного синтезу є вибір засобів технологічного оснащення (верстатів, пристосувань, інструменту) і нормування, що включає розрахунок режимів обробки.

Джерело інформації і ступінь інваріантності знань структурного синтезу визначаються ієрархічним рівнем розв'язуваної проблеми:

- проектування маршруту виготовлення деталі (набору етапів і операцій),
- проектування операційної технології (набору переходів обробки КТЕ).

Необхідно відзначити, що знання для структурного синтезу істотно залежать від організаційно-технічної структури підприємства і його традицій. Вони індивідуальні для кожного підприємства. Знання ж для параметричного синтезу запозичуються з довідників, методичних посібників і нормативних

матеріалів. Знання цього рівня щодо інваріантні і можуть з мінімальними змінами використовуватися на різних підприємствах.

Одним з найважливіших показників рівня САПР ТП є простота і зручність подання знань для структурного та параметричного синтезу.

На рис. 1.4 показані схеми моделей різних видів представлення знань для структурного синтезу технологічних процесів.

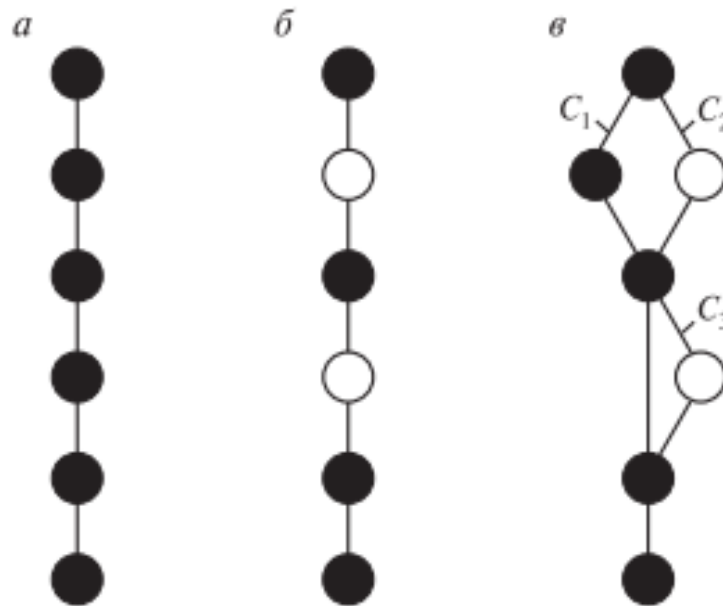


Рисунок 1.4 – Схеми моделей подання знань для структурного синтезу технологічних процесів:

а - типова модель; *б* - групова модель; *в* - метамодель

Типова модель має фіксовану структуру. Структура робочого процесу в груповій моделі формується шляхом видалення зайвих технологічних дій (операцій або переходів). Найбільш загальною є метамодель, що представляє собою ТА/АБО-граф. У місцях розгалужень на цій графі проставляються умови C_1 , C_2 , C_3 , що визначають вибір одного з можливих рішень.

Якщо групова модель будується на базі комплексної деталі, то метамодель ґрунтується на віртуальній деталі. На відміну від комплексної, віртуальна деталь може не мати фізичної реалізації. Це відбувається в тих випадках, коли віртуальна деталь містить на одній і тій же поверхні взаємовиключні елементи,

наприклад, додаткові елементи, що пов'язані зі шпонковим або шліцьовим з'єднанням на одному і тому ж основному елементі (циліндричній шийці валу).

Метамоделі інтегрує в собі типову і групову моделі. На відміну від групової моделі, для формування структури ТП вона використовує операції не тільки видалення, але й заміни.

Найпростіший спосіб введення таких знань полягає у зображенні на екрані І/АБО-графа з проставлянням у відповідних місцях на його ребрах умов вибору рішень. Сам граф в цілому також має умови свого застосування. На основі такої інформації автоматично генеруються програмні засоби, бази знань, які потім використовуються при проектуванні ТП. Для прийнятого набору КТЕ з використанням нормативних загальномашинобудівних матеріалів розробляють базу знань для структурного синтезу технологічних процесів механічної обробки.

Найпростішим способом представлення знань для параметричного та структурного синтезу є використання продукційних систем штучного інтелекту. У таких системах знання представляються у вигляді правил-продукції, які є аналогами умовних речень природної мови:

ЯКЩО < умова >, ТО < дія >.

Такі правила будуються на базі словника, що містить терміни технічної мови та їх умовні позначення (ідентифікатори). Виконувані при цьому дії використовують: розрахунки за формулами;

- вибір даних з багато вхідних таблиць, які можуть містити як константи, так і формули;
- вибір інформації з баз даних;
- генерацію графічних зображень і т.д.

Наприклад, при розрахунку режимів різання проводиться дві дії:

перша - розрахунок за формулою,

друга - вибір коефіцієнтів, необхідних для розрахунку за цією формулою.

Умовою застосування обох дій (правил) є значення «Свердли» у змінній «Вид переходу».

Проектування нового технологічного процесу з використанням САПР ТП займає лічені хвилини. Технологу за допомогою простого інтерфейсу необхідно описати деталь, а потім спостерігати за генерацією структури технологічного процесу, відповідаючи на запити комп'ютера щодо вибору з допустимого набору рішень, які неможливо формалізувати. На закінчення проводиться автоматична генерація технологічної документації з використанням форм документів, прийнятих на підприємстві. При цьому якість запроєктованого ТП практично не залежить від кваліфікації технолога і визначається вмістом баз знань.

Таким чином, метод синтезу в САПР технологічних процесів реалізує наступні основні етапи послідовності проектування:

- 1) введення опису кресленника деталі;
- 2) синтез маршрутів (планів) для обробки всіх поверхонь деталі;
- 3) синтез принципової схеми технологічного процесу;
- 4) синтез маршруту обробки деталі;
- 5) синтез складу і структури операцій технологічного процесу;
- 6) доробка технологічного процесу (розрахунок режимів різання, нормування);
- 7) оформлення документації.

Оптимальна структура технологічного процесу визначається диференційованим пошуком на кожному етапі, як проста функція невеликого числа змінних. Проектування в даному випадку є багатокроковим і розвивається від етапу до етапу.

Розробка операційної технології при синтезі технологічних процесів заснована на аналізі структури зв'язків у заготовці і у готовій деталі та на синтезі структури операції.

Перевага методу синтезу – його універсальність, що дозволяє розробляти технологічні процеси для різних класів деталей. Однак складність синтезу

маршруту і операцій викликає великі труднощі при розробці відповідних алгоритмів та програм.

Склад САПР ТП. Матеріальною основою будь САПР є програмно-технічний комплекс (ПТК), що складається з комплексу технічних засобів (КТЗ) і програмно-методичного комплексу (ПМК). Під ПМК розуміють програмні засоби САПР, бази даних і документацію щодо експлуатації системи.

Основними структурними і функціональними складовими САПР ТП є підсистеми (рис. 2.3). Підсистема – це самостійний програмний комплекс, що вирішує деяку певну завдання і функціонує самостійно. У кожній підсистемі вирішується функціонально закінчена послідовність завдань-



Рисунок 1.5 – Типовий склад САПР ТП

Розрізняють два види підсистем [37, 44]:

- загального призначення (обслуговуючі);
- спеціального призначення (проєктуючі).

Підсистеми загального призначення забезпечують функціонування проєктуючих підсистем (наприклад, підсистема формування текстових документів, інформаційно-пошукова система тощо).

Обслуговуючі підсистеми в більшості випадків є інваріантними до багатьох видів об'єктів проектування, так як призначені для виконання уніфікованих процедур і операцій (наприклад, зберігання і пошук інформації, обробка графічної інформації, формування проектної документації).

Підсистеми загального призначення здійснюють специфічні функції машинного рішення задач. До них відносяться:

- інформаційно-пошукові (ІПС), яка призначена для зберігання і пошуку умовно-постійної інформації САПР;
- підсистема кодування, контролю і перетворення інформації;
- підсистема формування вихідних даних;
- підсистема оформлення та тиражування технічної документації.

Підсистеми спеціального призначення здійснюють функції техноло-гічного проектування. До них відносять підсистеми, які виконують процедури і операції проектування окремих частин об'єкта (пристосування, інструмента, технологічного процесу), а також підсистеми, які здійснюють виконання певної стадії проектування об'єкту (наприклад, підсистеми виконання ескізного проекту, комплексу розрахункових робіт тощо). Проектуючі підсистеми найчастіше є об'єктно-орієнтованими, тобто зміст і порядок виконання проектних процедур характерні тільки для даного виду проектованих об'єктів.

Склад підсистем спеціального призначення визначається специфікою підприємства і, як правило, включає:

- підсистему проектування типових технологічних процесів;
- підсистему проектування технологічної оснастки;
- підсистему проектування інструменту;
- підсистему підготовки УП для верстатів з ЧПУ.

Таким чином, підсистеми загального призначення забезпечують спільне функціонування підсистем спеціального призначення.

1.2 Системний підхід при проектуванні технологічних процесів

На відміну від традиційних методів формалізації системний підхід заснований на тому, що складні об'єкти та їх складові елементи, а також властивості цих елементів розглядаються як система, що враховує їх взаємозв'язок і розвиток.

Системний підхід при проектуванні ТП передбачає використання наступних основних принципів:

- технологічний процес розглядається, з одного боку, як простий перелік окремих його елементів (операцій, переходів і т.д.), а з іншого - як сукупність взаємопов'язаних і взаємообумовлених елементів;
- процес проектування ТП представляється, з одного боку, як простий перелік окремих його етапів (вибір заготовки, визначення маршруту обробки деталі і т.д.), а з іншого - як сукупність взаємопов'язаних і взаємообумовлених етапів;
- процес проектування розбивається на раціональні частини (вибір типу заготовки, розрахунок режимів різання і т.д.);
- прийняття оптимальних рішень;
- раціональне поєднання традиційних (іноді «ручних») методів проектування і досягнень інших сучасних системних наук, орієнтованих на використання ЕОМ.

Використання принципів системного підходу при проектуванні дозволяє систематизувати знання в будь-якій області. В якості прикладу на рис. 2.4 наведені варіанти отриманого результату при систематизації знань (кружечками позначені об'єкти, а прямими лініями – зв'язок між ними). Ці приклади показують, чим відрізняється подання знань без використання принципів системного проектування і з їх використанням.

При проектуванні технологічних процесів особливо важливо правильно вибрати стратегію, яка в подальшому визначає методику автоматизованого проектування і ефективність використання для цих цілей САПР.

Нижче наведені деякі з можливих стратегій проектування технологічних процесів.

Лінійна стратегія проектування (рис. 1.6, *а*) є найбільш оптимальною, тому що забезпечує мінімальну трудомісткість і максимальну надійність.

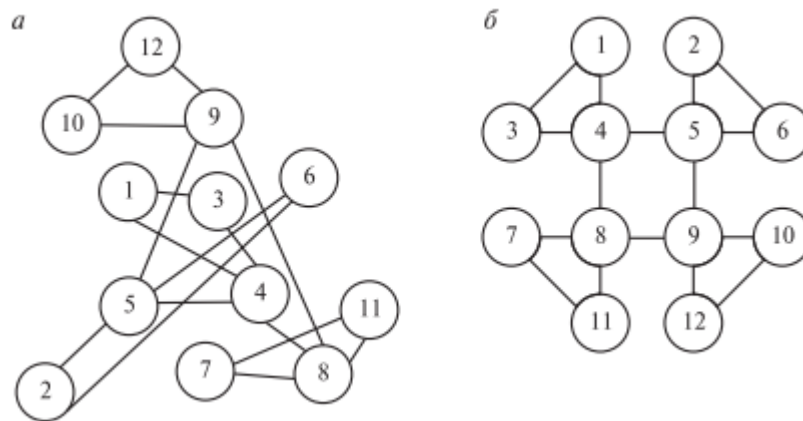


Рисунок 1.6. – Варіанти представлення знань при їх систематизації:

а - без використання принципів системного проектування;

б - з використанням принципів системного проектування

Циклічна стратегія (схема з петлями) (рис. 1.6, *б*) характерна для багатьох комп'ютерних програм. Вона називається ітераційним методом, тобто це процес послідовного наближення до мети шляхом вдосконалення розроблюваних варіантів.

Наявність паралельних етапів в розгалуженій стратегії проектування дуже вигідно, тому що дозволяє зменшити терміни проектування.

В адаптивних стратегіях проектування перша дія визначається тільки на першому етапі. Надалі вибір кожного наступного дії залежить від результатів виконання попереднього. Це сама раціональна стратегія, так як проектування проводиться з використанням найбільш повної інформації. Вона застосовується при створенні систем штучного інтелекту.

Стратегія випадкового пошуку відрізняється абсолютною відсутністю плану. Вона використовується в новаторському проектуванні, наприклад при розробці технологічних процесів за новими видами обробки.

Як видно стратегія проектування може деталізувати при переході від одного рівня проектування до іншого.

На певних етапах проектування доцільно вводити методи управління стратегією. При цьому необхідно домагатися максимальної лінеаризації процесу проектування з включенням паралельних етапів і намагатися виключити циклічність, особливо на верхніх рівнях проектування. Однак недостатність інформації не завжди дозволяє реалізувати лінійну стратегію проектування, тому доцільно процес проектування розбивати на окремі задачі. Результат виконання кожного завдання оформляється у вигляді технічного завдання, яке дає інформацію про наступні плани (стратегії) її подальшого вирішення.

Таким чином, процес проектування технологічних об'єктів представ-ляється у вигляді декількох рівнів або етапів. На кожному рівні проектування вихідними даними є технічне завдання (ТЗ) і набір елементів та їх параметрів, що характеризують розглянутий рівень. В результаті проектування розроблюється технічна документація, що описує окремі сторони об'єкта, і ТЗ для продовження проектування на наступних рівнях.

Системний підхід включає комплекс методів, що дозволяють аналізувати складні об'єкти як ціле, розглядати багато альтернативи (варіанти), кожна з яких описується великим числом змінних, і забезпечувати повноту кожної альтернативи. Система може розглядатися як сукупність взаємопов'язаних елементів, що мають певну структуру і допускають їх ієрархію. При цьому елементи системи можуть мати по відношенню до неї властивостями підсистем. Інакше кажучи, кожна система складається з підсистем і в той же час сама є підсистемою деякої системи вищого ієрархічного рівня. Системний аналіз як методологія рішення проблем дає можливість намітити необхідну послідовність взаємопов'язаних операцій, що складається з формування проблеми, розробки (конструювання) методів її рішення і реалізації. Рішення включає оцінку і відбір альтернатив по заздалегідь обраними критеріями. Системний аналіз можна представити у вигляді каркаса, що об'єднує всі необхідні методи, знання і дії для вирішення проблеми.

Таким чином, технологічну підготовку виробництва, з одного боку (сторони структури), можна уявити як сукупність взаємопов'язаних етапів, операцій і переходів, а з іншого (з боку функції) – як частину виробничого процесу, пов'язану з кількісним та якісним перетворенням об'єктів виробництва зі стану заготовок C_3 в стан готових виробів C_i . В цьому визначенні виділяються дві системні характеристики: цілісність процесу і його функція. Процеси, що характеризуються вказаними властивостями, можуть розглядатися як системні. Це дає можливість при розробці методів аналізу і синтезу технологічних процесів спиратися на апарат кібернетики та теорії систем.

Реалізація технологічних процесів призводить до зміни якісних і кількісних характеристик об'єктів виробництва. В результаті функція технологічного процесу може бути описана як $C_3 \rightarrow C_i$. Відповідно до поділу технологічного процесу на операції загальна функція розчленовується на ряд операційних функцій ϕ_j . Функція кожної ϕ_j -операції характеризує проміжну зміну якісного стану заготовки $C_{j-1} \rightarrow C_j$.

Стан заготовки C_j характеризується формою, операційними розмірами, їх точністю, шорсткістю і фізико-механічними властивостями поверхонь, отриманих в результаті виконання j -ї операції.

Для дискретних об'єктів, якими в технології машинобудування є маршрутний технологічний процес і структура операції, задача синтезу полягає у визначенні структури. Для безперервних об'єктів, яким є процес різання, рішення задачі синтезу повинно призводити до визначення структури і чисельних значень внутрішніх параметрів проєктованого об'єкту (наприклад, режимів різання).

Якщо серед варіантів структури необхідно знайти не будь-який прийнятний варіант, а найкращий в деякому сенсі, то таке завдання синтезу називають **структурною оптимізацією**.

Розрахунок внутрішніх параметрів, оптимальних з позицій деякого критерію при заданій структурі об'єкта, називається **параметричною оптимізацією**.

Обґрунтуванням мети і оцінка ефективності виконання технологічної операції або її окремих елементів, наприклад режимів різання, є важливим питанням при розробці оптимальних технологічних процесів. Під метою при проектуванні і виконанні технологічної операції зазвичай розуміється забезпечення заданих характеристик якості виробів найбільш продуктивним шляхом при мінімальних витратах.

В цьому випадку оптимальність операції можна визначити як міру її відповідності поставленій меті: чим ефективніше операція, тим вона продуктивніше і економічніше. У завданнях, які зустрічаються в умовах оптимізації технологічних процесів, використовуються різні види критеріїв оптимальності, але найбільш часто застосовують критерії «максимальна продуктивність» та «мінімальна собівартість».

Для системного аналізу технологічних процесів в машинобудуванні необхідно встановити:

- номенклатуру систем;
- склад параметрів і змінних системи кожного типу;
- типаж міжсистемних зв'язків і їх властивості.

Технологічні процеси представляють собою клас технічних систем, відмітною особливістю яких є суттєва залежність від часу.

У технології машинобудування запропонована наступна ієрархічна класифікація елементів технологічних процесів:

- крок → найпростіший елемент етапу проектування; наприклад, в керуючій програмі для верстата з ЧПК кодується одним кадром і визначається рух по заданій траєкторії (пряма, коло і т.п.) при незмінних режимах обробки;

- хід → найпростіший елемент ТП і складовий елемент УП, який кодується одним словом і виконується при незмінних режимах обробки уздовж оброблюваної поверхні;

- прохід → елемент ТП, що складається з одного або декількох ходів і представляє собою одноразовий рух інструмента щодо оброблюваного об'єкта, в

результаті якого з поверхні або поєднання поверхонь знімається один шар матеріалу;

- перехід → елемент ТП, що складається з одного або декількох проходів і представляє собою закінчений процес отримання кожної нової поверхні або поєднання поверхонь виробу при обробці одним інструментом;

- позиція → частина ТП, що характеризує обробку одного або декількох конструкторських елементів оброблюваного об'єкта; виконується при певному розташуванні його в пристосуванні і пристосування щодо обладнання на початку і кінці обробки;

- установ → частина ТП обробки виробу на одному робочому місці при незмінному розташуванні його в пристосуванні;

- операція → закінчена частина ТП виготовлення виробу, яка виконується на одному робочому місці;

- маршрут обробки → сукупність етапів, що складаються з однорідних за характером і точності операцій обробки, що виконуються безпосередньо один за одним в технологічній послідовності;

- план обробки → сукупність етапів обробки, що представляє закінчений технологічний процес виготовлення виробу.

У наведеній класифікації елементів технологічних процесів одночасно описано їх службове призначення.

Побудована ієрархія визначає базову номенклатуру систем, використовуваних при проектуванні технологічних процесів елементів технологічних процесів

Повний набір етапів, з яких складається первинний план обробки, належить від конкретних умов, однак при цьому можна виділити наступні базові сукупності:

- термічна перша (поліпшення, старіння) - для поліпшення оброблюваності матеріалу і зняття внутрішніх напружень заготовки;

- обробка баз - для формування технологічних баз з використанням попередніх чорнових баз;
- чорнова - для знімання зайвих припусків і дозволяє отримати 14 квалітет точності розмірів деталі;
- напівчистова - для розмірної обробки з квалітетом точності 11 ... 12;
- термічна друга (гарт або поліпшення);
- чистова - для розмірної обробки з квалітетом точності 9 ... 11;
- термічна третя - для азотування або старіння;
- обробна - для розмірної обробки з квалітетом точності 6 ... 8;
- нанесення покриттів - для нанесення зміцнюючих і захисних покриттів;
- доводочна - для отримання поверхонь з шорсткістю $R_a < 0,63$ мкм.

Системна єдність САПР ТП забезпечується наявністю комплексу взаємопов'язаних моделей, що визначають об'єкт проектування в цілому, а також комплексом системних інтерфейсів, що забезпечують зазначений взаємозв'язок.

Усередині запроєктованих підсистем системна єдність забезпечується наявністю єдиної інформаційної моделі тієї частини об'єкта, проектне рішення по якій повинно бути отримано в даній підсистемі.

Формування та використання моделей об'єкта проектування в прикладних задачах здійснюється комплексом засобів автоматизованого проектування, структурними частинами якого є програмно-методичні та програмно-технічні комплекси, а також компоненти організаційного забезпечення.

Комплекси засобів можуть об'єднувати свої обчислювальні й інформаційні ресурси, утворюючи локальні обчислювальні мережі підсистем або систем в цілому.

Структурними частинами комплексів засобів є компоненти наступних видів забезпечення: програмного, інформаційного, методичного, математичного, лінгвістичного і технічного.

Компоненти видів забезпечення виконують в комплексах засобів задану функцію і представляють найменший (неподільний) самостійно розроблюваний (або запозичений) елемент САПР (Наприклад, програма, інструкція).

Ефективне функціонування комплексів засобів і взаємодія структурних частин САПР ТП всіх рівнів має досягатися за рахунок орієнтації на стандартні інтерфейси і протоколи зв'язку, що забезпечують програмну сумісність, типізацію та можливість розвитку.

Принцип сумісності повинен забезпечувати спільне функціонування складових частин САПР ТП і зберігати відкриту систему в цілому.

Принцип типізації полягає в орієнтації на переважне створення і використання типових і уніфікованих елементів САПР ТП. Типізації підлягають елементи, що мають перспективу багаторазового застосування. Типові та уніфіковані елементи періодично проходять експертизу на відповідність сучасним вимогам САПР ТП і в міру необхідності їх модифікують.

Створення САПР ТП з урахуванням принципу типізації повинне передбачати:

- розробку базового варіанту комплексу засобів і (або) його компонентів;
- створення модифікацій комплексів засобів і (або) їх компонентів на основі базового варіанту.

Принцип розвитку повинен забезпечувати поповнення, вдосконалення та оновлення складових частин САПР, а також взаємодію і розширення взаємозв'язку з автоматизованими системами різного рівня і функціонального призначення.

Методичною основою реалізації зазначених принципів в САПР ТП є технологічна уніфікація.

Технологічна уніфікація є одним з основних напрямків вдосконалення ТПП, що дозволяють скоротити терміни технологічної підготовки виробництва.

У технологічній уніфікації розрізняють два методи:

- типізацію технологічних операцій і процесів;

– метод групової обробки виробів.

Під *типізацією* розуміють створення процесів обробки груп конструкторсько і технологічно подібних деталей. Для їх виготовлення вибирають оптимальні маршрути, обладнання, засоби технологічного оснащення і форми організації виробництва. Методика типізації технологічних процесів створена А.П. Соколовським [39]. Вона базується на класифікації процесів, заснованої на класифікації деталей. В якості класифікаційних ознак приймаються конфігурація деталі, її розміри, матеріал, точність і якість оброблюваних поверхонь. Основою класифікаційного поділу є клас. Клас являє собою сукупність деталей певної конфігурації, пов'язаних спільністю технологічних задач.

Для обробки однотипних деталей розробляють типові технологічні процеси. Типовим технологічним процесом називається процес, що характеризується одноманітністю змісту і послідовності виконання більшості технологічних операцій та переходів для груп виробів із загальними конструктивними ознаками.

При методі груповий обробки для груп однорідних з тими чи іншими конструкторсько -технологічним ознаками деталей встановлюються однотипні способи обробки з використанням однорідних і швидко налаштовуваних засобів технологічного оснащення.

Характерною особливістю даного методу є наявність групових операцій, які проектується таким чином, щоб з одного налагодження на верстаті можна було проводити обробку заготовок всіх деталей, що входять в дану групу. Метод групової обробки був запропонований С.П. Мітрофановим.

Принципова відмінність цих двох методів полягає в тому,

що *типові* процеси характеризуються спільністю послідовності і *змісту операцій* при обробці типової групи деталей,

а *групова* обробка – спільністю *обладнання і технологічного оснащення* при виконанні окремих операцій або при повному виготовленні групи різнорідних деталей.

Обидва методи засновані на уніфікації конструктивних і технологічних елементів, яка виконується на різних рівнях проектування:

- на рівні технологічного переходу;
- на рівні технологічної операції;
- на рівні технологічного процесу.

На рівні технологічного переходу розробляються уніфіковані технологічні переходи. Об'єктом уніфікації в цьому випадку є:

- конфігурація конкретної геометричної поверхні;
- формулювання переходу;
- вид застосовуваного інструмента.

Для типового поєднання елементарних поверхонь уніфікується схема обробки, яка утворюється як сукупність уніфікованих переходів. Наприклад, обробка наскрізного отвору під кріпильний гвинт (рис. 2.11) складається з двох уніфікованих переходів: «Свердлити отвір *A*»; «Зенкерувати отвір *B*, витримуючи розмір *h*».

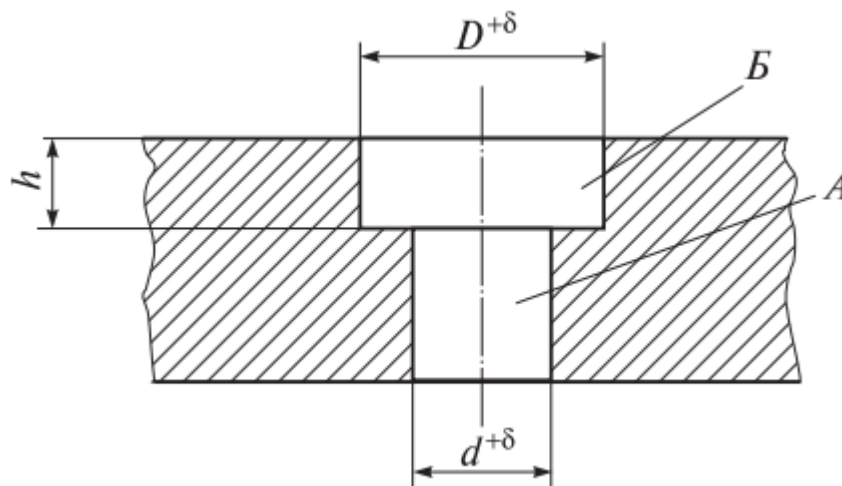


Рисунок 2.11 – Варіант типового поєднання елементарних поверхонь

Паралельно з уніфікацією переходів розробляють класифікатори переходів, ріжучих інструментів і елементарних поверхонь, складають словник текстів з формулюваннями переходів. Уніфікований перехід містить, крім зазначеної

вище інформації, правила вибору переходів, відповідні коди інструменту, коди поверхонь і текстів.

Уніфікація на рівні технологічної операції призводить до створення типових і групових технологічних операцій. Об'єктом уніфікації є: вид і характер обробки деякої, заздалегідь встановленої сукупності поверхонь; технологічне обладнання; схеми базування; вид пристосувань.

Уніфікація на рівні технологічного процесу призводить до створення типових і групових технологічних процесів.

Принципи групової технології базуються на технологічній спільності деталей, що дозволяє використовувати одне і теж обладнання, полегшує планування і організацію виробництва. Методи типової і групової технології дозволяють звести до мінімуму індивідуальні технологічні розробки, застосовувати найбільш досконалі методи обробки і забезпечувати при цьому найвищу продуктивність, економічність і якість.

Типові ТП знаходять застосування головним чином у велико серійному і масовому виробництвах. Принцип *групової* технології лежить в основі переналагоджуваної технології в *дрібно- та середньо серійному виробництвах*. На відміну від типізації ТП при груповій технології загальною ознакою об'єднання деталей у групи є спільність оброблюваних поверхонь і їх поєднань, тобто спільність обладнання, необхідного для обробки деталі або окремих її поверхонь. Тому групові методи обробки характерні для обробки деталей широкої номенклатури. Типізація ТП і метод групової технології є основними напрямками уніфікації технологічних рішень, що підвищує ефективність виробництва.

1.3 Вихідна інформація для проектування технологічних процесів

Основним і найбільш відповідальним етапом технологічної підготовки виробництва є проектування технологічних процесів з оформленням комплексу необхідної технологічної документації. Цей етап охоплює основне коло питань технологічної підготовки виробництва і вирішальним чином впливає на терміни підготовки та освоєння нових виробів, забезпечення їх якості. У процесі автоматизованого проектування технологічних процесів переробляються великі обсяги інформації. Ефективність процесу проектування багато в чому залежить від раціонального подання вихідної інформації, і в першу чергу з точки зору її повноти і надмірності. Вихідна інформація ділиться на базову, керівну, довідкову.

Базова інформація для проектування технологічних процесів включає:

- дані, що містяться в конструкторській документації на виріб;
- програму випуску, що визначає тип виробництва;
- відомості про наявні засоби технологічного оснащення, виробничих площах і т.п

Керівна інформація включає дані, що містяться в наступних видах джерел:

- стандартах ЕСТПВ, відповідних галузевих стандартах і стандартах підприємства на технологічні процеси, методи управління ними, засоби технологічного оснащення (обладнання, пристосування та ін.);
- документації на діючі одиничні, типові, групові і перспективні технологічні процеси;
- керівних матеріалах щодо вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів та ін.);
- документації по техніці безпеки і промислової санітарії і виробничих інструкціях.

Довідкова інформація включає дані, що містяться в наступних документах:

- описах прогресивних методів виготовлення і ремонту виробів;
- каталогах, паспортах, номенклатурних довідниках, альбомах прогресивних засобів технологічного оснащення;

- довідниках технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів та ін.);
- прогнозах науково-технічного прогресу і планах підвищення технічного рівня виробництва;
- методичних матеріалах за розрахунками точності і управління технологічними процесами;
- методичних матеріалах результатів наукових досліджень;
- матеріалах і трудових нормативах (включно у машинобудівних і галузевих нормативах часу для нормування технологічної трудомісткості, тарифно-кваліфікаційних довідниках і т.п.)

1.4 Методика опису виробів у САПР ТП

Для створення інтегрованих конструкторсько-технологічних систем потрібна відповідна методика опису деталей і складальних одиниць. Однак у багатьох з існуючих конструкторських САПР моделі виробів є геометричними, в той час як для автоматизації проектування технологічних процесів необхідні моделі концептуальні, відповідні прийнятої розробником концепції побудови САПР.

Геометрична модель дозволяє розраховувати траєкторії інструментів при обробці деталей на верстатах з ЧПК і тому здатна забезпечити основу для побудови систем класу CAD / CAM. Однак на верстатах з ЧПК обробляються далеко не всі деталі; та й для тих деталей, які підлягають такій обробці, вона становить лише частину маршрутного технологічного процесу.

Концептуальна модель деталі може ґрунтуватися на понятті конструкторсько-технологічного елемента (КТЕ). Такий елемент є конструкторським в тому плані, що він виконує певну функцію в конструкції деталі (див. рис. 2.11). Наприклад, забезпечує базування деталі в складальній одиниці (це циліндричні і конічні поверхні, шпонкові пази і т.п.) або з'єднує деталь в складальному вузлі (нарізь, зубчасті вінці і т.п.). Разом з тим, КТЕ має

один або кілька технологічних маршрутів його виготовлення, сформованих з набору переходів.

КТЕ характеризуються ієрархічною структурою, що складається з рівнів елементів: комплексних, основних і додаткових. У число комплексних елементів входять вісісиметричні, призматичні елементи і отвори. Такий набір визначається основними видами операцій механічної обробки деталей: токарною, фрезерною і свердлильно-розточною. Оскільки додаткові елементи (виточки, пази, канавки, фаски і т.п.) розташовуються на основних (формотворчих) поверхнях, то до їх обробки можна приступити тільки після попереднього формування основних елементів.

Кожен КТЕ є об'єктом зі своїм набором властивостей.

Є можливість успадкування властивостей від старшого об'єкта до молодшого (наприклад, шорсткість «решти» від деталі до її елементів).

1.5 Послідовність комп'ютерного проектування технологічних процесів

Проектування технологічного процесу пов'язане з неоднозначністю інформації і багатоваріантністю технологічних рішень. Автоматизація рішення такої багатокритеріальної інженерної задачі вимагає певних досліджень, які забезпечують прийняття рішення на основі досвіду та інтуїції інженера-технолога. Для цього необхідний обґрунтований алгоритм формування повної інформації з використанням певної мінімальної кількості знань на всіх етапах проектування.

Для вирішення завдань технологічного проектування необхідна вихідна інформація - конструкторська документація на виріб, що включає робочий кресленик деталі, технічні вимоги, параметри якості оброблених поверхонь і деталі в цілому.

До параметрів якості відносять макро- і мікрогеометрію, стан поверхневого шару. Особливе значення має точність виготовлення деталі, яка характеризує близькість розмірів до номінального (призначеного) значення.

Кількісною мірою точності служить відхилення. Підвищення точності заготовки зменшує величину припусків на обробку і призводить до економії матеріалу.

Похибки обробки підрозділяються:

- на відхилення розмірів;
- відхилення розташування поверхонь;
- відхилення форми;
- хвилястість поверхні;
- шорсткість поверхні.

До параметрів якості можуть бути віднесені також декоративні властивості поверхонь деталей, особливі властивості, пов'язані з вимогами при експлуатації (наприклад, вимоги гарантованої величини дисбалансу і умов утилізації, вимоги до стану необроблюваних поверхонь).

Розглянемо докладніше послідовність етапів проектування

технологічних процесів. Кожен із кроків проектування являє собою процедуру процесу проектування. При цьому необхідно мати на увазі, що САПР - це людино-машинна система.

У кожній конкретній САПР (а їх понад 20; див табл. 1.2) автоматизований той чи інший етап (крок), і прийняття рішення здійснює

або користувач, або комп'ютер. Тому описані нижче етапи

проектування технологічних процесів відображають загальну послідовність без вказівки методів їх автоматизації.

Етап 1 - аналіз вихідних даних для розробки технологічного процесу. Основні документи, необхідні для вирішення завдання на цьому етапі:

- відомості щодо програми випуску виробу;
- конструкторська документація на виріб;
- архів виробничо-технічної документації.

Крок 1.1. Аналіз умов роботи деталі в складальному вузлі, виявлення конструкторських баз, оцінка вимог до робочих поверхонь.

Крок 1.2 Оцінка технологічності конструкції (технологічна відпрацювання креслення деталі):

- порівняння з аналогічними деталями, прийнятими в якості базових по трудо- і матеріаломісткості, уніфікації конструктивних елементів, вимогам до точності виготовлення;
- виявлення можливих труднощів при забезпеченні параметрів шорсткості поверхні, розмірів, форм і розташування поверхонь;
- ув'язка з можливостями методів фінішної обробки, можливостями обладнання та метрологічних засобів;
- аналіз конфігурації і розмірних співвідношень деталі;
- встановлення обґрунтованості вимог точності;
- виявлення можливих змін, які не впливають на параметри якості деталі, але полегшують виготовлення і дозволяють застосовувати високопродуктивні технологічні методи і режими обробки;
- перевірка дотримання вимог до створення конструкції деталі, що підвищують її технологічність: розміри елементарних поверхонь деталей (ширина канавок і пазів, нарізи, фасок і т.п.), які повинні бути уніфіковані, за винятком особливих випадків, наприклад, при занадто близькому розташуванні осей отворів деталі, неможливості наскрізного проходу інструменту;
- аналіз спеціальних технічних вимог (балансування, підгонки по масі, термічної обробка, нанесення покриття і т.п.), а також умов їх виконання в ТП і методів контролю;
- затвердження змін до робочого кресленика і технічних вимог на виготовлення.

Крок 1.3 Визначення типу (масове, серійне, одиничне) і організаційної форми виробництва: для потокового виробництва – розрахунок такту випуску, для непотокового – визначення ритмічності випуску виробів і обсягу партії запуску у виробництво.

Крок 1.4 Оцінка (визначення ступеня) детальності опрацювання ТП:

- рівень синтезу допустимих варіантів принципової схеми ТП;
- рівень маршрутної технології;
- рівень операційної технології;
- рівень синтезу складу переходів (може, в принципі, не виділятися в окремий рівень, а проводитися на операційному рівні);
- рівень синтезу траєкторії інструменту і команд управління верстатами.

Крок 1.5. Складання переліку додаткової інформації, необхідної для більш докладної розробки технологічного процесу.

Примітка. Всі розрахунки на етапі 1 в зв'язку з неглибокою детальністю опрацювання ТП виробляються по наближеним залежностям через недостатність інформації для точних розрахунків.

Приклад формалізації робіт для автоматизації технологічного аналізу конструкторської документації, зокрема розмірних співвідношень деталі наведено далі.

Етап 2 - проектування принципової схеми обробки деталі (попереднє структурування ТП). Мета цього етапу – провести перше структурування ТП за рівнями точності обробки, виділити однорідні види обробки і визначити відповідні їм маршрути деталей.

Основні документи, необхідні для вирішення завдання на даному етапі:

- конструкторська документація на виріб;
- технологічний класифікатор виробів;
- документація на типові, групові і поодинокі технологічні процеси

для даної групи виробів.

Постановка завдання - спроектувати і (або) вибрати один або обмежене число найбільш раціональних варіантів принципової схеми обробки деталі, які відповідають вимогам робочого кресленика і заданим технічним обмеженням.

На даному етапі проводиться пошук чинного на підприємстві типового, групового або аналогічного одиничного ТП, а в разі прийняття рішення про необхідність розробки нового ТП формулюються основні принципи його побудови.

Вихідними даними є інформація про форму, розміри та точності оброблюваної деталі, програма випуску.

Технічними обмеженнями, що визначають можливі варіанти принципової схеми ТП, будуть набір застосовуваних на заводі прогресивних методів обробки поверхонь різних видів та їх характеристики.

Крок 2.1 Формування технологічного коду виробу з технологічного класифікатора.

Крок 2.2 Віднесення виготовленого виробу до відповідної класифікаційної групи на основі технологічного коду.

Крок 2.3 Віднесення виготовленого виробу по його технологічному коду до діючого типового, групового або одиничного процесу.

Крок 2.4 При відсутності відповідної класифікаційної групи – розробка технологічного процесу як одиничного:

- вибір можливих способів отримання заготовки без детальної розробки технології;
- вибір принципів методів обробки поверхонь деталі (точіння, фрезерування, нанесення покриттів і т.д.) виходячи з економічної доцільності і необхідності отримання заданих параметрів деталі.

При цьому, по суті, відбувається синтез переходів обробки (але не операцій) без прив'язки до певних моделей устаткування і детального аналізу процесу обробки;

- диференціювання технологічних переходів по видам обробки (чорнова, напівчистова, чистова, термічна, гальванічна і т.д.).

Примітка. По суті, на етапі 2 виконується детальний аналіз базового (якщо він є) ТП з точки зору його прогресивності, підвищення продуктивності праці та якості виробу, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Етап 3 - вибір вихідної заготовки і методу її виготовлення.

Основні документи, необхідні для вирішення завдань на цьому етапі:

- документація на типовий або груповий технологічний процес;
- класифікатор заготовок;

- методика розрахунку і техніко-економічної оцінки вибору заготовок;
- стандарти і технічні умови на заготовки і основний матеріал.

Крок 3.1 Визначення (або уточнення) виду вихідної заготовки.

Крок 3.2 Вибір методу виготовлення вихідної заготовки.

Крок 3.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки

Рисунок 2.14 – Схема послідовності дій при виборі вихідної заготовки

Вибір заготовки на даному етапі ґрунтується:

- на евристичних критеріях вибору виду заготовки;
- на економічних розрахунках собівартості отримання заготовки.

Однак при цьому необхідно пам'ятати, що часто низька собівартість заготовки підвищує собівартість механічної обробки;

- на використанні методів групового отримання заготовок.

Етап 4 - вибір технологічних баз. Основні документи, необхідні для вирішення завдань цього етапу:

- класифікатор способів базування;
- методика вибору технологічних баз.

Послідовність дій при виборі технологічних баз представлена на рис. 2.15.

Крок 4.1 Вибір поверхонь базування.

Крок 4.2 Вибір чорнових баз для обробки поверхонь, що використовуються далі в якості основної технологічної бази.

Крок 4.3 Визначення кількості баз.

Крок 4.4 Вибір системи координат.

Крок 4.5 Побудова схеми базування (визначення числа зв'язків заготовки і обраної системи координат).

Крок 4.6. Оцінка можливості виконання принципу суміщення баз.

У складних і відповідальних деталях часто зустрічаються поверхні однакового рангу. Це призводить до неможливості встановлення послідовності операцій обробки через рівнозначності поверхонь.

В такому випадку найбільш раціональну послідовність укрупнених операцій виробляють на основі аналізу розмірних ланцюгів, керуючись принципом суміщення технологічних баз з конструкторськими.

Принцип суміщення баз вимагає, щоб в ролі технологічної бази (настановної, вихідної, вимірювальної) по відношенню до кожної поверхні деталі використовувався той же її елемент, який в робочому кресленнику служить по відношенню до неї конструкторської базою. Згідно цим принципом послідовність обробки поверхонь повинна бути ув'язана з їх взаємною координацією, заданою розмірними ланцюгами і технічними вимогами. Дотримання принципу суміщення баз при встановленні послідовності операцій дозволяє виключити помилки, пов'язані з несумісністю баз, а це, в свою чергу, створює передумови для обробки деталей з найменшими витратами.

Крок 4.7 Оцінка можливості збереження сталості баз.

Крок 4.8 Оцінка точності і надійності базування.

Примітка. Якщо проектування ведеться на основі комплексного типового технологічного процесу, то бази в ньому заздалегідь визначені, тому завдання вибору баз зводиться до відшукування в окремій деталі поверхні, що відповідна комплексній.

Етап 5 - Складання технологічного маршруту обробки. Основні документи і відомості, необхідні для вирішення завдань на цьому етапі:

- документація типового, групового або одиничного технологічного процесу;
- кресленик деталі, створений в системі конструкторсько-технологічної параметризації;
- отримані на попередніх етапах кілька найбільш раціональних варіантів принципових схем ТП, відомості про форму, розміри та точності деталі і заготовки, програму випуску.

Постановка завдання - спроектувати і (або) вибрати найбільш раціональний варіант технологічного маршруту, що включає визначення складу і

послідовності операцій, вибір технологічних баз, обладнання та затискних пристосувань для кожної операції.

Формування структури технологічного процесу починається з чистових операцій, а закінчується чорновими і заготівельними.

Підставою для формування структури є робочий кресленик деталі з остаточними розмірами.

В якості технічних обмежень виступають набори застосовуваних на заводі основних матеріалів, оснащення, обладнання і його технічні характеристики.

Крок 5.1 Вибір виду проектного технологічного процесу (одиничний, типовий, груповий) і ступеня його деталізації.

Крок 5.2 Уточнення методів обробки поверхонь.

Крок 5.3 Об'єднання переходів в операції.

Крок 5.4 Оцінка ефективності маршрутних технологічних процесів. Складання варіантів маршруту обробки і їх ефективності за собівартістю, трудомісткості, енергоспоживання, матеріаломісткості оброблюваної деталі і технологічного оснащення.

Крок 5.5. Вибір типів обладнання.

Крок 5.6. Уточнення обраного маршруту обробки (за типовим або груповим технологічним процесом).

При формуванні алгоритмів послідовності операцій необхідно враховувати:

- ранг поверхні. Спочатку повинні оброблятися основні поверхні, потім поверхні першого, другого і т.д. рангів (дана рекомендація стосується лише чистових і напівчистових операцій);

- принцип поєднання конструкторських баз з технологічними;
- зручність установки деталі.

У ряді випадків розмірні ланцюги робочого кресленика не забезпечують створення досить зручних в конструктивному і експлуатаційному щодо установчо-затискних елементів пристосувань. Тоді доводиться відступати від принципу суміщення баз і йти на зменшення допуску на деякі розміри в

розрахунку на те, що простота пристосування і зручність роботи компенсують витрати на забезпечення більш жорстких допусків.

Якщо оброблювані поверхні не пов'язані жорсткими допусками і технічними вимогами або їх величина настільки велика, що не впливає на послідовність обробки, то повинні враховуватися розстановка обладнання і досвід проектування технології на конкретному підприємстві. Облік розстановки обладнання в цехах забезпечує максимально можливу поточність технологічного процесу, при якій зводяться до мінімуму зустрічні потоки деталей. Наприклад, при відсутності в цеху верстатів для точної обробки зубчастих, шліцевих або різбових поверхонь їх обробку необхідно винести в кінець етапу, щоб, виконавши ці операції на іншій ділянці, деталь не повертали назад, а направляли на склад або на складання.

Використання в алгоритмах досвіду проектування технології на конкретному підприємстві дозволяє врахувати вплив організаційних та інших факторів на послідовність операцій, який на сьогоднішній день не піддається розрахунку. Наприклад, на багатьох верстатобудівних заводах обробка зовнішніх поверхонь нарізі виноситься в кінець етапу, а при відсутності термообробки - в кінець технологічного процесу. Це робиться для того, щоб при установці деталі на інших операціях та транспортуванні не пошкодити нарізь. На інших підприємствах цей фактор не беруть до уваги, але враховується ряд інших особливостей.

Примітка. На етапі 5 приймається остаточне рішення про спосіб отримання заготовки, а при встановленні загальної послідовності обробки рекомендується враховувати наступні положення:

- кожна наступна операція повинна зменшувати похибки попередньої обробки і покращувати якість поверхні;
- в першу чергу слід обробляти поверхні, які будуть служити технологічними базами для подальших операцій;
- далі необхідно обробляти поверхні, з яких знімається найбільший шар металу, що дозволить своєчасно виявити можливі внутрішні дефекти заготовки;
- операції, при яких можлива поява браку через внутрішні дефектів в заготівлі, потрібно здійснювати на ранніх стадіях її обробки;
- обробка інших поверхонь ведеться в послідовності, зворотного ступеня їх точності, тобто чим точніше повинна бути поверхня, тим пізніше треба її обробляти. Обробку менш точних поверхонь можна виконувати у вигляді переходу

при обробці високоточних поверхонь. При цьому операція від початку komponується з метою отримання високоточної поверхні, а потім в неї по можливості додають переходи для обробки менш точних поверхонь (якщо це не вплине на якість основної поверхні);

- закінчується процес виготовлення деталі обробкою тієї поверхні, яка повинна бути найбільш точною і має найбільше значення для експлуатації деталі. Якщо вона була оброблена до виконання інших суміжних операцій, то може виникнути необхідність її повторної обробки;
- отвори потрібно свердлити в кінці технологічного процесу, за винятком тих випадків, коли вони служать базами;
- не рекомендується поєднання чорнової і чистової обробок немірним інструментом на одному і тому ж верстаті (за винятком верстатів з ЧПУ, для яких це переважно), але іноді їх виконують за одну операцію щоб уникнути трудомістких переустановлень великогабаритних і важких заготовок. Така побудова маршрутної технології характерно для дрібносерійного виробництва. У всіх випадках виконання чорнової і чистової обробок за одну операцію рекомендується спочатку провести чорнову обробку всіх поверхонь, а потім виконати чистову обробку тих поверхонь, для яких вона необхідна;
- якщо деталь по ходу технологічного процесу піддається термічній обробці, то механічна обробка ділиться на дві частини: до термічної обробки і після неї;
- технічний контроль намічають після тих етапів обробки, де імовірна підвищена частка браку, перед складними і дорогими операціями, після закінченого циклу обробок, а також в кінці обробки деталі;
- в масовому виробництві необхідну якість обробки забезпечується статистичним аналізом і виконанням умов регулювання технологічного процесу

Крок 5.7 Визначення засобів технологічного оснащення.

Наведені рекомендації щодо послідовності розробки технологічного маршруту не є обов'язковими і вимагають творчого підходу в кожному конкретному випадку. Складання маршрутів обробки істотно спрощується при використанні типових ТП на дану групу деталей

Етап 6 - розробка технологічних операцій. Основні документи, необхідні для вирішення завдань етапу:

- документація на типові, групові або поодинокі технологічні операції;
- класифікатор технологічних операцій;
- каталоги (альбоми) за вибором засобів технологічного оснащення;
 - матеріали по вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків та ін.).

Постановка завдання - із заданих технічними обмеженнями наборів окремих елементів технологічної системи спроектувати і розрахувати найбільш

раціональні параметри операцій, при яких необхідні розміри деталі і їх точність забезпечувалися б з мінімальною собівартістю.

Вихідними даними для проектування технологічної операції служать набір переходів, виконуваних в операції, необхідна форма, міжопераційні розміри і їх точність. Ці відомості отримані на основі інформації, розробленої на попередніх етапах проектування, а також в результаті проектування попередньої операції.

Технічними обмеженнями, що визначають допустимі варіанти систем обробки деталі, структуру і характеристики операції, є:

- набір типорозмірів устаткування, яке застосовується в цехах заводу для виконання зазначеної операції;
- набір універсальних, групових і спеціалізованих установчо-затискних пристосувань, використовуваних на кожному з типів верстатів;
- технологічні нормативи на припуски і напуски, час виконання окремих елементів операції, поправочні коефіцієнти для розрахунку режимів різання і інші техніко-економічні дані.

Крок 6.1 Вибір (або уточнення) моделей устаткування.

Вибір моделі верстата визначається, перш за все, можливістю обробки на ньому поверхонь необхідних розмірів, форми і якості. Якщо ці вимоги можуть забезпечити верстати декількох моделей, то одну з них вибирають з таких міркувань:

- відповідності основних розмірів габаритам деталей, що виготовляються, встановлюються за прийнятою схемою обробки;
- відповідності продуктивності заданому типу виробництва;
- можливості роботи з оптимальними режимами різання;
- відповідності верстата необхідній потужності;
- можливості механізації і автоматизації виконуваної обробки;
- забезпечення найменшої собівартості обробки;
- необхідності використання наявних верстатів;
- можливості придбання верстата;

- в умовах масового виробництва потрібно прагнути до того, щоб кількість верстатів на одній операції була не більше двох. Якщо ця умова не виконується, слід вибрати більш продуктивну модель верстата (наприклад, багатошпиндельного, багатопозиційного або агрегатного).

Крок 6.2 Вибір (уточнення) типорозміру установчо-зжимного пристосування:

- вибір (уточнення) схеми базування і установки деталі;
- пошук інформації про наявних на підприємстві пристосувань відбувається в наступній послідовності:
 - пошук технічної документації на розробку існуючих пристосувань;
 - пошук інформації щодо пристосування, що є на складі або задіяних у виробництві;
 - формування замовлення на виробництво і (або) поставку зі складу (закупівлю у виробника) пристосування існуючого типорозміру;

При відсутності готових пристроїв та (або) технічної документації на них виконують:

- пошук інформації про аналогічні пристосування;
- розробку принципових схем оригінальних пристосувань при відсутності пристосувань-аналогів;
- розробку технічного завдання на створення оригінального пристосування або замовлення універсального пристосування, що задовольняє вимогам.

Крок 6.3 Вибір різального та допоміжного інструменту.

Крок 6.4. Вибір засобів механізації та автоматизації технологічного процесу та внутрішньоцехових транспортних засобів:

- вибір пристроїв механізованого або автоматизованого завантаження і розвантаження заготовок, міжопераційних транспортних засобів, бункерних і магазинних пристроїв та накопичувачів, засобів автоматичного контролю;
- визначення доцільності використання засобів механізації та автоматизації на основі розрахунку техніко-економічних показників;

- замовлення нових засобів технологічного забезпечення, включно засобів контролю і випробувань, з огляду на метрологічні вимоги стандартів при проведенні випробувань.

Крок 6.5 Диференціювання і уточнення переходів в операції включає проектування технологічних переходів і формування допустимих варіантів структури операції.

Структура переходу для однієї і тієї ж поверхні може бути різною. Наприклад, точіння торця можна проводити за допомогою поздовжньої і поперечної подач, комбінованим способом на попередньо настроєному верстаті або методом пробних проходів.

Залежно від обраного способу виконання переходу різними будуть тип ріжучого інструменту, характер основних і допоміжних прийомів та їх послідовність, тобто структура переходу.

У зв'язку з цим при обробці кожної поверхні виникає задача проектування і вибору найбільш раціонального варіанта структури і параметрів переходу.

Вихідні дані для проектування технологічних переходів:

- схема установки деталі, відомості про жорсткість основних вузлів технологічної системи, ряди частот обертання шпинделя і величин подач верстата, потужність головного приводу, допустиме зусилля подачі, розміри посадочних місць для ріжучих інструментів;

- таблиця проміжних станів деталі, що описує форму, розміри, точність і механічні властивості оброблюваних поверхонь до моменту виконання переходу;

- необхідна форма, розміри, точність і шорсткість поверхні після виконання переходу.

Технічними обмеженнями, що визначають можливі варіанти структури і зміст переходу, будуть діючі на заводі способи виконання переходу кожного виду, обмежувальні переліки ріжучого, допоміжного та вимірювального інструментів.

Загальна задача проектування переходу розбивається на три частини.

У першій, виходячи з технічних обмежень, визначаються допустимі способи обробки поверхні і типорозміри ріжучого, допоміжного та вимірювального інструменту, в другій - відповідний їм граф допустимих варіантів структури переходу. У третій частині на основі аналізу графа проводиться вибір найбільш раціонального варіанти елементів технологічної системи, структури і параметрів переходу. Відповідно до цього для різних переходів встановлена наступна типова послідовність:

- вибір допустимих способів виконання переходу;
- визначення типорозмірів ріжучого інструменту;
- вибір допоміжного інструменту;
- вибір вимірювального інструмента;
- визначення допустимих варіантів структури переходу;
- розрахунок режимів різання і визначення основного часу для кожного варіанта переходу;
- визначення часу виконання допоміжних прийомів для кожного варіанта структури переходу;
- вибір найбільш раціональної структури переходу і елементів технологічної системи;
- формування описів переходу для запису в технологічну карту.

Формування допустимих варіантів структури операції:

- остаточний вибір складу переходів,
- визначення послідовності установок і переходів в операції,
- детальне уточнення послідовності переходів в операції.

Крок 6.6 Уточнення технологічного маршруту.

Крок 6.7 Визначення форми і операційних розмірів заготовки, що надходить на операцію:

- призначення припусків розрахунково-аналітичним або дослідно-статистичним методом;
- розрахунок операційних розмірів і допусків на них;

- перевірка можливості отримання деталі з раніше запроєктованої заготовки. При незадовільному результаті - коригування розмірів заготовки;
- призначення напусків на заготовку (у разі неможливості використовувати стандартизовану заготовку, її проектує технолог механічного цеху).

Крок 6.8 Призначення і розрахунок режимів обробки.

Алгоритм визначення режимів різання (методом розрахунку за емпіричними формулами або шляхом вибору за нормативами) включає:

- визначення нормативної подачі і значень подач, допустимих обмежуючими умовами;
- коригування значення подачі відповідно до паспорта конкретної моделі верстата;
- визначення нормативного періоду стійкості інструменту;
- обчислення нормативної швидкості різання, яка визначається обраним періодом стійкості, а також значень швидкостей по обмежуючим умовам (потужності і моменту);
- коригування розрахункових значень величини швидкості, визначення частоти обертання шпинделя верстата;
- визначення основного технологічного часу.

Примітка. Як правило, режими різання розраховують при проектуванні переходів, проте на рівні операцій є відомості, що відносяться до операції в цілому, що часто призводить до необхідності їх перерахунку. Наприклад, проектування багатоінструментальної обробки і пов'язаних з нею режимів обробки можливо лише на рівні проектування операції.

Крок 6.9 Складання схем налагоджень інструментів.

Крок 6.1 Розробка операцій технічного контролю:

- визначення номенклатури контрольованих параметрів якості деталі і етапи ТП, після або перед якими необхідний контроль цих параметрів;
- визначення засобів контролю;
- визначення частки деталей, що піддаються остаточному, а в разі необхідності - проміжному контролю.

Примітка. Наявність окремого робочого місця контролера не виключає контроль результатів обробки на робочому місці самим робочим або з використанням засобів автоматичного контролю. Контроль на стадії проектування технологічного процесу щодо забезпечення необхідних кресленням допусків лінійних і кутових розмірів може здійснюватися на основі розмірного аналізу.

Крок 6.11 Вибір ймовірісно-статистичних методів оцінки якості та стабільності ТП.

Всі дії, що виконуються на етапі 6, лише деталізують попередній йому етап, так як вони вже були виконані на етапі розробки маршрутної технології, але з недостатнім ступенем детальності.

Етап 7 - нормування технологічних операцій. Основні документи, необхідні для вирішення завдань на цьому етапі:

- нормативи норм часу і витрати матеріалу;
- методика нормування технологічних операцій;
- класифікатори розрядів робіт і професій;
- диференційовані нормативи часу (для встановлення розрахункових та інших уточнених норм).

Крок 7.1 Аналіз вихідних даних для розрахунку норм часу і витрати матеріалів.

Крок 7.2 Розрахунок і нормування витрат праці на виконання процесу: розрахунок норм часу і зіставлення їх з тактом роботи (в поточному виробництві).

Крок 7.3 Розрахунок норм витрати допоміжних матеріалів (маса матеріалу, з якого виготовляється деталь, не аналізується) і потреби в енергоресурсах (електроенергії, води, стисненого повітря та ін.).

Крок 7.4 Визначення розряду робіт і обґрунтування професій виконавців для виконання операцій в залежності від їх складності.

Примітка. На етапі 7 зазвичай проводиться лише кількісна оцінка витрат часу і матеріальних ресурсів на виробництво однієї деталі. По суті, тут виконується перша частина економічних розрахунків, які не належать до кола основних задач технолога. Даний етап є останнім з етапів побудови технології, на яких технолог є найбільш кваліфікованим фахівцем, які приймають рішення, оскільки має всю інформацію в закінченому вигляді. Наступні техніко-економічні розрахунки краще виконає

економіст, тому основна мета цього етапу - використовувати отриману інформацію про трудових і матеріальних витратах для вдосконалення технологічного процесу, а саме для розробки високопродуктивних економічно виправданих операцій.

Етап 8 - розробка спеціальних засобів підтримки технологічного процесу. Схема послідовності дій при розробці спеціальних засобів підтримки технологічного процесу включає наступні кроки..

Крок 8.1 Розробка заходів щодо поліпшення якості робочих поверхонь, довговічності і декоративних властивостей деталі технологічними методами:

- вибір методів поліпшення;
- розробка технологічних операцій зміцнення поверхонь та інших операцій;
- проектування технологічного обладнання і оснастки, режимів обробки, обладнання та режимів випробувань або контролю для вищевказаних операцій;
- розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження заходів.

Крок 8.2 Детальна розробка нових технологій.

На цьому кроці необхідно детально і в повному обсязі провести всі роботи, включені в попередні етапи.

Крок 8.3 Розробка спеціального устаткування:

- нестандартних засобів автоматизації та механізації ТП;
- нестандартного ріжучого, допоміжного та вимірювального інструментів;
- нестандартних пристроїв.

Примітка. Розробку конструкції оснастки необхідно супроводжувати розрахунками зусилля затиску, міцності, жорсткості, точності базування і закріплення. Слід розробити також інструкцію з налагодження даної оснащення на верстаті і правилам її експлуатації з урахуванням охорони праці і промислової санітарії.

Етап 9 - дотримання вимог охорони праці. Основні документи, необхідні для вирішення завдань цього етапу:

- стандарти ССБП (система стандартів безпеки праці);
- інструкції з техніки безпеки та виробничої санітарії.

Крок 9.1 Розробка вимог, вибір методів і засобів захисту довкілля.

Примітка. Невиконання вимог етапу 9 може призвести до зупинки виробництва органами держнагляду.

Етап 10 - розрахунок економічної ефективності технологічного процесу. Мета - надати «організаторам виробництва» можливість вибору «найкращого» варіанту процесу виробництва деталі з числа найбільш технологічно вигідних. Основний документ, необхідний для вирішення завдань цього етапу, - методика розрахунку економічної ефективності процесів.

Крок 10.1 Вибір технологічного процесу з представлених варіантів.

На даному етапі проводиться оцінка собівартості та оптимальності варіантів ТП, але в реальних умовах виробництва може виявитися, що обраний за зазначеними критеріями оптимальності варіант ТП є неприйнятним. Одна з причин цього - необхідність врахування особливостей сформованої організації виробництва.

Приклад такої ситуації: спроектований процес вимагає використання спеціального обладнання, якого немає на підприємстві, купівля його також неможлива, але деталь може бути отримана на іншому обладнанні з більш високою собівартістю обробки (що не перевищує граничної величини, при якій відсутній прибуток від виробництва). В результаті буде використаний «найгірший» варіант ТП. Його зазвичай називають виробничо-оптимальним.

Отже, в методиці вибору оптимального ТП повинна бути закладена можливість врахування особливостей реального виробництва.

Примітка. Етап 10 зазвичай призводить до вибору конкретного варіанту технологічного процесу, тому в тій чи іншій мірі деталізації він може бути задіяний на будь-якому етапі проектування ТП, якщо необхідно провести відбір варіантів ТП. Однак кількісні співвідношення при проведенні аналізу ТП на різних етапах проектування можуть відрізнятися за рівнем деталізації.

Етап 11 - оформлення технологічних процесів і (або) керуючих програм для верстатів з ЧПУ. Основні документи і системи, необхідні для вирішення завдань на цьому етапі:

- керівництва по розробці УП для кожного з верстатів з ЧПУ;
- стандарти ЕСТД;

- САПР керуючих програм для верстатів з ЧПУ.

Крок 11.1 Узгодження документації технологічних процесів

з усіма зацікавленими службами і її твердження.

Крок 11.2 Синтез УП для верстатів з ЧПУ.

Крок 11.3 Формування пакету технічної документації:

- креслеників деталі і заготовки;
- графічних матеріалів карт налагоджень;
- друк технологічних і операційних карт;
- графічних матеріалів карт операційних ескізів;
- робочих креслеників нестандартних пристроїв,
- ріжучого і допоміжного інструментів;
- виведення УП на програмоносії;
- друк відомостей технологічного процесу, норм витрати матеріалу, обладнання, оснащення і т.п.

з усіма зацікавленими службами і її твердження.

Наведена послідовність етапів є основою побудови алгоритмів автоматизованого проектування і є умовною, так як при проектуванні будь-якого ТП в умовах виробництва зазвичай необхідно кілька разів повторювати окремі етапи, тобто процес проектування ТП є ітераційним. Це викликано необхідністю отримання при проектуванні інформації, якої бракує і частина якої може не збігатися з початковими припущеннями технолога. Алгоритми автоматизованого проектування ТП передбачають використання інтерактивно-алгоритмічного методу, при якому один або кілька кроків або етапів виконуються в автоматичному режимі, потім на певному кроці або етапі користувачем приймається рішення в інтерактивному режимі. Далі чергування режимів повторюється до отримання проектного рішення.

2.6 Формалізація завдань технологічного проектування

2.6.1. Мета формалізації і постановка задач

Процес «ручного» проектування технологічних процесів це ряд дій, за допомогою яких інженер-технолог здійснює вибір елементів з розглянутих масивів різних технологічних предметів, встановлюючи між ними відповідності, формулюючи переходи і технологічні операції. Вибір оптимального процесу здійснює технолог шляхом порівняння декількох варіантів процесів при введенні оцінок на елементи, з яких він складається.

Практичне використанню теоретичних основ технології машинобудування характерно:

- відсутністю строгих аналітичних залежностей;
- складною логікою суджень, складним взаємозв'язком і взаємний впливом окремих завдань;
- наявністю величезних інформаційних потоків і великого числа складових елементів технології (верстатів, пристосувань, інструментів, режимів обробки та ін.).

Труднощі автоматизації проектування технологічних процесів обумовлені тим, що завдання ТПВ не мають явно виражених формальних методів вирішення.

Разом з тим рішення будь-якої задачі на ЕОМ вимагає наявності аналітичних або інших видів залежностей, що відображають кількісну сторону процесу проектування. Тому для вирішення завдань автоматизації технологічного проектування за допомогою ЕОМ необхідна формалізація технології (або її частини).

Формалізацією називається процес заміни (перетворення) змістовних пропозицій формулами, функціональними залежностями і логічними співвідношеннями. Формалізація дозволяє створювати універсальні алгоритми і програми, що описують форми і розміри деталі, характер виробництва, характеристики обладнання і оснастки. Тим самим вона сприяє більш ефективному застосуванню ЕОМ в проектуванні різних технологічних процесів для деталей різних типів і будь-якої складності: корпусів, валів, важелів і т.п.

Формалізація завдань перетворює технологічне проектування з процесу міркувань і побудови аналогії в процес реалізації строгого розрахунку. При цьому

форма створення технологічного процесу і його складових елементів може бути виражена за допомогою апарату математичної логіки;

склад технологічних процесів, що характеризується рядом властивостей об'єктів технології, описується засобами теорії графів і теорії множин;

якісні відносини можуть бути представлені кількісними залежностями за допомогою логічних функцій.

Однією з труднощів процесу формалізації є те, що існуючі в технології машинобудування емпіричні залежності кількісних відносин виражаються громіздкими таблицями з великим числом значень або емпіричними формулами, які не охоплюють усього спектру умов виробництва. У зв'язку з цим важливими є роботи, що виконуються в області теоретичних і експериментальних досліджень, щодо встановлення більш точних кількісних залежностей, що пов'язують продуктивність, точність обробки і якість поверхні з методами і режимами різання для різних умов обробки. Проводячи статистичні дослідження і використовуючи апарат математичного аналізу, таблиці і емпіричні формули в багатьох випадках можна замінити математичними виразами (моделями). При цьому підвищується ефективність і точність розрахунку багатьох параметрів і зменшується завантаження пам'яті ЕОМ.

Формалізація процесів технологічного проектування нерозривно пов'язана з описом кількісних зв'язків інформаційної структури деталі з технологічними особливостями її обробки. Між конструкцією, геометричною структурою і іншими характеристиками деталей, з одного боку, і структурою технологічного процесу - з іншого, існують об'єктивні зв'язки. Так, геометрична структура деталі зумовлює методи досягнення необхідно точності, вибір технологічних і вимірювальних баз, послідовність обробки поверхонь деталей і їх вимірів, між операційні розміри, припуски, допуски і т.д. Тому для опису геометрії будь якої

машинобудівної конструкції необхідно описати її структуру, форму, розміри і взаємне розташування окремих елементів.

Застосування ЕОМ в технологічному проектуванні впливає на постановку технологічних завдань, а також вимагає рішення додаткових завдань.

Розглянемо основні завдання, які необхідно вирішувати при автоматизованому проектуванні технологічних процесів за допомогою ЕОМ.

1. Введення в ЕОМ відомостей про деталі. Графічну інформацію для роботи в середовищі автоматизованого технологічного проектування або задають кодуванням, або частково САПР ТП «бере» її з графічної моделі, побудованої в графічному редакторі. Основу завдання на проектування технологічного процесу складають відомості про деталі, які при традиційному (ручному) проектуванні задаються у вигляді кресленика з безліччю спеціальних позначень і переліку технічних вимог у вигляді опису (тексту). цю інформацію при автоматизованому проектуванні необхідно ввести в ЕОМ у вигляді буквено-цифрових масивів. Тому до такого виду необхідно привести всю інформацію про деталь: опис її конфігурації, розмірних зв'язків, технічні вимоги.

2. Введення в ЕОМ відомостей про наявний парк металорізального обладнання, заготівельне виробництво, технічні характеристики верстатів, різучий, допоміжний та вимірювальний інструменти, верстатні пристосування, стандарти, нормалі, необхідні керівні і нормативні матеріали. При цьому потрібно не тільки організувати формалізований опис і введення цієї інформації в ЕОМ, але і розробити методи пошуку необхідної інформації в пам'яті машин, а також її виведення в потрібному вигляді. При автоматизованому проектуванні необхідно організувати інформаційно-довідкову службу для забезпечення процесу проектування необхідною довідковою документацією.

3. Введення в ЕОМ безлічі типових рішень і алгоритмів їх вибору, на яких базується процес автоматизованого проектування. Їх також потрібно формалізувати, організувати введення, розміщення в пам'яті ЕОМ і передбачити можливість оперативної роботи з ними.

4. Вивід результатів проектування у вигляді, зручному для технологів і робітників-верстатників. Необхідні програми виведення результатів роботи ЕОМ у вигляді роздрукованих технологічних карт або іншої документації, склад і форма подання якої визначаються стандартами (табл. 2.1).

Таким чином, відповідно до поставлених завдань для організації автоматизованого проектування технологічних процесів з допомогою ЕОМ необхідно:

- розробити систему формалізованого опису вихідної конструкторської документації;
- організувати ІПС;
- розробити сукупність типових рішень і алгоритмів їх вибору з урахуванням умов виробництва, де система буде експлуатуватися;
- розробити систему друку результатів проектування.

Для вирішення завдань автоматизації проектування технологічних процесів необхідна побудова різних видів математичних моделей аналізованих об'єктів (етапів), серед яких найбільш складним є сам процес проектування.

Таблиця 2.1 – Види основних технологічних документів

Вид документа	Позначення документа	Зміст документа
Документи загального призначення		
Титульний аркуш	ТА	Оформлення першого аркуша комплексу технологічних документів
Карта ескізів	КЕ	Пояснення виконання ТП, операції або переходу хода
Документи спеціального призначення		
Маршрутна карта	МК	Опис ТП маршрутного або маршрутно-операційного або вказівка щодо усіх технологічних операцій з даними про обладнання, технологічному оснащенні, матеріальних нормативах і трудових витратах
Карта ТП	КТП	Опис операційного ТП в технологічній послідовності по всіх операціях одного виду формоутворення, обробки, складання або ремонту із зазначенням переходів, технологічних режимів і даних про засоби технологічного оснащення, матеріальних і трудових витратах

Карта типового (групового) ТП	КТТП	Опис типового (групового) ТП в технологічній послідовності по всіх операціях одного виду формоутворення, обробки, складання або ремонту із зазначенням переходів, технологічних режимів і даних про засоби технологічного оснащення, матеріальні і трудові витрати
Операційна карта	ОК	Опис технологічної операції із зазначенням послідовного виконання переходів, даних про засоби технологічного оснащення, режими і трудові витрати
Карта типової (групової) операції	КТО	Опис типової (групової) технологічної операції із зазначенням послідовності виконання переходів і загальних даних про засоби технологічного оснащення і режимах
Карта наладки	КН	Вказівка додаткової інформації до технологічних процесів (операцій) та до налагодження засобів технологічного оснащення

У процесі автоматизації проектування ТП обробляється великий об'єм інформації. Ефективність процесу проектування багато в чому залежить від раціонального подання вихідної інформації, і в першу чергу, з точки зору її повноти і надмірності. Вихідна інформація для проектування технологічних процесів ділиться на базову, керівну і довідкову (див. 2.3).

Аналіз існуючих методів моделювання показує, що найбільш інформативними є узагальнені моделі систем у вигляді «Чорного ящика», що представляє собою засіб перетворення вхідних даних і знань про предметну область у вихідну інформацію.

Вхідними даними в розглянутих системах є опис конструкції виробу на машинних носіях і (або) у формі конструкторської документації та різні види керівної і довідкової інформації. Вихідна інформація у внутрішній формі являє собою машинну модель технологічного процесу, а у зовнішній – технологічну документацію, оформлену відповідно до стандартів. Звідси випливає, що першим кроком системного аналізу в цій ситуації є системологічне дослідження двох компонентів: проєктованих технологічних процесів і процесів їх проєктування.

Проведення розрахунків або виконання проєктних завдань за допомогою ЕОМ починається з математичного формулювання завдання і закінчується її рішенням і аналізом результату.

В процесі формалізації опису конструкторської інформації можна виділити два підходи:

- 1) кодування на базі відомих класифікаторів;
- 2) використання спеціального проблемно-орієнтованої мови.

Розглянемо приклад кодування на базі конструкторсько-технологічної класифікації.

В єдину систему конструкторсько-технологічної класифікації входять «Класифікатор промислової і сільськогосподарської продукції» та «Технологічний класифікатор деталей машинобудування і приладобудування».

Процес кодування полягає в привласненні деталі цифрового коду класифікаційної характеристики її конструктивних ознак по «Класифікаторам промислової і сільськогосподарської продукції». Потім цей код доповнюється кодами основних технологічних ознак.

Для групування необхідні ще такі ознаки, як габарити деталі, її матеріал, вид заготовки.

Розмірна характеристика також є узагальненою ознакою, кодування якого залежить від конструкторського коду деталі.

Приклади кодування деталей відповідно до зазначених ознак і за технологічним процесом наведені в табл. 2.2–2.4.

Таблиця 2.2 – Фрагменти кодів розмірної характеристики

Код	Найменший зовнішній діаметр або ширина, мм	Код	Довжина, мм	Код	Товщина або діаметр, мм
0	До 5	0	До 20	0	До 0,2
1	5...10	1	20...32	1	0,2...0,5
2	10...16	2	32...45	2	0,5...0,8

Таблиця 2.3 – Фрагменти кодів групи матеріалів

Код	Матеріал		Код	Вид технологічного процесу
01	Сталі вуглецеві із вмістом вуглецю, %	До 0,25	1	Виливання
02		0,25...0,6	2	Кування. Гаряче штампування
03		Більше 0,6	3	Холодне штампування
			4	Обробка різанням

Таблиця 2.4 – Приклад кодування деталі по виду ТП

Для розробки маршрутного технологічного процесу іноді використовується додатковий технологічний код, в якому вказується:

- ×× - вид вихідної заготовки;
- ×× - квалітет точності;
- × - шорсткість;
- × - характеристика елементів зубчастого зачеплення;

- $\times$ - характеристика термічної обробки;
- $\times$ - вагова характеристика.

Таким чином, на базі класифікації формується конструкторсько-технологічний шифр деталі. Цей шифр може служити ключем для пошуку деталі-аналога і типового технологічного процесу на неї. Однак для розробки операційного ТП необхідні докладні відомості про розміри всіх елементів деталі, про точність розмірів і розташування елементарних поверхонь, шорсткості. Ці відомості описуються в таблицях кодованих відомостей (ТКВ).

2.6.2. Використання деяких положень дискретної математики для вирішення завдань технологічного проектування

Поняття теорії множин. Поняття множини є фундаментальним невизначасим поняттям, як і поняття точки або лінії. Інтуїтивно під *множиною* розуміють сукупність цілком розрізняємих об'єктів x , розглянутих за певною ознакою як єдине ціле: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Окремі об'єкти x , з яких складається множина X , називаються *елементами множини*. Множина, що не містить жодного елемента, називається порожньою.

Якщо будь-який елемент x , що належить множині X , належить і множині Y , то множина X називається підмножиною множини Y .

Множини, елементами яких є числа, називаються числовими.

Нехай s – числова множина. *Верхньою межею* множини s називається число s , яка не менше будь-якого її елемента. Точною верхньою межею або *супремумом* множини s називають таку його верхню межу, що не більше за інші. Нижньою межею множини s називається число s , яка не більше будь-якого його елемента. Точної нижньою межею або *інфінімумом* множини s називають таку його нижню межу, яка не менш будь-якої іншої.

Поняття теорії графів. Теорія графів є розділ математики, що має широке практичне застосування при вирішенні багатьох проблем в різних областях науки і техніки.

Будь-який граф складається з двох груп елементів: точок і ліній, що з'єднують ці точки. Дотримуючись стандартної термінології, точки будемо

називати вершинами або вузлами графа, а лінії - ребрами, якщо вони не мають напрямку, і дугами, якщо на них заданий напрямок. $A = \pi r^2$

Графом G називається сукупність множини V , елементи якої називаються вершинами, і множини A упорядкованих пар вершин, елементи якого називаються ребрами. Передбачається, що як множина V , так і множина A містять кінцеве число елементів.

Граф позначається як

$$G = (V, A), \quad \text{де}$$

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}; A = \left\{ \frac{a_{ij}}{i}, j \in V, \dots, V_n \right\}$$

3.3 Структурна оптимізація технологічних процесів

3.3.1 Методичні основи структурної оптимізації

У зв'язку зі складністю формалізації задач вибору структури ТП, в перших САПР ТП, як правило, брали допущення, що можливі варіанти елементів структур технологічного процесу, їх функції та зв'язки визначено заздалегідь. У той же час відомо, що ефективність будь-якої САПР ТП більшою мірою визначається правильністю вибору структури технологічного процесу, ніж його параметричною оптимізацією. Дійсно, при помилковому виборі структури маршруту обробки або окремої операції найдосконаліші методи оптимізації режимів різання не можуть компенсувати втрат продуктивності обробки.

У найбільш загальному вигляді задача структурної оптимізації зводиться до вибору найкращої структури ТП. Рішення поставленого завдання можливе за допомогою основних положень теорії множин. Для цього необхідно, по-перше, пред'явити певні вимоги до сукупності виконуваних операцій, тобто фіксувати деяку підмножину $F^0 = \{f\}$ безлічі F , по-друге, ввести деякі критерії переваги однієї структури (S') іншій структурі (S'').

Отже, по множині $F^0 \subseteq F$ операцій, які необхідно виконати, потрібно побудувати безліч $S(F^0)$ допустимих для F^0 структур, тобто всі можливі структури S^α , $\alpha \in A$, кожна з яких може зіставлятися з сукупністю функцій

$F^{S^\alpha} \subseteq F^0$, і вибрати з них найкращу виходячи з введеного критерію переваги. У наведених висловлюваннях використані наступні позначення понять теорії множин: запис $(F^0 \subseteq F)$ позначає, що F^0 є підмножиною множини F ; запис $\alpha \in A$ - α є елементом множини A .

Критерій переваги є деяким функціоналом $L(S)$ від структури. При цьому запис $S' < S''$ еквівалентна запису $L(S') < L(S'')$.

Цей функціонал залежить від умов функціонування (технічних обмежень), які, в свою чергу, описуються деяким вектором параметрів v (передбачається постійним). Тоді завдання вибору оптимальної детермінованої структури полягає в пошуку структури, яка найкращим чином (в сенсі обраного критерію)

виконувала б деяку задану сукупність функцій $F^0 \subseteq F$ при заданих умовах функціонування v :

$$\max_{S \in S(F^0)} L(S) = \max_{S \in S(F^0)} \sum_i \left(\sum_j l_{ij} - C_i \right),$$

де $S(F^0)$ - множина всіх структур, що відповідають множині F^0 ;

l_{ij} - ефективність виконання об'єктом i операції j ;

C_i - витрати на i -й елемент.

Завдання структурної оптимізації, що полягає у визначенні виду функціоналу F , зазвичай вирішується **методом перебору**. Наближеним рішенням завдання перебору є випадковий пошук для нульових змінних.

Розглянутий в загальному вигляді математичний підхід до структурної оптимізації технологічних процесів може бути застосований на етапах:

вибору виду заготовки і методів її виготовлення;

проектування маршруту обробки заготовки, структури операцій і переходів;

вибору обладнання, верстатних пристосувань, ріжучого, допоміжного і вимірювального інструментів.

3.3.2 Оптимізація вибору методу виготовлення заготовки

Вибір виду заготовки і методу її виготовлення є важливим етапом технологічного проектування, оскільки він багато в чому визначає не тільки якість готових виробів, а й собівартість їх виготовлення. Заготовками для деталей машин бувають:

- 1) виливки, отримані литтям в піщані чи металеві форми, або іншими способами;
- 2) гарячекатаний прокат звичайної або підвищеної точності, а також профільний, фасонний чи інший вид прокату;
- 3) поковки, отримані методом вільного кування, кування в підкладних кільцях і штампах;
- 4) штампування (поковки), одержані шляхом оброблення тиском - об'ємним гарячим і холодним штампуванням;
- 5) зварні заготовки з прокату, відливок і поковок.

Завдання вибору виду заготовки виникає на різних етапах підготовки виробництва, як при конструюванні, так і при технологічному проектуванні. Часто вид заготовки має бути обраним при конструюванні деталі, а оптимальний метод її виготовлення уточненим під час технологічного проектування. Вибір заготовки визначається видом деталі і ґрунтується на одному з трьох варіантів:

- 1) якщо деталь вимагає обробки з усіх боків і не пред'являються особливі вимоги до її фізико-механічних властивостей і структури металу, то вибір заготовки здійснює тільки технолог;
- 2) якщо деталь вимагає обробки з усіх боків, але до неї пред'являються додаткові вимоги, то конструктор, задаючи ці вимоги (наприклад, до розташування волокон металу), побічно задає можливі методи отримання заготовки, але остаточне рішення про вибір заготовки приймає технолог;
- 3) якщо деталь має необроблювані поверхні, то конструктор попередньо задає певний тип заготовки, вказуючи штампувальні або ливарні радіуси, ухили та інші параметри, а технолог визначає оптимальний метод отримання заготовки. Рішення щодо вибору заготовки в цьому випадку доцільно приймати спільно

конструктору і технологу. При цьому, зазвичай, техніко-економічні розрахунки не визначаються, а рішення приймається виходячи тільки з досвіду роботи.

Оптимізація вибору способу отримання заготовки дозволяє не тільки знизити витрати на її виготовлення, а й значно скоротити трудомісткість і собівартість механічної обробки. Вибір оптимальної заготовки повинен проводитися за комплексними параметрами з урахуванням витрат суспільної праці на всіх етапах її виготовлення і трудомісткості виконання всіх операцій механічної обробки. При порушенні цієї умови може вийти так, що при незначній собівартості отримання заготовки загальна собівартість виготовлення деталі виявиться високою через значну трудомісткості механічної обробки. У той же час слід мати на увазі, що вибір вихідної заготовки передуює складанню маршруту і проектування операцій механічної обробки, коли точні витрати на механічну обробку ще не відомі. Аналіз використовуваних на підприємствах машинобудування підходів щодо вибору заготовок дозволяє виділити наступні критерії вибору методу отримання заготовки: вид матеріалу, серійність випуску, конструктивна форма деталі, маса і розміри деталі, необхідна точність заготовки, коефіцієнт використання металу та ін.

Найбільш важливими є перші чотири критерії. Однак врахування навіть всіх названих критеріїв в ряді випадків не дає однозначного рішення щодо вибору методу отримання заготовки і доводиться додатково проводити техніко-економічний аналіз. В основу таких аналізів має бути покладена оптимізація.

В якості критерію оптимальності використовується мінімальна собівартість виготовлення заготовки C_z , яка визначається вартістю матеріалу, змінними складовими витрат (заробітна плата основних робочих, витрати на амортизацію обладнання, оснащення, інструмент і т.д.) і постійними складовими - накладними витратами.

Однак вибір заготовки з мінімальним значенням C_z не завжди призводить до оптимального варіанту технологічного процесу виготовлення деталі. Заготовки, отримані різними методами, відрізняються припущеннями, що впливає на чорнову обробку, зокрема на перші операції ТП механічної обробки.

Тому при оптимізації вибору заготовки необхідно також враховувати витрати $C_{\text{мех}}$ на виконання чорнових операцій механічної обробки.

При більш точній оцінці методу отримання заготовки доцільно брати до уваги вартість відходів металу $C_{\text{відх}}$, що утворюються при механічній обробці заготовок з різними припусками. Тоді залежність критерію оптимальності вибору методу отримання заготовки може бути представлена наступним чином:

$$C = \min(C_3 + C_{\text{мех}} - C_{\text{відх}}).$$

Однак може виявитися, що в конкретних виробничих умовах вибір виду заготовки запропонованим критерієм може бути недоцільним. Мають місце випадки, коли краще використовувати заготовку, яка вибирається або відповідно до критерію мінімальної собівартості механічної обробки $\min C_{\text{мех}}$, або з мінімуму витрат на матеріал $\min(C_{\text{м}} - C_{\text{відх}})$. Виходячи з цього при вирішенні завдання вибору оптимального методу отримання заготовки виділяють наступні етапи:

- 1) вибір можливих видів заготовки за матеріалом деталі;
- 2) вибір можливих методів виготовлення заготовок виходячи з серійності, конструктивної форми, маси і розмірів деталі;
- 3) визначення технічних характеристик для обраних видів заготовок (точності, коефіцієнта використання металу та ін.);
- 4) визначення собівартості заготовки C_3 для обраних методів її виготовлення;
- 5) визначення вартості витрат на механічну обробку $C_{\text{мех}}$ для обраних видів заготовок;
- 6) визначення вартості відходів металу $C_{\text{відх}}$ для обраних видів заготовок;
- 7) вибір оптимального методу виготовлення заготовки для конкретних умов виробництва.

При формалізації умов вибору виду заготовки і методів її виготовлення, а також для побудови алгоритмів вирішення даної задачі на першому етапі проводиться класифікація всіх ознак, що визначають вибір заготовок. Для

спрощення алгоритмів вибору заготовки і методів її виготовлення всі ознаки кодуються.

Розглянемо один з можливих варіантів кодування.

1. Вид матеріалу (ВМ). Попередній аналіз цієї ознаки показав доцільність класифікації всіх матеріалів з використанням трирівневого кодування.

Структура коду має вигляд, представлений на рис. 3.3.

Всі матеріали можна розділити на сім груп і відповідно закодувати:

- сталі вуглецеві (ливарні) - 1;
- чавуни - 2;
- ливарні сплави - 3;
- високолеговані сталі і сплави - 4;
- низьколеговані сталі - 5;
- леговані сталі - 6;
- автоматні сталі - 7.

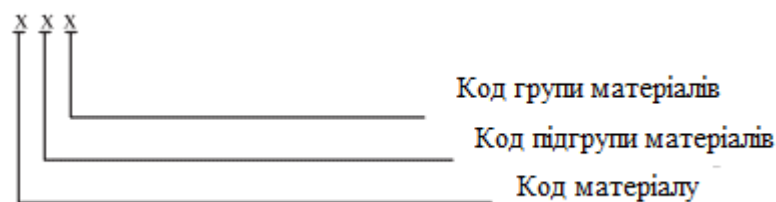


Рисунок 3.3 – Код структури виду матеріалу

Код групи використовується для отримання інформації щодо видів та методів виготовлення заготовок.

Другий рівень класифікації, описуваний кодами підгруп, об'єднує матеріали, що мають однакові або близькі технологічні властивості. Коди підгруп матеріалів враховуються при визначенні витрат на чорнову механічну обробку.

На останньому рівні класифікації кодують конкретні матеріали, і ця інформація використовується для уточненого визначення цін за тонну заготовок і вартості відходів металу.

2. Конструктивна форма (КФ) деталей. Класифікація КФ може бути представлена 11 видами деталей (табл.), а кожен вид - п'ятьма групами складності. Вибір відповідного коду проводиться на основі порівняння конкретної деталі з описом типової деталі-представника у спеціальній таблиці.

3. Серійність виробництва (СП) залежить від маси деталі і річної програми випуску. Вид СП можна закодувати таким чином:

одиничне - 1, серійне - 2, багатосерійне - 3, масове - 4.

4. Маса деталі (МД). Для вибору виду заготовки важливе значення має її маса, яка в умовах даної задачі визначається в залежності від маси деталі. Кодування МД з виливків доцільно провести по шести діапазонах: 1-й - до 50 кг, 2-й - від 50 до 100 кг, 3-й - від 100 до 250 кг, 4-й - від 250 до 3000 кг, 5-й - від 3000 до 5000 кг і 6-й - понад 5000 кг. Кодування маси деталі з поковок, штамповок і прокату - за двома діапазонами: 1-й - до 50 кг, 2-й - понад 50 кг. Кодування маси деталі можна робити також на основі вагових коефіцієнтів [21].

Розмір заготовки впливає тільки на вибір заготовок з прокату: при діаметрі заготовки більше 250 мм (код В) прокат зазвичай не використовується; якщо діаметр менше 250 мм (код А), то можливо його використання.

Таблиця 3.2 – Види конструкторських форм деталей

Вид КФ	Тип деталей
1 ... 4	Деталі циліндричної форми з різними перепадами ступенів
5	Втулки і диски зі складною зовнішньою і внутрішньою поверхнями
6	Вали складної просторової форми
7	Важелі, шатуни та ін.
8	Корпусні деталі призматичної форми і поєднання призматичної, циліндричної та інших форм
9	Корпусні деталі фланцевого типу
10	Корпусні деталі коробчастої форми складної конфігурації
11	Корпусні деталі простої конфігурації

5. Види заготовок і методи їх виготовлення можна також закодувати: лиття у піщані форми - 1; відцентрове лиття - 2; лиття під тиском - 3; лиття в кокіль -

4; лиття в оболонкові форми - 5; лиття по виплавлюваних моделях - 6; прокат - 7; штампування - 8; кування - 9; зварна заготовка - 10.

Виходячи з розглянутих варіантів кодування алгоритм вибору можливих видів заготовок і методів їх виготовлення можна представити у вигляді таблиці вибору рішень (табл.). Згідно табл. .2, керуючись конкретними значеннями розглянутих ознак деталі, вибирають один або кілька можливих методів отримання заготовки. Після визначення вартості розглянутих варіантів виду заготовки приймається рішення про вибір оптимального методу її виготовлення.

3.3.3 Оптимізація вибору технологічних операцій

Одним з найважливіших етапів структурної оптимізації ТП є вибір технологічних операцій механічної обробки. Вид операції та обладнання суттєво впливають на трудомісткість обробки і пов'язану з нею технологічну собівартість, яка зазвичай використовується в якості критерію для вибору варіантів ТП виготовлення виробу.

На стадії ескізного проектування при виборі операції механічної обробки розрахунок технологічної собівартості C_{opi} визначається наближеним методом за формулою

$$C_{opi} = C_{ci} \cdot t_{шкi} \quad (3.14)$$

C_{ci} - виробничі витрати, що припадають на одиницю часу роботи устаткування, зайнятого при виконанні i -ї операції;

$t_{шкi}$ - норма штучно-калькуляційного часу на виконання i -ї операції.

З аналізу залежності (3.14) випливає, що мінімізувати C_{opi} за рахунок одночасного зменшення питомих виробничих витрат на обладнання і штучно-калькуляційного часу обробки є технічно неможливим (використання більш високопродуктивного обладнання призводить до зменшення $t_{шкi}$ при одночасному зростанні питомих витрат на його утримання та експлуатацію). Очевидно, з ряду порівнюваних варіантів обробки оптимальним є той, при

здійсненні якого зростання продуктивності перевищить зростання питомих витрат на обладнання.

Таким чином, завдання визначення технологічної собівартості обробки зводиться до вирішення двох взаємопов'язаних підзадач:

визначення набору можливих операцій обробки деталі, відповідних їм моделей верстатів і питомих витрат C_{qi} на 1 годину роботи верстатів;

визначення трудомісткості обробки $t_{шкi}$ стосовно до вибраного з набору варіанту.

Вибір можливих операцій обробки поверхонь деталі, які відповідають заданим умовам, здійснюють на основі аналізу конструкторсько-технологічних ознак деталі і серійності виробництва, до яких відносяться:

- 1) річна програма випуску деталей;
- 2) тип поверхонь деталі, що підлягає обробці;
- 3) стадії обробки (чорнова, чистова, тонка, фінішна);
- 4) габаритні розміри деталі;
- 5) точність і шорсткість поверхонь для даної стадії обробки;
- 6) твердість поверхонь, що обробляються на даній стадії;
- 7) конструкторська складність поверхонь, що обробляються на відповідній стадії.

За спільності методів, використовуваних при обробці, всі поверхні, що утворюють конфігурацію деталей машин, розбивають на групи.

Зазвичай, на початкових етапах проектування технологічних процесів вирішуються питання вибору раціональних способів обробки груп однорідних поверхонь – зовнішніх поверхонь обертання, внутрішніх, плоских, зубчастих, різьбових, шліцьових тощо. Це дозволяє використовувати єдину методику укрупненої оцінки ефективності різних методів обробки вже на ранніх етапах проектування, коли у технолога ще відсутня вся необхідна інформація для точної оцінки трудомісткості обробки.

Розглянемо вибір конструкторсько-технологічних ознак для визначення можливих варіантів обробки на прикладі зовнішніх і торцевих поверхонь

обертання деталей типу «вал» з $L > 2D$. Конфігурація цього класу деталей визначається поєднанням різного числа елементарних зовнішніх поверхонь обертання. В залежності від вимог кресленника кожна поверхня повинна пройти ряд стадій обробки, під якими розуміються укрупнені групи операцій, що включають однорідну за характером, точності і якості обробку елементарних поверхонь. Вибір стадій обробки може здійснюватися на основі алгоритму, представленого у вигляді таблиці (табл. 3.4).

Габаритні розміри деталі, точність і шорсткість поверхонь, а також твердість визначаються на основі аналізу кресленника і вводяться в якості вихідних даних.

Таблиця 3.4 – Вибір стадій обробки зовнішніх поверхонь обертання в залежності від вимог точності і шорсткості

Стадія обробки	Код стадії	Квалітети точності / шорсткість, що досягаються, Ra , мкм			
		12/80	10/20	7/0,63	6/0,16 и менше
Чернова	1	1	1	1	1
Чистова	2	—	2	2	2
Тонка	3	—	—	3	3
Фінішна	4	—	—	—	4

Конструкторська складність деталі – це складність її як геометричного об'єкта. Кількісна оцінка конструкторських складнощів може бути представлена у вигляді суми Q конструкторських складнощів всіх оброблюваних на першій стадії поверхонь. При оцінці конструкторської складності на кожній стадії слід розрізняти основні поверхні P , що утворюють основний контур деталі, торцеві MT і додаткові M поверхні (фаски, галтелі, пази, канавки).

Наприклад, для визначення конструкторської складності деталей типу «Вал» з урахуванням трудомісткості обробки основних і додаткових поверхонь на першій стадії можна використовувати наступну залежність:

Однією з найважливіших ознак, від якої залежить правильний вибір виду технологічної операції, її структури і відповідного обладнання, є серійність, або

тип виробництва. Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій k_{30} , який являє собою відношення кількості всіх технологічних операцій, що виконуються на даному виробництві протягом місяця, до числа робочих місць. У свою чергу k_{30} залежить головним чином від заданої програми випуску деталей N і трудомісткості їх виготовлення $t_{шк}$.

Обчислення на ранніх стадіях технологічного проектування значення $t_{шк}$ представляє певні труднощі. З огляду на, що на цій стадії не може бути отриманий операційний ТП, що містить необхідні відомості для розрахунку норм часу, слід використовувати методи укрупненого нормування. Тому виявляють функціональні залежності між штучно-калькуляційним часом і найбільш загальними параметрами деталі, що враховують її конструкторську складність і розмірні характеристики. Для певних типів деталей розмірні характеристики мають кореляційний зв'язок з масою деталі M_d . На основі статистичного аналізу процесів обробки різних типів деталей встановлена функціональна залежність виду

$$t_{шк} = K_1 \cdot M_d^\alpha \cdot Q^\beta \quad (3.16)$$

Використовуючи відомі залежності для визначення числа операцій, що закріплюються за одним робочим місцем з урахуванням коефіцієнта завантаження і коефіцієнта виконання норм часу (K_B), для двозмінної роботи стосовно до обробки зовнішніх поверхонь обертання деталей класу «вали» отримано

$$k_{30} = 46,2 \cdot 10^3 / (N \cdot M_d^{0,36} \cdot Q^{0,51}).$$

Потім на основі розрахованих значень k_{30} визначають тип виробництва.

Коефіцієнт закріплення операцій	$k_{30} > 20$	$10 < k_{30} < 20$	$1 < k_{30} < 10$	$k_{30} < 1$
Тип виробництва	Одиничне Дрібносерійне	Середньо-серійне	Велико-серійне	Масове
Код	1	3	3	4

Структура технологічних операцій обробки також задається в табличній формі. У табл. виділені структури технологічних операцій обробки зовнішніх і торцевих поверхонь деталей класу «вали» і наведено їх коди. Всі операції розділені на дві групи.

Перша містить коди операцій від 001 до 099, що відповідає операціям з використанням сучасного лезового інструменту, що забезпечує обробку незагартованих матеріалів. В операціях з кодами більше 100 обробка більше 100 обробка здійснюється абразивним, алмазним (включно лезовим із синтетичних

Таблиця – Коди структур технологічних операцій при обробці
зовнішніх поверхонь обертання

Характеристика структури операції	Код структури
Послідовна обробка методом пробних проходів і промірів; ручне управління верстатом; ручне закріплення заготовки; однопозиційна (універсальні верстати)	1
Послідовна обробка по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (верстати з ЧПК)	2
Послідовно-паралельна обробка по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (гідрокопіювальні верстати)	3
Паралельна обробка по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (багаторізцеві напівавтомати)	4
Паралельна обробка по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; багатопозиційна (багатошпиндельні напівавтомати безперервної дії)	5
Паралельно-послідовна обробка врізанням по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (торцекругло- шліфувальні врізні напівавтомати)	6
Паралельна обробка врізанням по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (багатокаменеві шліфувальні врізні напівавтомати)	7
Послідовна обробка по налаштуванню; автоматизоване управління верстатом; автоматизоване закріплення заготовки; безперервна (безцентрово-шліфувальні верстати)	8
Послідовна обробка по налаштуванню; ручне управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (суперфінішні, полірувальні верстати)	9
Послідовна обробка врізанням; автоматизоване управління верстатом; механізоване закріплення заготовки; однопозиційна (круглошліфувальні врізні напівавтомати)	10

надтвердих матеріалів) інструментом, що дозволяє обробляти як незагартовані, так і загартовані матеріали. Чорнова і чистова обробки здійснюються на верстатах нормальної (або підвищеної) точності, а тонка і фінішна – на верстатах високої точності.

Вибір оптимальної технологічної операції проводиться з використанням розроблених таблиць вибору кодів технологічних операцій. Приклад такої таблиці для варіанта обробки зовнішніх поверхонь обертання – табл. 3.7. У ній використані коди можливих технологічних операцій для чорнкової, чистової, тонкої і фінішної стадій обробки (табл. 3.8).

Таблиця 3.7 – Таблиця вибору кодів технологічних операцій при обробці зовнішніх поверхонь обертання

Код стадії обробки	1				2				3				4			
Код типу виробництва	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Код операцій	009	010	012	012	009	012	012	012	021	021	103	104	102	102	103	109
	010	013	013	013	011	011	105	105	009	009	009	009	103	103	109	127
	014	014	022	022	014	014	022	022	101	101	106	106	018	123	127	129
	–	–	–	–	101	101	103	104	103	103	107	019	019	129	128	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Як видно з табл. 3.7 і 3.8, для певних стадій обробки і типу виробництва є можливість вибрати і проаналізувати три-чотири види операцій, що відрізняються головним чином структурою. Структура технологічної операції може бути одно- і багатоінструментальною, одно- і багатопозиційною. Структура істотно впливає на трудомісткість обробки і відповідно на її продуктивність і собівартість.

Створення структур технологічних операцій ведеться в двох напрямках:

- за рахунок поєднання елементів основного часу t_o (послідовна, паралельно-послідовна і паралельна обробка);

за рахунок поєднання елементів допоміжного часу $t_b = t_{\text{вим}} + t_{\text{вз}} + t_x$, що витрачається на вимірювання і ручне підналагодження обладнання методом

пробних проходів ($t_{\text{вим}}$), на встановлення та знімання деталей ($t_{\text{вз}}$), на виконання холостих ходів (t_x).

Таблиця 3.8 – Коди технологічних операцій при обробці зовнішніх поверхонь обертання

Код операції	Найменування операції	Код структури
009	Токарно-гвинторізна	1
010	Токарна з ЧПК центрована	2
011	Токарно-гвинторізна високої точності	1
012	Токарна напівавтоматна багаторіздева одношпіндельна	4
013	Токарно-копіювальна	3
014	Токарна з ЧПК патронно-центрована	2
018	Токарно-обкаточна	1
019	Токарна фінішна	1
021	Токарна з ЧПК високої точності	2
022	Токарна напівавтоматна багатошпіндельна багаторіздева безперервної дії	5
101	Круглошліфувальна поздовжня	1
102	Круглошліфувальна поздовжня високої точності	1
103	Круглошліфувальна з ЧПК	2
104	Круглошліфувальна врізна напівавтоматна багатокаменева	7
105	Круглошліфувальна врізна напівавтоматна	10
106	Торцекруглошліфувальна врізна напівавтоматна	6
107	Безцентрово-шліфувальна	8
109	Безцентрово-доводочна	8
123	Доводочно-притирочна	1
127	Суперфінішна	9
128	Алмазно-вигладжувальна	1
129	Полірувальна пелюстковим кругом	9

Після визначення групи можливих операцій необхідно вирішити задачу вибору відповідних моделей верстатів. ця процедура виконується на основі аналізу масиву верстатів *MST* з урахуванням виду операцій і габаритних розмірів оброблюваної деталі. В якості прикладу приведена табл. 3.9 вибору кодів моделей верстатів для токарно-гвинторізної операції (табл. 3.10). За кодом верстата з масиву *MST* визначають розміри зони обробки і наведені часові витрати $C_{\text{чi}}$ (табл. 3.10); дані по витратах носять умовний характер у зв'язку

з нестабільністю вартості складових, що входять до них.

Вибір оптимальної технологічної операції, як уже зазначалося, передуює проектуванню операції по переходах з визначенням режимів різання, тому на даному етапі не можуть бути використані точні методи поелементного нормування. Однак можна використовувати методи більш укрупненого нормування по порівняно з формулою (3.16).

Таблиця 3.9 – Фрагмент таблиці вибору кодів моделей верстатів для токарно-гвинторізної операції в залежності від діаметра і довжини деталі

Діаметр D , мм, не більше	Довжина L , мм, не більше			
	250	500	700	1400
40	0,01	0,01	0,02	0,02
100	0,01	0,01	0,02	0,02
160	0,01	0,01	0,02	0,02
300	0,03	0,03	0,03	0,03

Ступінь укрупнення нормативів визначає універсальність і відносну точність моделі, тому в кожному конкретному випадку необхідно будувати модель оптимальної складності. Розглянемо в якості критерію оптимальності штучний час обробки

Таблиця 3.10 – Фрагмент масиву верстатів MST

Код верстату	Модель верстату	Найменування верстату	Розміри зони обробки, мм		Приведені годинні витрати
			D_{max}	L_{max}	
001	ТВ-7	Токарно- гвинторізний	100	330	100*
002	16BT20П		250	1000	250*
003	ГС526У-02		275	2000	330*

- * Умовні значення

Трудомісткість операцій по обробці деталі може бути представлена у вигляді суми елементів норм часу:

$$T_{\text{шк}} = (t_{\text{o.p}} + t_{\text{o.m}}) + t_{\text{в}} + t_{\text{с.у}} + t_{\text{обс}} + T_{\text{пз}} / N, \quad (3.17)$$

де $(t_{\text{o.p}} + t_{\text{o.m}})$ – основний час обробки відповідно основних і допоміжних поверхонь;

$t_{\text{в}}$ – допоміжний час на виконання операції;

$t_{\text{с.у}}$ – час на встановлення і зняття заготовки;

$t_{\text{обс}}$ – час на обслуговування верстата і час на перерви для відпочинку робітника;

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заклучний час;

N – число заготовок в партії.

В умовах укрупненого нормування основний час обробки t_o окремих циліндричних поверхонь можна визначати по емпіричних залежностях виду

$$t_o = k_p \cdot k_m \cdot D \cdot L, \quad (3.18)$$

де k_p – коефіцієнт, що відображає середньостатистичний рівень режимів різних методів і стадій обробки поверхонь деталі зі сталі 45 стандартним інструментом (табл. 3.11);

k_m – коефіцієнт матеріалу, що враховує його оброблюваність в порівнянні з оброблюваністю сталі 45;

D, L – відповідно діаметр і довжина оброблюваної поверхні

Таблиця 3.11 – Значення коефіцієнтів режимів різання k_p

Стадія обробки	Метод обробки	$k_p \cdot 10^{-3}$
Чорнова	Точіння	0,100
Чистова	Точіння	0,175
	Шліфування	0,120
Тонка	Точіння	0,200
	Шліфування	0,180
Фінішна	Шліфування	0,300
	Доведення	0,800
	Суперфінішування	0,350
	Обкатування	0,100
	Вигладжування	0,450
	Полірування пелюстковими кругами	0,300

Залежно від виду обробки розрізняють коефіцієнт $k_{\text{мл}}$ для лезового і $k_{\text{ма}}$ для абразивного інструменту. На основі статистичного аналізу норм часу для різних технологічних операцій виготовлення валів залежність (3.18) може бути представлена у вигляді

$$t_o = k_p \cdot k_m \cdot k_3 \cdot k_{\text{тр}1} \cdot D_{\text{пр}} \cdot \sum_{i=1}^p L_i, \quad (3.19)$$

де k_3 - коефіцієнт, що враховує додатковий час, який необхідно витратити, щоб надати прийнятій заготовці форму і розміри уніфікованої заготовки (в якості такої заготовки для східчастих валів прийнята штампування нормальної точності); k_3 вводиться в розрахунок тільки на чорновий стадії обробки і визначається співвідношенням маси заготовки $M_{\text{заг}}$ і маси деталі $M_{\text{д}}$,

$$k_3 = 0,787 \cdot M_{\text{заг}} / M_{\text{д}}^{0,67},$$

$k_{\text{тр}1}$ - коефіцієнт трудомісткості обробки основних поверхонь, враховує вид структури виконуваної операції (див. табл. 3.6);

$D_{\text{пр}}$ - приведений діаметр основних поверхонь, який визначається за формулою

$$D_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^p D_i \cdot L_i / \sum_{i=1}^p L_i.$$

Аналогічно можуть бути отримані залежності для інших елементів норми часу, що входять в формулу (3.17):

$$t_{\text{о.м}} = k_m \cdot k_{\text{тр}2} \cdot D_{\text{пр}} \cdot M_{\text{д}} \cdot 10^3,$$

$$t_{\text{с.у}} = k_{\text{тр}3} \cdot (0,44 + 0,4 \cdot M_{\text{д}}),$$

$$t_{\text{в}} = 0,666 \cdot k_{\text{тр}4} \cdot D_{\text{пр}}^{0,27} \cdot L_{\text{д}} \cdot Q^{0,854},$$

$$t_{\text{обс}} = k_{\text{тр}5} \cdot (t_{\text{о.п}} + t_{\text{о.м}} + t_{\text{в}} + t_{\text{с.у}}),$$

$$T_{\text{пз}} = 22 \cdot k_{\text{тр}6}.$$

де $k_{\text{тр}2}, k_{\text{тр}3}, k_{\text{тр}4}, k_{\text{тр}5}, k_{\text{тр}6}$ - коефіцієнти трудомісткості відповідно обробки додаткових поверхонь, зняття і установки заготовки, виконання

допоміжних операцій, обслуговування верстата і підготовчо-заклучних робіт в залежності від структури операції (табл. 3.12); L_d – довжина деталі.

Таблиця 3.12 – Значення коефіцієнтів трудомісткості $k_{тр}$ для різних операцій

Код структури операції	$k_{тр1}$	$k_{тр2}$	$k_{тр3}$	$k_{тр4}$	$k_{тр5}$	$k_{тр6}$
1	1,0	1,2	1,0	1,0	0,04	1,0
2	0,8	0,8	0,8	0,1	0,04	0,5
3	0,8	0,0	0,8	0,1	0,07	$0,68 + 0,1M$
4	$1,3L_{i\max}/5\Sigma L_i$	0,0	0,8	0,1	0,08	$0,45+0,22 P+0,1M$
5	$1,3L_{i\max}/5\Sigma L_i$	0,0	0,0	0,1	0,10	$0,45+1,1 P+0,5M$
6	$30P_i / 5\Sigma L_i$	0,0	0,8	0,1	0,125	1,0
7	$30P_i / \Sigma L_i$	0,3	0,8	0,1	0,125	5,0
8	$10P_i / \Sigma L_i$	0,0	0,1	0,0	0,155	1,0
9	1,0	0,0	0,8	0,1	0,1	1,0
10	$30P_i / \Sigma L_i$	0,8	0,8	0,1	0,125	1,0

Для визначення $T_{шк}$ по формулі (3.17) для умов серійного виробництва необхідно додатково визначити величину партії запуску заготовок. Кількість заготовок в партії залежить від габаритних розмірів деталі і її конструктивної складності, яка визначається в цьому випадку числом оброблюваних поверхонь.

Для побудови алгоритмів визначення партії запуску для деталей типу «Вал» вводиться класифікація за габаритами (табл. 3.13) та конструктивною складністю деталей (табл. 3.14).

Таблиця 3.13 – Класифікація деталей за габаритами

Характеристика	Габарити, мм		Код
	D_{max}	L_{max}	
Малі	≤ 40	≤ 250	1
Невеликі	≤ 100	≤ 500	2
Середні	≤ 300	≤ 700	3
Великі	> 300	> 700	4

Таблиця 3.14 – Коды деталей за конструктивною складністю

Найменування	Кількість поверхонь, що оброблюються	Код
Найпростіші	≤ 3	1
Прості	≤ 20	2
Середньої складності	≤ 40	3
Складні	> 40	4

Число заготовок n в партії запуску визначається в частках програми N річного випуску деталей:

$$n = \gamma_i \cdot N$$

де γ_i - коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт пропорційності γ_i є функцією габаритів і конструктивної складності деталей і визначається на підставі регресійного аналізу статистичних даних (табл. 3.15).

Таблиця 3.15 – Величини коефіцієнта пропорційності γ_i в залежності від габаритів і складності деталей

Коди деталей		γ_i	Коди деталей		γ_i
за габаритами	за складністю		за габаритами	за складністю	
1	1	0,10	1	1	0,06
	2	0,09		2	0,05
	3	0,08		3	0,04
	4	0,07		4	0,03
2	1	0,08	2	1	0,035
	2	0,07		2	0,03
	3	0,06		3	0,025
	4	0,05		4	0,02

Алгоритм вибору оптимальних технологічних операцій (рис. 3.5) являє собою послідовне виконання наступних процедур: введення вихідних даних, визначення необхідного числа стадій обробки, вибір груп операцій для кожної стадії обробки, вибір моделей верстатів, визначення структури операцій,

розрахунок штучного часу, визначення собівартості виконання всіх обраних операцій і вибір оптимальної технологічної операції.

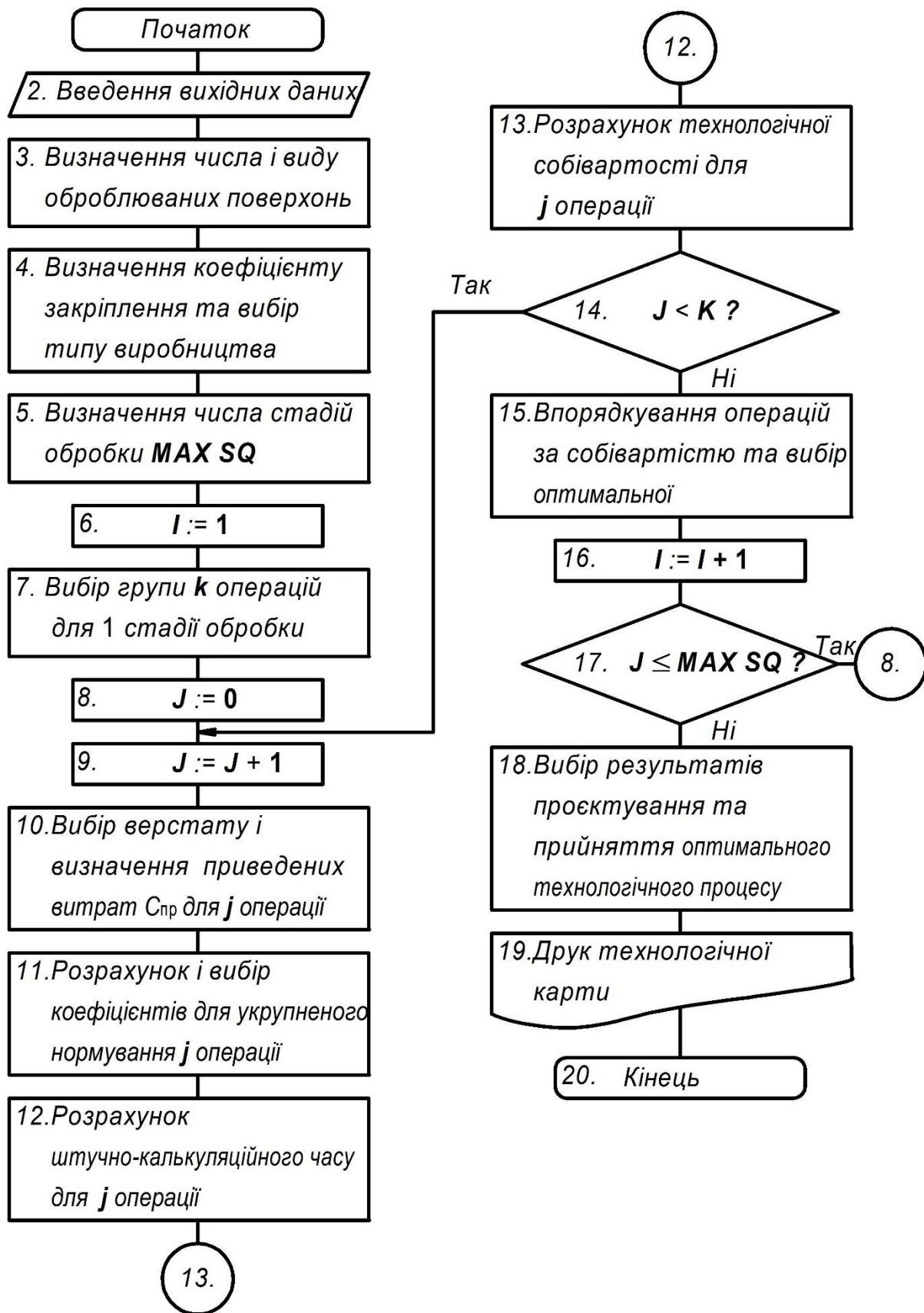


Рисунок 3.5 – Схема алгоритму вибору оптимальної технологічної операції

Результат проектування здійснюється у вигляді технологічних карт.

Програма автоматизації вибору оптимальних технологічних операцій для різних стадій може бути виконана в діалоговому режимі, що дозволяє поряд з автоматизованим рішенням завдання провести користувачем остаточну оцінку результатів проектування.

3.3.4. Вибір раціональної системи верстатних пристосувань

Ефективність технологічних процесів залежить від правильного, технічно і економічно обґрунтованого вибору різних видів оснастки. В даний час вибір ріжучих, допоміжних і вимірювального інструментів, верстатних пристосувань в САПР ТП зазвичай виконується на основі аналізу таблиць вибору рішень для конкретних видів технологічної оснастки. Незважаючи на те що при складанні таблиць вибору рішень розробники САПР ТП прагнуть закласти в них найбільш раціональні варіанти, використання зазначених таблиць для конкретних умови не завжди дає оптимальне рішення.

Верстатні пристосування призначені для вирішення трьох основних завдань:

- 1) забезпечення заданої точності обробки;
- 2) підвищення продуктивності;
- 3) полегшення праці робітників.

Для виконання операції ТП можуть бути використані пристосування, рівноцінні за точністю, але різні за складністю, собівартості і продуктивності. Вибір систем оснащення для нового виробу залежить також від можливості використання наявних на підприємстві пристосувань, від перспективної програми випуску освоєваних машин.

Далі розглядається один з методів структурної оптимізації ТП - вибір системи верстатних пристосувань. Від вирішення цього завдання в значній мірі залежать трудомісткість і собівартість ТП механічної обробки.

У машинобудуванні використовується шість основних систем верстатних пристосувань (СВП):

- універсально-збірні пристосування (УСП);
- універсально-безналадочні (УБП);
- збірно-розбірні (УРП);
- універсально-налагоджувальні (УНП);
- спеціалізовані налагоджувальні (СНП);
- нерозбірні спеціальні (НСП).

Примітка. УСП ефективно застосовуються в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва. Їх збирають з готових деталей і складальних одиниць високої міцності і точності без подальшого доопрацювання. УСП недоцільно використовувати в умовах серійного і великосерійного виробництва, так як при великих навантаженнях відбувається порушення стикових з'єднань деталей УСП і стабільності параметрів точності. Крім того, основні елементи УСП схильні до корозії і не можуть довго експлуатуватися.

УБП являють собою закінчені механізми багаторазового використання. Вони застосовуються в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва для оснащення операцій з малим підготовчим часом. Для підготовки УБП до роботи потрібні менші витрати часу в порівнянні з іншими видами оснащення, крім спеціального. Окремі пристосування не мають комплексу стандартних настановних, напрямних і інших елементів. Це обмежує універсальність пристосувань, їх технологічні можливості, одержувану точність обробки.

УРП відрізняються більш високою, ніж УСП, жорсткістю і надійністю. Вони використовуються в дрібносерійному і серійному виробництві. УРП мають високі оперативність збирання, рівень механізації, точність, продуктивність, **ефективно застосовуються на верстатах з ЧПУ**. Однак через відсутність уніфікації з іншими видами переналагоджуваного оснащення необхідно проектувати спеціальні деталі і перехідні елементи, що збільшує час підготовки пристосувань до роботи.

УНП складаються з базової одиниці і налагоджувальної частини. Вони застосовуються в дрібносерійному, серійному і великосерійному виробництві для групової обробки деталей.

СНП складаються зі спеціалізованої, найчастіше механізованої, базової складальної одиниці і спеціальних змінних налагоджень для установки близьких за схемами базування і закріплення оброблюваних деталей. Вони застосовуються як в дрібносерійному, так і в великосерійному виробництві. До недоліків УНП і СНП відноситься необхідність проектування і виготовлення спеціальних змінних налагоджень або налагоджувальних регульованих елементів.

НСП - незворотні конструкції, не призначені для розбирання з метою повторного використання. Їх застосовують в основному в умовах великосерійного і масового виробництва при рідкісній зміні номенклатури виробів.

В даний час розроблена методика вибору раціональних систем верстатних пристосувань на основі оцінки ефективності їх використання в залежності від завантаження, тобто від коефіцієнта k_z і періоду виробництва виробів $T_{\text{п}}$.

Наступним важливим обмеженням використання конкретної системи (УСП, СНП, УНП, УРП) є тривалість випуску $T_{\text{в}}$ деталей, що оснащуються, в порівнянні з мінімальним встановленим терміном випуску T_{min} , для якого доцільно створення спеціалізованого обладнання. Крім того, обмеженням є вартість оснащення C_s . пристосуваннями тієї чи іншої системи, що розраховується на основі даних довідкового масиву.

Вибір типу СВП здійснюють на основі планово-організаційних, технологічних і конструкторських даних про оброблювані деталі. Ці дані порівнюються з наявними в масивах інформації відомостями про можливості і конструктивні особливості різних СВП. Після аналізу всіх умов вибираються

системи, які за своїми параметрами можуть забезпечити при обробці деталей виконання заданих вимог. Якщо САПР запропонувала більш одного можливого варіанту, то технолог приймає рішення про вибір конкретної СВП на основі виробничого досвіду. При наявності уточнюючих відомостей стосовно виробничого підприємства, що розглядається, цей етап проектування може бути повністю автоматизований (рис. 3.6).

Після введення даних в діалоговому режимі в блоці 3 виконується розрахунок коефіцієнта завантаження пристосування по відомим в технології машинобудування залежностями. У блоці 4 вибирається СВП, верстатні пристосування якої можуть забезпечити необхідну точність обробки деталей. У блоці 5 визначається можливість ефективного застосування СВП на різних за ступенем універсальності верстатах: 1 - універсальних, 2 - автоматах і напівавтоматах, 3 - спеціалізованих, 4 - спеціальних. У блоці 6 виконується порівняння габаритних розмірів оброблюваної деталі з гранично можливими їх значеннями для різних СВП на даній операції.

При машинної реалізації блоків 4, 5 і 6 можуть використовуватися матричні форми подання масивів інформації, відповідним