НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

на правах рукопису
УДК 658.512:621.7:001.5

ГЛОБА ЛАРИСА СЕРГІЇВНА

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МЕХАНООБРОБЛЮЮЧОГО ВИРОБНИЦТВА.

СПЕЦІАЛЬНІСТІ 05.13.05 - Системи автоматизації проектування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 1996

004

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00757061 (Q)

Нв. 36.090

Дисерта

Роботу в[illegible] на кафедрах технології приладобудування та САПР Національного Технічного Університету України "Київський політехнічний інститут"

Наукові консультанти: доктор технічних наук, професор Остаф'єв В.О.

доктор технічних наук, професор Петренко А.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Забара С.С.

доктор технічних наук, професор Молчанов О.А.

доктор технічних наук, професор Зенкін А.С.

Провідна установа : Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування.

Захист відбудеться 16 грудня 1996 року о 14-30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.02.17 в Національному Технічному Університеті України "Київський політехнічний інститут"

за адресою: 252056, Київ-56, проспект Перемоги 37, корп. 12 ауд. 114.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного Технічного Університету України "Київський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий "____" листопада 1996 року

Вчений секретар спеціалізованої ради Д 01.02.17

Загальна характеристика роботи

Актуальність тематики дисертаційної роботи. Характерними рисами сучасного виробництва є випуск виробів з більш високими показниками рівня технологічної підготовки виробництва (ТПВ), що обумовлено підвищеною складністю конструкцій виробів, підвищенням вимог до їх розробки та виготовлення, частою зміною їх номенклатури, а відповідно, зростанням циклу та обсягів підготовки виробництва. Основу любого виробничого процесу складає технологія виготовлення деталі і саме в ній закладено потенційні можливості підвищення економічної ефективності виробництва.

Разом з тим методологія ЕСТПВ має ряд суттєвих недоліків, які обмежують можливість її використання при створенні комп'ютерних технологій ТПВ, необхідність в чому об'єктивно існує через значну працемісткість процесу технологічної підготовки виробництва: в комплексі проектних робіт на виробництві розробка технологічного проекту в ряді випадків за працемісткістю складає біля половини усіх витрат на проектування. Всі відомі в світовій практиці спроби комп'ютеризації ТПВ базуються на методологіях, еквівалентних ЕСТПВ. Тому вони принципово не придатні для використання в практиці ТПВ. Саме за цією причиною технологічні служби вітчизняних підприємств мають досить низький та малоефективний рівень комп'ютеризації.

Можливість усунення вказаних недоліків методології ЕСТПВ існує, але вона в першу чергу полягає в необхідності створення принципово нової методології технологічної підготовки механооброблюючого машинобудівного виробництва, передбачаючої рішення наступних проблем: - створення теорії сучасної комп'ютеризованої ТПВ; - створення алгоритмичного забезпечення на основі такої теорії; - використання можливостей штучного інтелекту при оптимізації індивідуальних та колективних рішень в процесі проектування технологічних процесів виготовлення деталей; - розробки та реалізації інтелектуальної комп'ютерної гнучкої технології технологічної підготовки машинобудівного виробництва.

Тому розробка теорії та формалізованої методології технологічного проектування, призначеної для створення гнучких інтелектуальних комп'ютерних технологій технологічної підготовки механооброблюючого виробництва, є досить актуальною задачею.

Мета даної дисертаційної роботи полягає в розробці нової методології технологічної підготовки виробництва, яка відкриває можливості для створення інтелектуальної комп'ютерної інформаційної технології технологічної підготовки виробництва та забезпечує формування документів ТПВ на основі :

- функціонально повного переліку елементарних, алгоритмично коректних функціональних задач, призначених для проектування документів ТПВ;
- методів прийняття оптимальних колективних технічних рішень з використанням штучного інтелекту;
- принципів гнучкої адаптації до конкретного виробничого середовища та вимог сучасного ринку;

та такої, що дозволяє підвищити ефективність та якість технологічної підготовки машинобудівного виробництва, наблизити якість продукції до рівня світових стандартів.

Основні задачі дослідження:

1. Аналіз методології та теоретичних положень розробки технологічних процесів та документів технологічної підготовки виробництва для машино- та

Львів. В. Стефаника
АН УРСР

приладобудування, а також можливостей відомих комп'ютерних технологій виробництва з метою визначення направлення їх удосконалення.
2. Розробка (на основі загальних правил формування технології виготовлення деталей в машинобудуванні) нової формалізованої теорії системного (взаємопов'язаного в просторі усього комплексу задач технологічної підготовки виробництва) проектування технологічних процесів та документів технологічної підготовки машинобудівного виробництва, призначеної для створення інтелектуальної комп'ютерної технології конструкторсько-технологічного проектування.
3. Створення алгоритмічного забезпечення для нової методології проектування документів технологічної підготовки машинобудівного виробництва.
4. Використання можливостей штучного інтелекту при оптимізації індивідуальних та колективних технічних рішень, що наповнюють документи ТПВ.
5. Розробка та реалізація гнучкої інтелектуальної комп'ютерної технології технологічної підготовки машинобудівного виробництва, яка основана на новій методології.

Методи досліджень:

Поставлені задачі визначили методи досліджень, що використовувалися. При виконанні роботи використовувалися теоретичні та експериментальні методи досліджень. Теоретичні дослідження включали математичне моделювання та класифікацію об'єктів проектування: виробів, деталей, техпроцесів, виявлених закономірностей конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Робота базується на логічному аналізі та узагальнені передового вітчизняного та закордонного досвіду автоматизації процесу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, а також виробка на цій основі якісно нових методологічних рішень, які запропоновані для практичного використання при комп'ютеризованому виготовленні деталей та виробів широкого діапазону складності (зі складними як геометрично, так і технологічно характеристиками). Для формалізації системних характеристик об'єктів дослідження, а також конструкторсько-технологічних закономірностей використовувався апарат математичної логики, теорії множин, теорії баз даних та теорії систем, теорії програмування, об'єктно-орієнтованого аналізу, штучного інтелекту.

Запропоновані методи та програмне забезпечення, що їх реалізує, ***досліджувались експериментально*** при впровадженні та промисловій експлуатації комп'ютерних технологій конструкторсько-технологічної підготовки діючого виробництва. При цьому використано сучасне апаратне та базове програмне забезпечення.

Наукова новизна роботи:

Розроблена нова методологія технологічної підготовки виробництва, яка призначена для створення гнучкої інтелектуальної комп'ютерної технології конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівного виробництва, що дозволяє в 3-5 разів скоротити строки підготовки виробництва та наблизити якість випускаємої продукції до рівня світових стандартів. У складі методології розроблено : -нова теорія системного (взаємопов'язаного в просторі усього комплексу функціональних задач технологічної підготовки виробництва) проектування технологічних процесів та документів ТПВ; -математичні моделі предметів і процесів , що складають суть теорії; -методи рішення елементарних функціональних задач проектування документів ТПВ; -методика прийняття оптимальних колективних технічних рішень на основі динамічного програмування в умовах єдиного комп'ютеризованого інформаційного простору конкретного виробничого середовища; - визначено перелік інтелектуальних задач, призначених для формування документів ТПВ та розроблено концепції для створення оболонок

експертних систем, що реалізують рішення кожної інтелектуальної задачі вказаного переліку. Розроблено алгоритмічне забезпечення для запропонованої методології в цілому. Створена та реалізована інтелектуальна комп'ютерна технологія конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівного виробництва на основі розробленої нової методології.

Практичне значення роботи полягає у вкладі в удосконалення конкретного виробництва, що складається з :

1. Створення сучасної високоефективної гнучкої інтелектуальної комп'ютеризованої технології конструкторсько-технологічної підготовки механооброблюючого виробництва, яка дозволяє швидко та легко реагувати на зміну номенклатури деталей, значно скоротити цикл підготовки виробництва виробів довільної складності, що виражається в скороченні строків ТПВ в 3-5 разів, оперативно та своєчасно реагувати на вимоги ринку.
2. Впровадження інтегрованої інтелектуальної комп'ютерної технології конструкторсько-технологічної підготовки механооброблюючого виробництва на машинобудівних підприємствах замість традиційних методів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

Реалізація роботи. Всі теоретичні дослідження були застосовні при розробці та впровадженні значної гами систем конструкторсько-технологічної підготовки виробництва на конкретних підприємтсвах, зокрема Київському мотоциклетному заводі, Київських виробничих об'єднаннях "Завод Арсенал", "ім. Артема", "ім. Петровського", "Веста", Хмельницькому виробничому об'єднані "Темп", дослідному підприємстві ІСМ та учбовому процесі на кафедрах САПР та технології приладобудування НТУУ "КПІ". На основі розроблених принципів автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва було розроблено ряд архівів та баз даних конструкторської та технологічної документації, інструментів та обладнання, які впроваджено у виробництво. Методичні принципи розробки сучасних комп'ютерних технологій застосовано в учбовому процесі.

До захисту пропонуються наступні положення дисертаційної роботи:

1. Методологія і теоретичні положення системного (взаємопов'язаного в просторі усього комплексу задач технологічної підготовки виробництва) проектування технологічних процесів та документів технологічної підготовки машинобудівного виробництва.
2. Математичні моделі технологічних об'єктів та документів технологічної підготовки виробництва, зв'язків між характеристиками довільної номенклатури деталей та технологічними особливостями виробничого середовища підприємства.
3. Формалізовані методики гнучкого динамічного синтезу оптимальної структури технології виготовлення деталі з використанням систем штучного интелекту для організації процесу динамічної попарної взаємодії елементарних функціональних задач на всьому просторі комплексу задач технологічної підготовки механооброблюючого виробництва.
4. Методики оптимізації рішень кожної з функціональних задач технологічної підготовки виробництва на основі динамічного програмування, які обмежують потужність простору прийняття рішень та мінімізують кількість ітерацій при прийнятті колективних технічних рішень.
5. Інтелектуальне гнучке алгоритмічне та програмне забезпечення, що реалізує запропоновану методологію та дозволяє, по-перше, уникнути жорсткості розмірковувань та, по-друге, зменшити працемісткість алгоритмів, рішаємих функціональних задач технологічної підготовки виробництва мінімум на порядок.
6. Принципи створення систем штучного інтелекту в області технології машинобудування на основі предикатних моделей знань на відзнаку від

традиційних продуційних моделей, що дозволяють процес рішення задачі супроводжувати доказом вірогідності її рішення.

7. Інтелектуальна комп'ютерна технологія конструкторсько-технологічної підготовки механооброблюючого виробництва з високим рівнем інтеграції проектних рішень та мінімальними витратами на адаптацію для різноманітних галузей машинобудування.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних конференціях : "PROLAMAT-88", Dresden, GDR, 1988;14-th IFIP Conference on "System modeling and Optimization", Leipzig,GDR, July 3-7, 1989; The International Conference on Manufacturing Systems and Environment "Looking Toward the 21-st Century", JSME, Tokyo, Japan, 1990 ; The Fifth International Manufacturing Conference in CHINA 91 - IMCC 91, HONG KONG, 1991; International Computer Science Meeting "MicroCAD-system", Kharkov, 8-13 June 1993; міжнародній конференції "Оснастка-94", Київ, 1994;The 1-st ISICIMS'94 Conference, Seoul National University, 1994; The International Conference - JCCJM'95, Gintic Institute of Manufacturing Technology, Singapore, 1995; "Оснастка-96, Київ, 1996 та ряді всеукраїнських конференцій.

Публікації. Результати досліджень викладені в 67 роботах і монографії.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести глав, загальних висновків, викладених на 337 сторінках машинописного тексту, списку літератури з 120 найменувань, 6 додатків. Робота містить в собі 67 малюнків, 34 таблиці.

Основний зміст роботи

У роботі обгрунтовується актуальність проблеми, що досліджується, наводиться загальний огляд публікацій, пов'язаних з темою дисертації, наводиться перелік основних задач дослідження, зміст наукових положень, які складають новизну та практичну цінність роботи, та деякі питання реалізації науково-технічних результатів роботи. Робиться висновок про актуальність постановки в дисертаційній роботі такої загальної задачі як розробка нової методології технологічної підготовки виробництва, що відкриває можливості для створення інтелектуальної комп'ютерної інформаційної технології технологічної підготовки машинобудівного виробництва, яка забезпечує формування документів технологічної підготовки виробництва (ТПВ) на основі :

- функціонально повного переліку елементарних, алгоритмічно коректних функціональних задач, призначених для проектування документів ТПВ;
- методів прийняття оптимальних колективних технічних рішень з використанням штучного інтелекту та методу динамічного програмування;
- принципів гнучкої адаптації до конкретного виробничого середовища та вимог сучасного ринку;

та дозволяє підвищити ефективність та якість технологічної підготовки машинобудівного виробництва, що виразиться в скороченні строків ТПВ у 3-5 разів, наближенні якості продукції до рівня світових стандартів.

Проведено детальний огляд сучасних принципів розробки комп'ютерних технологій конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, методів автоматизованого проектування технологічних процесів, що використовуються, методів виготовлення деталей та порівняння можливостей зальновідомих технологій та систем як вітчизняних, так і закордонних.

Багаторічний досвід розробки вказаних документів ТПВ відповідно до методології ЕСТПВ на десятках машинобудівних підприємств України свідчить про те, що жодне з технічних рішень, які наповнюють документи, не

представляється можливим оптимізувати навіть за мінімальним набором критеріїв, що впливають на якість ТПВ. Причини цього суттєвого недоліку полягають у наступному:

1. Сам перелік функціональних задач проектування документів ТПВ, регламентований ЕСТПВ, не є коректним через змістовну неоднозначність кожної функціональної задачі проектування в залежності від типу формуємого документу. Породжує таку некоректність відірваність методології ЕСТПВ від умов конкретного виробництва та відсутність в методології механізму врахування його впливу. Цю першу причину можливо усунути, якщо перелік функціональних задач проектування документів ТПВ, який вміщується в ЕСТПВ замінити новим, розробленим автором в диссертації переліком функціональних задач проектування документів ТПВ.

2. В формуванні одного документу ТПВ на деталь середньої складності приймає участь приблизно 20 чоловік, фахівців різного профілю (фіг.1.1). Причому витрати праці кожного з них обчислюються від 3 до 10-ти чоловіко-днів. При тій структурі взаємозалежності за ісходними даними, необхідними для рішення елементарних функціональних задач проектування, які наповнюють оптимальними технічними рішеннями кожний документ технологічного процесу (фіг.1.2), очевидно, що за одну ітерацію всі взаємопов'язані задачі вирішити неможливо. Як мінімум кількість ітерацій дорівнює кількості фахівців, що приймають участь в процесі проектування технічних рішень. Максимальна ж кількість ітерацій дорівнює декартовому добутку варіантів технічних рішень, які може запропонувати кожний з фахівців, що беруть участь в формуванні документів ТПВ, якщо не використовувати метод динамічного програмування для оптимізації колективного рішення, приймаємого учасниками.

Таким чином, наявною є необхідність використання одного з методів оптимізації при прийнятті колективного рішення в процесі формування документів ТПВ. Такі вимоги в методології ЕСТПВ відсутні, так як і в науці, що називається "Технологія машинобудування". Цю другу причину можно усунути, якщо запропонувати принципово нову методологію формування документів ТПВ, основану, по-перше, на оптимізації кожного з технічних рішень, що наповнюють документи ТПВ, по-друге, таку, що обмежує потужність простору для прийняття рішень, а також використовує методи оптимізації, які мінімізують кількість ітерацій при прийнятті технічних рішень. Саме такий підхід й покладено автором в основу пропонуємої методології.

3. Методологія ЕСТПВ не врахує наявність інтелектуальних задач при прийнятті оптимальних рішень по кожній з елементарних функціональних задач проектування, що формують комплект документів ТПВ. Разом з тим, доля задач такої категорії при формуванні документів ТПВ досягає 80%. Вказаний недолік методології принципово виключає можливість придати методології властивість відкритості як системи, тобто поповнення інтелекта системи новими знаннями та методами рішення нових задач на цих знаннях.

Ефективно усунути цю причину дозволяє використання методів штучного інтелекту при формуванні документів ТПВ. Методологія ж, запропонована автором, як раз й базується на методах штучного інтелекту.

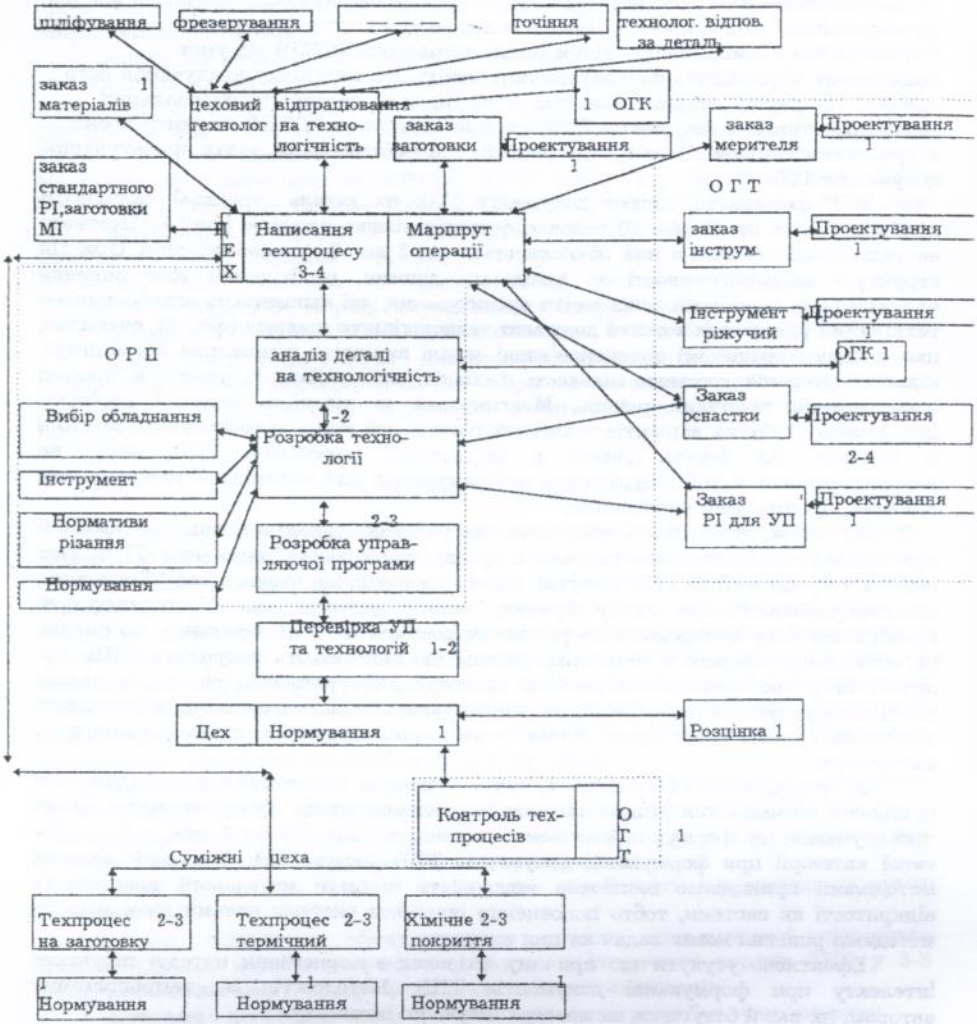
Все вищевикладене стало основною передумовою виконання роботи, тобто проведення аналізу та деталізації переліку функціональних задач, що виконуються в процесі технологічної підготовки виробництва та розробки:

1) методології системного (взаємопов'язаного в просторі усього комплексу задач технологічної підготовки виробництва) проектування документів ТПВ;

2) алгоритмів, що скорочують витрати праці, та відповідного програмного забезпечення для реалізації запропонованої методології;

3) введення систем штучного інтелекту в процес динамічної попарної взаємодії на всьому просторі комплексу задач технологічної підготовки виробництва;

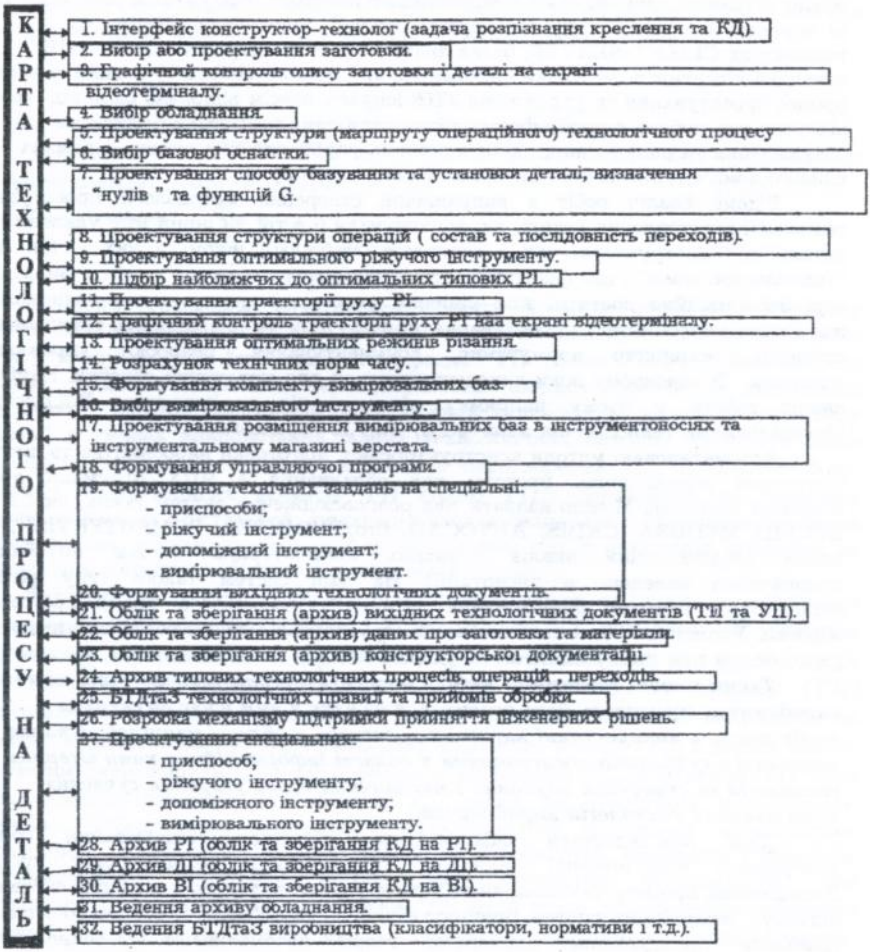
4) оптимізація рішень кожної з функціональних задач ТПВ на основі динамічного програмування;



Кількість фахівців, постійно зайнятих на 5 деталях = 20 чол.
1 вироб = 10 тис. деталей;
Працемісткість = 10^4 чол/дет;
Працемісткість виробу в чол/днях = $3x10^6$ чол/днів;
За запропонованою методикою = $3x10^5$ чол/днів.

Фіг. 1.1.

Структура інформаційної взаємодії на прикладі задачі проектування КТП на деталь.



Фіг. 1.2.

5) наповнення алгоритмів, що входять до алгоритмічного забезпечення, штучним інтелектом с метою:

а) по-перше, запобігання жорсткості розмірковувань;

б) по-друге, зменшення працемісткості алгоритмів, функціональних задач, що вирішуються, мінімум на порядок;

6) створення системи штучного інтелекту на основі предикатних моделей знань на відміну від традиційних продуційних моделей, які дозволяють процес рішення задачі супроводжувати доказом вірогідності її рішення.

При наявності вимог системного підходу до проблеми, ГОСТ 14.402-83, інш. ГОСТ, а також ЕСТПВ зпираються на методологично невірний часний підхід до

створення АС ТПВ, що вписується по ієрархії в систему АСУ виробництва. При цьому АС ТПВ повинна спиратися на ісходні дані, що представлено в особистій вхідній мові. Ничого не говориться взагалі про інформаційні протоколи (моделі) обміну в рамках єдиного комп'ютеризованого простору, про сучасні засоби зв'язку та передачі інформації типу "электронна пошта", мережевих технологіях, технологіях CLIENT-SERVER, базах знань і т.д. З аналізу ГОСТ та ЕСТПВ очевидна відсутність не тільки системного, але й якого-небудь сучасного подходу, процес проектування та управління ТПВ існують зовсім відірвано один від іншого, відсутня яка-небудь єдина інформаційна платформа підтримки прийняття оптимальних та раціональних інженерних та управленських рішень в рамках єдиного комп'ютеризованого інформацийного простору.

Відомо безліч робіт в направленні створення методології проектування технології виготовлення деталі, які враховували б в тій чи іншій мірі уявлення про деталь як конструктора, так і технолога. Найбільш відомі з них - так звані "технологічні мови" , що формують структурну модель деталі та які у визначеній мірі інформаційно достатні для рішення усього комплексу задач технологічної підготовки виробництва: проектування маршрутних та операційних технологічних процесів, технічного нормування, документування, розробки управляючої програми. В основному вони використовуються для механічної обробки. Найбільш значні роботи у цьому напрямку виконані під керівництвом В.Д.Цвєткова (формалізована технологічна мова-ФТЯ) та Г.К. Горанського .

Автоматизовані методи конструкторської підготовки виробництва та системи підготовки управляючих програм для обладнання з ЧПУ отримали досить широкий розвиток. Можно назвати ряд розповсюджених систем таких, як CATIA, EUCLID, MEDUSA, CADIS, AUTOCAD, Pro/ENGINEER, COMPUTERVISION та інших (порівняльний аналіз сучасних комп'ютерних систем виробничого призначення наведено в дисертації). На базі систем такого типу успішно вирішуються питання моделювання деталей та виробів, а також програм їх обробки. Узгодження між системами конструкторської та технологічної підготовки виробництва при цьому аж ні як не здійснюється.

Таким чином, традиційні методи конструкторсько-технологічної підготовки виробництва стримують його розвиток, у зв'язку з чим існує об'єктивна необхідність в використанні наукових досягнень в області машинобудування в поєднанні з сучасними досягненнями в області інформаційних комп'ютерних технологій та створення наукових і методичних основ розробки сучасних комп'ютерних технологій виробництва.

Далі розглядається інформаційна концепція моделювання об'єктів інтегрованої комп'ютерної технології проектування технологічних процесів. Дослідження процесу технологічного проектування ведеться з позицій: системного підходу , ієрархічних систем прийняття рішень та об'єктно-орієнтованого аналізу. Найбільш принциповим елементом теорії автоматизації технологічного проектування є встановлення подвійного значення її початкового поняття. Визначимо початкове поняття клас об'єктів "технологічний процес" - у "фізичній" трактовці через $ТПФ$ як відношення: $ТП \equiv ТПФ;$ (2-1)

$$ТПФ \equiv C_0 \rightarrow C_1 \rightarrow ... \rightarrow C_n$$

де C_n - поточний стан обробки, який характеризується визначеними геометричними, розмірними і якісними параметрами;

$\equiv$ - символ тотожності;

$\rightarrow$ - символ, який відображає зміни поточного стану об'єкту обробки.

З іншого боку, в поняття клас об'єктів "технологічний процес" часто вкладається значення, встановлене державними стандартами, тобто комплекту

технологічної документації, який описує послідовність зміни станів деталі $Д$ з відображенням використаних засобів виробництва, необхідного оснащення, режимів обробки, нормативів розходу матеріалів і витрат часу. Мова йде про інформаційне представлення класу об'єктів "технологічний процес" $(ТПІ)$ або про його інформаційну модель, тобто в даному випадку справедливо:

$$ТП \equiv ТПІ; \qquad (2\text{-}2)$$

$$ТПІ \equiv Ic_0 \rightarrow Ic_1 \rightarrow ... \rightarrow Ic_n$$

де Ic_n - інформаційний опис станів об'єкту обробки.

Співвідношення $ТПФ$ і $ТПІ$ може бути в загальному вигляді представлено відображенням $Ф$, тобто $Ф : ТПФ \rightarrow ТПІ$ $(2\text{-}3)$

або більш докладно: $Ф_0 : C_0 \rightarrow Ic_0$,

$$Ф_1 : C_1 \rightarrow Ic_1, \qquad (2\text{-}4)$$

$$Фn : C_n \rightarrow Ic_n$$

Подвійна трактовка початкового поняття дозволяє виявити характер об'єктів дослідження і розглянутої проблемної області. Так, при вивченні фізичного аспекту класу об'єктів "технологічний процес" $ТП$ (тобто $ТПФ$) ставиться, як правило, задача виявлення закономірностей формоутворення і досягнення точносних і якісних параметрів об'єкту, який належить до класу об'єктів типу "деталь" в умовах використання різних технологічних методів, тобто має місце клас функціональних технологічних методів перетворення $ТП$. З другого боку, вивчення інформаційних аспектів $ТП$ (тобто $ТПІ$) спрямоване на розробку комплексу наказів і інструкцій, виконання яких забезпечило б отримання кінцевих характеристик об'єкту обробки при оптимізованих або оптимальних витратах на реалізацію конкретного об'єкта "технологічний процес".

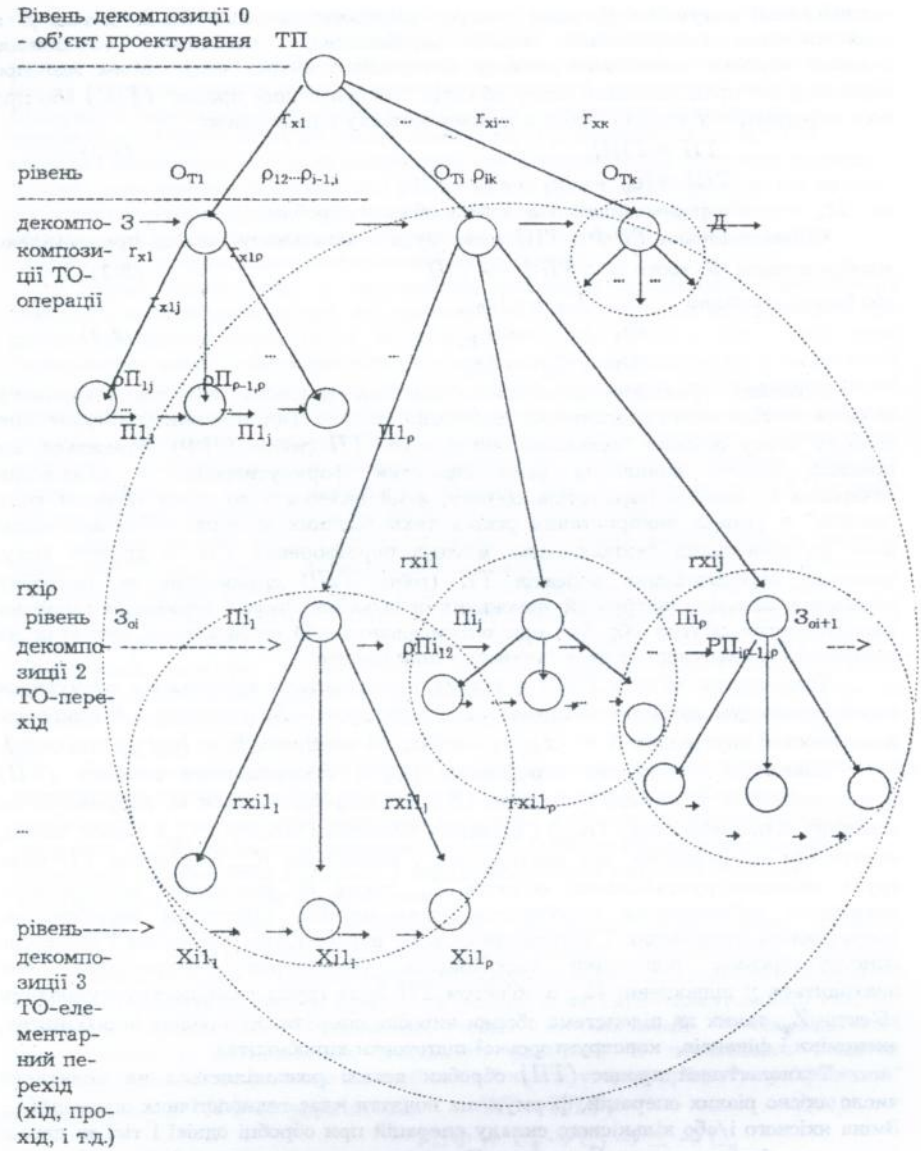
Технологічні об'єкти $(ТО)$ в цілому визначаються зв'язками з оточуючим середовищем (умовами виробництва) - Z, структурою - S, функцією - F і набором властивостей внутрішніх $X = \{x_1, x_2, ... , x_n\}$ і зовнішніх $Y = \{y_1, y_2, ... , y_n\}$.

Взаємодія оточуючого середовища (Z) і технологічного процесу $(ТП)$ представляється у вигляді відношень (R), які підрозділяються за напрямком на множину відношень входу (R_{vx}) і множину відношень виходу (R_{vy}). Таким чином, оточуючим середовищем, яке знаходиться у відношенні R_{vx} з об'єктом $ТП$ буде група складноструктуйованих об'єктів Z_x, таких як підсистема матеріально-технічного забезпечення виробництва, технологічної підготовки виробництва, оперативного планування і регулювання ходу виробництва, економіки і фінансів, конструкторської підготовки виробництва. Оточуючим середовищем, яке знаходиться у відношенні R_{vy} з об'єктом $ТП$ буде група складноструктуйованих об'єктів Z_y, таких як підсистема зборки виробів, оперативного обліку виробництва, економіки і фінансів, конструкторської підготовки виробництва.

Технологічний процес $(ТП)$ обробки деталі розподіляється на визначене число якісно різних операцій, формуючих поняття клас технологічних операцій O_m. Зміна якісного і/або кількісного складу операцій при обробці однієї і тієї ж деталі викликає зміну структури S процесу. Це положення справедливе і для всіх інших складноструктуйованих технологічних об'єктів.

Однаковий якісний і кількісний склад ще не свідчать про ідентичність структури технологічних об'єктів $(ТО)$. Сукупність трьох ознак: якість частин, кількість частин і їх взаємне розташування характеризує спосіб структування технологічного об'єкту $(ТО)$.

Традиційний досвід проектування технологічного процесу $ТП$ визначає



Фіг. 2.1. Структурна модель об'єкту проектування - "технологічний процес". З-Заготовка на деталь; Д-Готова деталь; $З_{oi}$-стан деталі, що оброблюється, після $О_{ті-1}$; $З_{oi+1}$-стан деталі, що оброблюється, після $О_{ті}$;

ступінь його необхідної деталізації на передбачені діючими державними стандартами поняття: технологічний маршрут, технологічна операція, технологічний перехід, робочий і допоміжні ходи. Найбільш загальне представлення про $ТП$ дає технологічний маршрут M обробки деталі, який визначає необхідну послідовність виконання технологічних операцій O_{mn}, тобто

$$M = O_{m1} - < O_{m2} - < \dots - < O_{mn} \qquad (2\text{-}5)$$

де $- <$ - символ передування.

Кожна операція зі свого боку визначає послідовність виконання технологічних переходів $П_m$, тобто $O_n = П_1 - < П_2 - < \dots - < П_m$ (2-6).

Нарешті, окремий технологічний перехід при необхідності розбивається на елементарні складові, які називаються робочими або допоміжними ходами X_y, тобто $П_m = X_1 - < X_2 - < \dots - < X_y$ (2-7).

Розглядання технологічного переходу в такій площині представляє найбільший інтерес при використанні верстатів з *ЧПУ*. В даному випадку кожний окремий робочий або допоміжний хід X_y можна ототожнити з елементарною функцією обладнання з *ЧПУ*, тобто $X_y = Ф_\tau$, (2-8)

що дозволяє зрозуміти "механізм" проектування технологічного процесу на найнижчому його рівні (розробка управляючих програм *ЧПУ*). Вирази (2-5) - (2-8) в сукупності визначають не тільки макроструктуру технологічного процесу, але й деякі окремі проектні функції при його розробці. Відношення взаємозв'язку R_x основних структурних елементів $ТП$ може бути задане за допомогою графа $S(O_m, \Omega)$, множина вершин якого ізоморфна технологічним операціям O_{mi}, переходам $П_i$, прийомам X_j та ін., а множина дуг -відношенням ρ, ϖ, τ, відображаючим впорядкованість частин $ТП$.

Відношення $(O_{mi}\rho O_{mk})$ означає послідовний метод суміщення елементів технологічного процесу $ТП$, при якому спочатку виконується елемент O_{mi}, а потім O_{mk}.

Відношення $(O_{mi}\varpi O_{mk})$ означає одночасність виконання елементів технологічного процесу $ТП$ O_{mi} і O_{mk}, а відношення $(O_{mi}\tau O_{mk})$ - зсув в часі початку виконання O_{mi} відносно O_{mk}. Величина зсува τ може бути довільною, але не повинна перевищувати час t виконання операції O_{mi}, тобто $0 < t_\tau < t_{Omi}$.

Якщо $t_\tau = t_{Omi}$, то отримаємо послідовний метод суміщення, а при $t_\tau = 0$ - паралельний метод суміщення технологічних об'єктів (операцій, переходів, ходів та ін.). Застосувавши до початкового технологічного об'єкту $ТП$ визначений спосіб декомпозиції P, отримаємо множину підоб'єктів першого рівня $\{O^1_1, O^1_{mj}, \dots, O^1_{mq}\}$.

Інформаційні моделі усіх технологічних об'єктів у подальшому наведено в дисертації та відповідають структурі технологічних документів.

Застосувавши вказаний спосіб для кожного підоб'єкту-технологічної операції - отримаємо підоб'єкти другого рівня-технологічні переходи: $\{П^2_{I,1}, П^2_{I,2}, \dots, П^2_{i,k}\}$.

Підклас технологічних переходів може також як і підклас більш верхнього рівня - технологічних операцій, розподілятися по горизонталі і по вертикалі. Аналогічними властивостями характризується і підклас третього рівня - технологічні елементарні переходи (прийоми або ходи) X_y.

Таким чином, в результаті послідовної декомпозиції отримаємо граф структури складного технологічного об'єкту $ТП$ (фіг. 2.1), висячими вершинами якого є базові структурні елементи об'єктів.

Єдиною похідною моделлю для розробки технологічного процесу є креслення деталі. Під "конструкторським" кресленням деталі будемо розуміти сукупність двох множин: $КЧ = \{ IPOV , T_y \}$, де

$КЧ$ - множина даних, які характеризують "конструкторське" креслення деталі і в загальному випадку поєднуються в клас об'єктів "конструкторське креслення деталі";

$IPOV = \{ ipov(i) \}$ - множина структурних складових елементів (поверхонь) складноструктуйованого абстрактного об'єкту - "конструкторське креслення деталі" , причому і - індекс, відповідальний за ведення номеру поверхні в кресленні; множина поверхонь з різними властивостями у відриві від поняття конкретного об'єкту-представника класу "конструкторське креслення деталі" утворює клас об'єктів - поверхонь, які мають визначений набір властивостей;

$T_y=\{ t_y (j)\}$ - множина даних, які описують зовнішні $t_y(j)$ зв'язки і відношення між поверхнями, такі як розмірні лінії, точностні характеристики, шорсткість виготовлення деталі, технічні умови, допуски і відхилення, несоосність і неперпендикулярність і т.д. , і характеризують їх взаємний вплив один на одного; саме завдяки відношенням $t_y\{j\}$ проста сукупність структурних елементів - поверхонь набуває нову якість - стає конкретним об'єктом -"конструкторським кресленням деталі".

В свою чергу TO -"поверхня" є складноструктуйованим об'єктом, який описується як: $IPOV=\{G, T_x\}$,

де $G =\{ q(l) \}$-множина даних, які описують геометричні параметри об'єкту - "поверхня" конструкторського креслення деталі, причому l - індекс, відповідальний за ведення номера лінії, утворюючої поверхню;

$T = \{t_x (s)\}$ - множина даних, які описують внутрішні $t_x(s)$ зв'язки і відношення, які характеризують поверхню, такі як розмірні лінії, точносні характеристики, шорсткість виготовлення поверхні, технічні умови, допуски і відхилення і т.д. абстрактного представника класу об'єктів "поверхня". На фіг. 2-2 наведено структурну схему абстрактного представника класу об'єктів "конструкторське креслення деталі".

Процес проектування комплекту технологічної документації супроводжується представленням деталі на виробництві від операції до операції у вигляді так званого документу - карти ескізів, де описано (прокреслено) стан деталі після кожної операції. Інформаційне представлення або опис деталі в карті ескізів умовно назвемо "технологічним кресленням деталі".

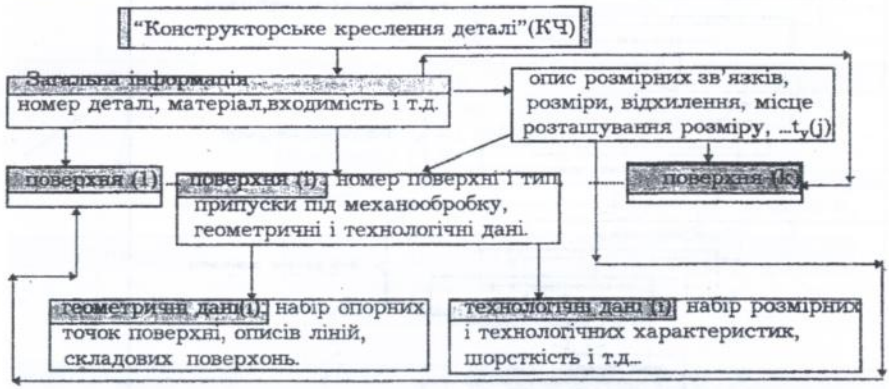
"Технологічне креслення" деталі має ряд специфічних ознак, що відрізняють його від "конструкторського креслення", це перш за все:

- усі поверхні "технологічного креслення" розбиті на групи, які відповідають технологічним операціям;
- "технологічне креслення" враховує розташування кріплення та способи базування деталі;
- "технологічне креслення" передбачає поопераційний розподіл груп розмірів, що контролюються, та технічних умов на виготовлення деталі ;
- в "технологічному кресленні" деталі кожна поверхня має свій технологічний код, який характеризує не тільки її форму, але й спосіб її обробки;
- "технологічне креслення" може включати в себе ряд додаткових технологічних даних: інформацію про обладнання, інструмент, місце виконання операції (участок, цех) та таке інш..

Процес формування "технологічного" креслення деталі на основі "конструкторського" креслення уявляє собою процес переробки інформації за

допомогою експертної підсистеми як інтерфейса між CAD та CAPP підсистемами комп'ютерної технології виробництва: F

$КЧ \rightarrow КТ$, де $КТ$ - множина даних, які описують "технологічне" креслення деталі, а F - відповідна експертна підсистема.



Фіг. 2-2. Структурна схема об'єкту проектування-"конструкторське креслення деталі".

Структура рівнів розгляду інформації про "технологічне креслення" деталі наведена на фіг. 2.3 та в дисертації.

"Технологічне" креслення деталі утворює абстрактний клас TO -"технологічне креслення деталі" і описується такою моделлю:$КТ=\{IDET,IPOVT,OPER,TR_y\}$, де $IDET=\{idt(i)\}$- множина даних, які описують загальну інформацію про креслення деталі;

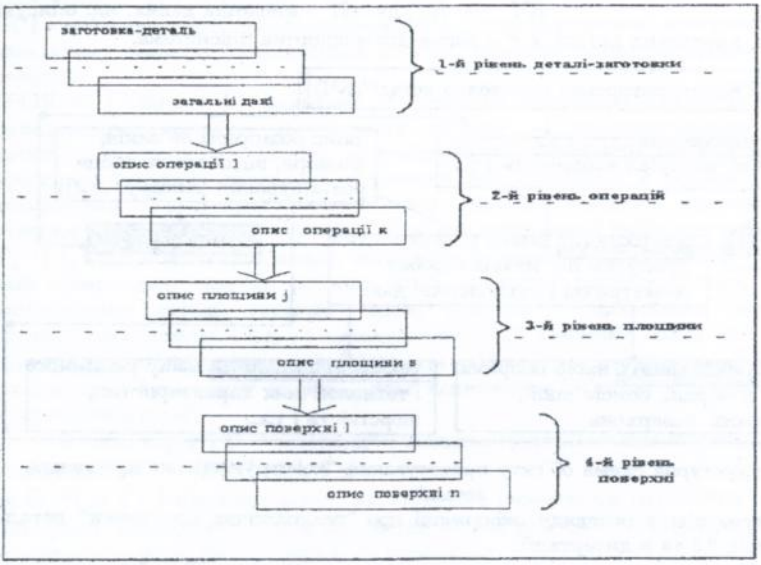
$OPER=\{oper(j)\}$- множина, яка описує набір технологічних операцій, що характеризують процес обробки конкретної деталі, де j -номер операції; разом з тим TO-"технологічні операції" в свою чергу складають клас, об'єкти-представники якого можуть застосовуватися в складі складного об'єкту-$ТП$.

$IPOVT = \{ ipvt(j,k)\}$- множина, яка описує технологічні ознаки k-го TO - "технологічна поверхня", в стані після виконання O_m^{j-1} операції, де k - поточний номер поверхні, а j - номер поточної операції; тобто дана множина описує технологічний стан поверхні; при цьому серед описів таких поверхонь можуть бути технологічні поверхні, яких не має в кресленні;

$Tr_y=\{tr_y(j,l)\}$-множина даних, які описують зовнішні $tr_y(j,l)$ зв'язки і відношення між "технологічними" $ipvt(j,k)$ і $ipvt(j,s)$ поверхнями, такі як розмірні лінії, точносні характеристики, шорсткість виготовлення деталі, технічні умови, допуски і відхилення і т.д. , та характеризують їх взаємний вплив один на одного.

В свою чергу абстрактний представник класу об'єктів -"технологічна поверхня" є складноструктуйованим об'єктом, який описується як: $IPOVT = \{ GT, TR_x \}$, де $GT = \{gt(j,k,n)\}$ - множина даних, що описують геометричні параметри складноструктуйованого абстрактного об'єкту $ipvt(j,k)$ -"технологічна поверхня" технологічного креслення деталі, причому n - індекс, відповідальний за ведення

номеру лінії, яка утворює поверхню;



Фіг. 2-3. Рівні розгляду інформаційної моделі "технологічного креслення" деталі.

Технологічний об'єкт $ipvt(j,k)$ відрізняється від конструкторського опису наявністю технологічних характеристик поверхні типу:"колодязь", "контур", "отвір" і т.д., які пов'язані з можливими методами їх обробки. Крім цього, геометрична конфігурація кожної окремої поверхні може також відрізнятися за способом кріплення деталі, розташування технологічного оснащення чи через наявність або відсутність передбаченої обробки поверхні;

$TR_x=\{tr_x\ (j,k,m)\}$ - множина даних, які описують внутрішні $tr_x(j,k,m)$ зв'язки і відношення, що характеризують внутрішні властивості "технологічної поверхні", такі як розмірні лінії, точносні характеристики, шорсткість виготовлення поверхні, технічні умови, допуски і відхилення і т.д. абстрактного представника класу об'єктів "технологічна поверхня" на кожній окремій операції.

На фіг. 2-4 показано граф, який описує структуру "технологічного" креслення деталі, його структурну модель.

В процесі перетворення "конструкторського" креслення деталі в "технологічне" значна частина інформації для формування його моделі береться не тільки із моделі "конструкторського креслення" деталі, але й із банка технологічних даних та знань, де описані тип заготовки, матеріал, його властивості і т.д., тобто технологічне середовище (TCI).

Оптимальний вид заготовки і її модель обраховуються на проектному етапі $F\ (1)$, її інформаційна модель описується в форматі TO "технологічне креслення деталі".

Для процесів виготовлення деталей функція перетворення полягає в перетворенні об'єктів виробництва з початкового стану заготовки C_0, з яким ототожнюється перше "технологічне креслення" деталі, в кінцевий стан готової деталі C_k, що є останнім "технологічним кресленням" деталі.

Початковий стан задається множиною параметрів $C_0 = \{ b_i \}, i = 1 \div n,$

що характеризують форму і розміри заготовки, марку матеріалу і його фізико-механічні властивості, як окремих поверхонь, так і деталі в цілому.

Фіг. 2-4. Структурна модель "технологічного креслення" деталі.

У відповідності з розподілом *ТО*-технологічний процес *ТП*-на операції загальна функція F структуюється як ряд операційних функцій f. Функція кожного *ТО* - операції O_m полягає в перетворенні деталі із одного проміжного стану в інший $\psi : C_{j-1} \to C_j$ та інтерпретується дугою графа $C_{j-1}\psi C_j$.

Проміжні стани C_j характеризують форму, міжопераційні розміри деталі, їх точність, фізико-механічні властивості поверхонь, отримані в результаті виконання j-ї операції. Функція *ТП* - технологічний процес описується графом

$F(C, \Theta)$: $F(C, \Theta) = C_0\psi_1 C_1\psi_2 C_2 \ldots C_{k-1}\psi_k C_k$. (2-9)

Цей граф уявляє собою з'єднання графів-функцій окремих *ТО* - технологічних операцій O_m:

$$F(C, \Theta) = f_1 \cup f_2 \cup f_3 \cup \ldots \cup f_k = \bigcup_{j=1}^{k} f_j .$$

Для реалізації операційної функції f_j необхідно виконати визначене число основних і допоміжних технологічних об'єктів-переходів (Π^j_l). У відповідності з заданою структурою *ТО* операції (O^s_{mk}) її функція f_j декомпозується на ряд більш дрібних функцій *ТО*-переходів (Π^j_l) f_l. При виконанні простого чи складного переходу об'єкт обробки переходить із одного стану c_{i-1} в інший стан c_i. Аналогічно вводиться функція перетворення об'єкту обробки на рівні впливу *ТО* - елементарного переходу (X_y) $\mathcal{F}_s$.

Стан об'єкту обробки $TO_{Дет}$, взаємодіючого з іншими об'єктами і оточуючим середовищем ($TO_{інс}$ - клас технологічних об'єктів інструменти, $TO_{стн}$ - клас технологічних об'єктів верстати/обладнання, $TO_{присп}$- клас технологічних об'єктів пристосування, $TO_{мат}$ - клас технологічних об'єктів матеріали та ін.) характеризується набором параметрів, взаємопов'язаних з параметрами $TO_{дет}$

(параметри оброблюємих поверхонь, їх розмірні зв'язки між собою і з базовими поверхнями, а також положення ріжучого інструменту при обробці). Функція переходу f_i описується відображенням $\varphi: C_{i-1} \to C_i$ і може бути інтерпретована як дуга графа $C_{i-1} \varphi C_i$, вершинам якої поставлені у відповідність C_{i-1}, C_i стани технологічної системи - $ТО_{ст}$, $ТО_{інст}$, $ТО_{дет}$, ..., а стрілці, яка з'єднує ці вершини , - назва $П^j_l$, за допомогою якого здійснюються ці перетворення.

Окремі стани $ТП$ як складноструктуйованого класу об'єктів та взаємодіючого із зовнішніми по відношенню до нього об'єктами пов'язані між собою. Кінцевий стан $П^j_{l-1}$ є початковим для одного переходу $П^j_l$ або навіть групи переходів. В зв'язку з цим функція операції f_j може бути отримана в результаті застосування операції з'єднання графів-функцій f_l окремих переході: m

$$f_j(c, \varphi) = f_1 \cup f_2 \cup f_3 \cup \ldots \cup f_m = \cup f_q. \quad (2\text{-}10)$$
$$q=1$$

Таким чином, на будь-якому рівні декомпозиції кожному структурному елементу $ТП$ -абстрактному технологічному об'єкту - відповідає своя технологічна функція.

На будь-якому k-му рівні декомпозиції кожний проектуємий об'єкт (технічний об'єкт чи процес) описується множиною параметрів:

$$\mathcal{B}^* = \{ \mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2, \ldots, \mathcal{B}_i, \ldots, \mathcal{B}_n \},$$ де $\mathcal{B}_i$ - параметр, який описує визначену функціональну властивість $ТО$, зокрема $ТП$.

Серед усіх функціональних властивостей $\mathcal{B}^*$ будь-яких $ТО$ виділяються властивості, які характеризують їх якісні або цільові характеристики, які і визначають результат функцінування $ТО$, що розглядається. Для $ТП$ до числа таких властивостей відноситься сукупність параметрів, які описують стан об'єкту обробки після виконання операційO^1_{mj}, C_j (як правило показники якості поверхонь) і операційний час T_oІнтегрованість властивостей $ТП$ як технологічного об'єкту проявляється в тому, що останні залежать не тільки від властивостей, що складають структуру k-1 рівня, але й структуру об'єкта в цілому, тобто від характера взаємозв'язків його частин, що описуються графом $S(O_m, \Omega)$.

Для технологічних процесів операційний час рахується на основі тривалості окремих переходів t_j за *алгоритмом визначення критичного шляху на графі операційної структури та з використання методів динамічного програмування.* За аналогією приймаючи як показник *якості точність або шорсткість обробки чи інші актуальні для конкретного виробництва показники* можливо *отримати оптимальну структуру техпроцесу за визначеним критерієм якості на основі методу динамічного програмування.*

Це один з варіантів вирішення задачі визначення якості проектування $ТО$ - $ТП$. Параметри стану деталі після виконання операції (точність міжопераційних розмірів) у відповідності з принципом розташування конструкторських баз з технологіченими визначаються не тільки точністю виконання розмірів в окремих переходах, але й структурою операції , тобто порядком виконання переходів.
В цілому модель технологічного процесу як складноструктуйованого абстрактного технологічного об'єкту описується сукупністю відношень, що визначають функціональні властивості і структуру $ТП$ на всіх рівнях декомпозиції:

$$\begin{cases} O_m^0 = \Theta : C_0 \to C_k, \{ \mathcal{B}^*_I \}, S^0(O_m^1, \Omega) ; & (2\text{-}11) \\ O_m^1 = \{(\psi^1 : C^1_{j-1} \to C^1_j , \{ \mathcal{B}^1_{I1} \}, S^1(O_m^2, \Omega))_j \}, j=1\text{-}n_j ; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ O_m^n = \{(\psi^n : C^n_{q-1} \to C^n_q , \{\mathcal{B}^*_{iq}\}) q\}, q=1 \div n_q . \end{cases}$$

В першому рядку описується технічна характеристика, структура і функції об'єкту або процесу як цілого. Наступні рядки задають технічні характеристики, структуру і функції множини $j = 1 \div n_j$ об'єктів на першому і наступних рівнях декомпозиції. Останній рядок містить опис характеристик і функцій елементарних об'єктів або процесів, структура яких для вирішення поставлених задач не розглядається.

Взаємозв'язок двох розглядаємих понять *ТП* і *Д* носить характер взаємно-однозначної відповідності, тобто $Д \rightarrow ТП$.

Із наведеного вище аналізу змістовних взаємозв'язків *ТП* і *Д* витікає важливий висновок: технологічний процес є функцією об'єкту обробки, тобто

$$ТП = f(Д), \qquad (2\text{-}12)$$

де під функцією f розуміється домінуюча залежність *ТП* від *Д*.

Разом з тим поняття об'єкта *Д* як учасника інформаційного процесу асоціюється з поняттям "конструкторське креслення деталі", що на практиці є інформаційною моделлю об'єкту "деталь" (*Д*). Причинно-наслідовний взаємозв'язок фізичного об'єкту *ДФ* і інформаційного *ДІ* є очевидним.

Двоєдина трактовка поняття "деталь" *(Д)* дозволяє зробити відповідну розгортку виразу (2-12), а саме: $ТПФ = f(ДФ)$, *(2-13)*

$$ТПІ = f(ДІ),$$

Фізична трактовка поняття *ТС* (тобто *ТСФ*) зводитья до матеріального середовища, яке утворюють засоби виробництва: $ТПФ = f(ТСФ)$, *(2-14).*

Аналізуючи інформаційний аспект поняття *ТС*, тобто *ТСІ*, можна прийти до висновку, що відображення $Ф : ТСФ \rightarrow ТСІ$ не є цілком справедливим, так як простий опис матеріального середовища *ТСФ* (відомості про склад засобів виробництва і їх технологічні характеристики) не утворює необхідних інформаційних передумов для розробки технологічного процесу *ТПІ*. Для цього необхідні додаткові дані, які стосуються правил і алгоритмів прийняття окремих технологічних рішень.

Все перелічене можна об'єднати одним поняттям - **технологічне проектне середовище** *(ТСІ)*, яке є очевидним аргументом технологічної проектної функції, тобто $ТПІ = f(ТСІ)$, *(2-15)*

Технологічне проектне середовище відображається в сучасній комп'ютерній технології у вигляді банка технологічних даних і знань, принципова структура якого є складноструктуйованим об'єктом в свою чергу та складається з баз технологічних даних та знань, архіва конструкторської та архіва технологічної документації, описується множиною: $Q = \{ Q(i) \}$,

де $Q(0)$ - множина, яка моделює креслення деталі, що зберігаються в архіві конструкторської документації;

$Q(1)$ - множина, яка описує вихідні технологічні дані для проектування як управляючих програм, так і технологічних процесів.

$Q(2)$ - множина, яка описує стан кожної окремої поверхні і, крім цього, включає підмножини параметрів, що характеризують поверхню, тобто

$Q(2)=\{ q21, q22, q23, q\ 24, q25, q26, q27, q28 \};$

де $q21$ - технологічні параметри поверхні, які пов'язують кожну поверхню з іншими параметрами креслення деталі;

$q22$ - технологічний код поверхні, що ідентифікує її технологічний образ, такий як: карман, колодязь і т.д. ;

$q23$ - опис заготовки на поверхню (суцільний метал, попередньо оброблена і т.д.) , який розпізнається із опису заготовки деталі в цілому;

$q24 = \{q24(i)\}$ - параметри, які визначають наявність ідентичних поверхонь;

$q25$ - шорсткість поверхні і параметри, які накладують обмеження на процес різання;

$q26$ - параметри, які описують точність виготовлення деталі;

$q27 = \{q27(i)\}$ - визначає профіль поверхонь і її власні геометричні обмеження;

$q28 = \{q28(i)\}$ - описує власно розташування в системі координат деталі.

Важлим є те, що концептуальна модель бази технологічних даних і знань містить інформацію про об'єкт проектування (технологічний процес виготовлення деталі в архіві техпроцесів і самі деталі в архіві конструкторської документації) разом з середовищем, в якому проектується об'єкт (виробничі умови і способи реалізації технологічного процеса для конкретного виробництва). Кожний комплекс функціональних задач проектування, орієнтований на групу користувачів, в залежності від їх функціональних обов'язків має свої власні зовнішні уявлення про модель бази технологічних даних та знань. Оптимальна внутрішня структура інформаційного фонду спроектована на основі методології реляційних баз даних Codda, яка автоматично вирішує проблеми цілосності та непротиречивості даних при проектуванні.

Концептуальна модель бази технологічних даних та знань містить такі множини даних:

$Q3=\{q3(i)\}$ - опис інструментальних матеріалів виробництва;

$Q4=\{q4(i)\}$ - опис стандартних заготовок;

$Q5=\{q5(i)\}$- опис обладнання;

$Q6=\{q6(i)\}$- опис ріжучого інструменту;

$Q7=\{q7(i)\}$- опис допоміжного інструменту;

$Q8=\{q8(i)\}$- опис вимірювального інструменту;

$Q9=\{q9(i)\}$- опис пристосувань для верстатів та базування деталей;

$Q10=\{q10(i)\}$- множина знань про прийми та методи обробки на реальному виробництві;

$Q11=\{q11(i)\}$- множина методів формування траєкторії руху ріжучого інструменту та правил розрахунку управляючих програм;

$Q12=\{q12(i)\}$- множина методів розрахунку режимів різання та норм часу.

Встановлені структури TCI, а також характер інформаційних зв'язків і логічних залежностей $TПІ$ від TCI є одним із розділів теоретичних основ автоматизації технологічного проектування. Результуюча редакція технологічного процесу, як документу, має безпосереднє відношення до описаних вище факторів, тобто

$$TПІ = f\,(M(C))\,, \qquad (2\text{-}16)$$

де M - методи проектування технологічних процесів;

Множина методів проектування технологічних процесів $M=\{m_{i,j}\}$ в свою чергу об'єднується в клас технологічних методів і прийомів, які розподіляються на підкласи проектування наборів елементарних переходів, ріжучого інструменту, засобів оснащення і т.д..

$C=\{c_{i,j}\}$ - інструментальні засоби формального опису методів технологічного проектування, які в свою чергу утворюють клас інструментальних засобів комп'ютерної технології технологічної підготовки виробництва.

Об'єднуючи вираз (2-13), (2-15) і (2-16), встанавимо загальну залежність технологічного процесу обробки деталі $TП$ від ряда системних факторів:

$$TПІ= f\,(ДІ,\ TCI,\ M(C))\,. \qquad (2\text{-}17)$$

Таким чином, вираз (2-17) є формальним інтегровним описом, який визначає у формалізованому вигляді науково-методичні основи автоматизації технологічного проектування в машино- та приладобудуванні.

В подальшому розглядається комплексна методологія оптимального проектування технологічних процесів в межах скрізного автоматизованого циклу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, яка складається з двох рівнів розгляду проектуючих процедур: формування оптимальної структури технологічного процесу (структурна оптимізація) та проектування оптимальних параметрів технологічного процесу (параметрична оптимізація) з позицій динамічного програмування.

На рівні структурної оптимізації пропонується використати апарат алгебри логіки та внутрішні моделі бази конструкторсько-технологічних знань.

*Введемо поняття **експертного технологічного правила**, як поняття деякого **метаправила**, що є **формалізованою моделлю правила застосування методу прийняття визначеного інженерного рішення**, яке подається в науці технології машинобудування у вигляді **словесного** опису, та є **абстрактним представником класу технологічних об'єктів, а саме - методів прийняття визначених інженерних рішень**. Формалізований опис відповідає структурній моделі класу ТО- методів прийняття інженерних рішень. Конкретні правила виробництва при цьому є членами такого класу.*

Прийняття технічних рішень реалізується за допомогою експертних правил, *формалізованих моделей основних методів проектування технології машинобудування*, та які утворюють банк технологічних даних і знань, працюють в комплексі з проектуючими процедурами комп'ютерної технології в умовах реального виробництва. Комплексна методологія проектування оптимальних технологічних процесів з використанням принципів динамічного програмування подана на фіг.3-1.

Проектурання оптимальної структури технологічних процесів для довільних виробів базується на наступній методології. Хай TO - множина технологічних об'єктів. Під об'єктом будемо розуміти деталь, елемент деталі, геометричний контур, технологічний процес, елемент технологічного процесу й т.д.

Під рішеннями R будемо розуміти оснащення, інструмент, режими різання, методи розрахунку траєкторії переміщення ріжучого інструменту, що використується, технологічний процес, групу спроектованих об'єктів й т.д, тобто конкретно прийняті інженерні рішення відносно можливості використання конкретних об'єктів з реального технологічного середовища.

Завдання проектування. За заданою відповідністю G співставити один з одним елементи множини TO й R, тобто: $G \subseteq TO \times R$. Технологічні завдання мають ті властивості, що не дивлячись на свою багатоваріантність, в конкретних умовах конкретного підприємства при проектуванні технологічних процесів для конкретного виробу приймається цілком визначене рішення: $GTO_j = r_j$, яке має найкращі показники якості, тобто G є взаємно-однозначною відповідністю.

В загальному випадку G є функцією параметрів об'єкту та стану виробничого оточення S_i в даний момент часу. Множину всіх можливих станів середовища позначимо через S. Під виробничим середовищем будемо розуміти S_1 - кількість виробів, які необхідно виготовити; S_2 - умови, в яких пропонується організувати та здійснити підготовку, виготовлення та випуск виробу (обладнання, оснащення, інструмент, перспективи отримання нового обладнання, традиційні засоби обробки); S_3- місцезнаходження (можливість кооперування з іншими підприємствами, умови постачання й т.п.); S_4 - планові строки підготовки та засвоєння нового виробу та організація його випуску. Стан середовища змінюється

за часом, тому $S_i \in S$. Стан виробничого середовища S_1 та умови випуску виробу S_2 можуть бути надані в актуальному стані в базі технологічних даних та знань. Якщо представити елементи $TO_i \in TO$ та $S_i \in S$ через кортежі ознак $TO_i = (d_1, d_2, \ldots, d_n)$ й $S_i = (w_1, w_2, \ldots, w_\mu)$, то можна записати: $G = f(d_1, d_2, \ldots, d_n, w_1, w_2, \ldots, w_\mu)$.

Відповідність G можна подати у вигляді композиції двох відповідностей $G = G_c G_o$, де G_o - відповідність, яка визначає метаправило, за яким відокремлюється припущена множина рішень $R_j \subseteq R; G_c$ - відповідність, за якою з множини припущених рішень R_j обирається конкретне рішення r_j.

У відповідності G_o враховуються тільки параметри об'єкту TO_i:

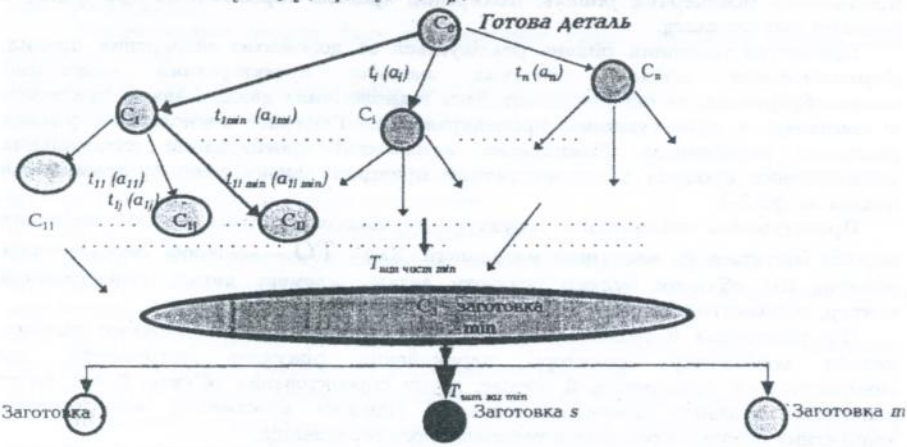
$$G_o = f_1(d_1, d_2, \ldots, d_n)$$

Ця відповідність в загальному випадку неоднозначна, тобто:

$$G_o TO_j = R_j$$

В G_c використовуються тільки параметри середовища на даний момент часу:

$$G_c = f_2(w_1, w_2, \ldots, w_\mu)$$



Фіг. 3-1. Комплексна методологія проектування оптимальних технологічних процесів.

Ця відповідність однозначна. Відповідність G_C можна надати у вигляді композиції декількох відповідностей: $G_c = kG_3G_4G_1G_2$, де k - критерій співставлення альтернатив: G_1, G_2, G_3, G_4 - відповідності, які визначають експертні правила, за якими множина припущених рішень, обраних на попередніх кроках етапу прийняття рішень, уточнюється при обліку факторів, що характеризують стан середовища. Відповідності G_1, G_2, G_3, G_4, G_0 - в загальному випадку неоднозначні та співставляють елементи різних за природою множин. Відповідність k - однозначна, крім того, області відправлення та прибуття цієї відповідності визначені на одній і тій же множині. Для всіх розглянутих відповідностей можна припустити, що область відправлення равна області визначення відповідності, разом з тим і є технологічним середовищем TCI. На основі сказаного вище можна записати: $kG_3G_4G_1G_2TO_j = r_j$ (3.1)

Так як кожна відповідність - це частина експертної процедури, то при такому підході до прийняття рішення реалізується один з принципів кібернетики - незакінченість приймаємих рішень. Це дозволяє полегшити процес формалізації рішення завдання, побудову експертних процедур, збільшити їх адаптивність, динамізм та достовірність.

Відповідність G_0 будується на основі наукових знань в технології. Ці експертні процедури не залежать від параметрів середовища, що дозволяє пристосовувати їх для різних виробництв. Відповідність G_2 можна записати у вигляді такої композиції відповідностей: $G_2 = G_y G_T G_u G_n G_s$ (3.2)

де G_y - відповідність, яка враховує конкретні умови виробництва такі, як діюче підприємство або знов проектуєме; з серійним, дрібносерійним або одиничним виробництвом ;

G_T - відповідність, яка визначається наявністю традиційних методів обробки матеріалів;

G_u - відповідність, яка залежить від ріжучого, вимірювального та допоміжного інструментів, що використовуються;

G_n - відповідність, яка визначає приспособи, які використовуються;

G_S - відповідність, яка враховує існуюче на виробництві обладнання.

Експертні процедури, які реалізують відповідності G_u, G_n, G_S - чітко визначені в реальних умовах виробництва.

При рішенні технологічних завдань важко прослідкувати зв'язок між входами та виходом, а, отже, визначити описи відповідностей. Для полегшення процесу визначення G, реалізації його на ЕОМ та покращення адаптивних властивостей та властивостей адаптуємості до середовища функціонування комп'ютерної технології, технологічне завдання розбивається на ряд підзавдань. Тоді рішення надається у вигляді набору елементарних рішень : $r_j = \{r_1^j, r_2^j, \ldots, r_\lambda^j\}$.

Відповідність G надається у вигляді: $G = G_\lambda G_{\lambda-1} G_{\lambda-2} \ldots G_k \ldots G_1$ (3.3),

де λ - загальна кількість підзавдань конкретного завдання. Для будь-якого підзавдання G_k вірні всі міркування, наведені вище. Для обгрунтування виразів (3.1) - (3.3) можна сказати, що експертні процедури прийняття технологічних рішень складаються з сукупності елементарних експертних процедур, що працюють за принципом незакінчених рішень. Критерії оцінки рішень в кожному підзавданні є локальними критеріями, які призводять до бажаної глобальної мети, інакше - до оптимального рішення за сукупним критерієм. Така модель в загальному вигляді описує ієрархічну розгалужену структуру прийняття рішення з різними або одним критеріями відбору рішень, як на різних рівнях, так і на одному рівні. Відповідність G_k можна надати у вигляді:

$G_k = \varphi_1(d_1, d_2, \ldots, d_n, w_1, w_2, \ldots, w_\mu, r_1^j, r_2^j, \ldots, r_{(k-1)}^j)$ (3.4)

або у вигляді $G_k = \varphi_2(d_1, d_2, \ldots, d_n, w_1, w_2, \ldots w_\mu, r_1^j, r_2^j, \ldots, r_\lambda^j)$ (3.5)

Відповідність виду (3.5) описує модель прийняття рішень, за якою результат, отриманий на k-му кроці, не впливає на результат, отриманий на попередньому кроці.

При комп'ютеризованому моделюванні технології під множиною об'єктів TO розуміється множина деталей, технологічний процес обробки яких необхідно спроектувати. Множиною рішень R буде множина технологічних процесів виготовлення множини об'єктів іншого класу-деталей. Тоді відповідність G можна надати у вигляді композиції відповідностей: $G = G_o G_s$, де

$G_o = G_{геом} G_{інстр} G_{траєкт} G_{різ} G_{opt}$, причому відповідність $G_{гео}$ визначає множину рішень $R_j^{зв}$, які визначають геометрично-технологічний образ об'єкту TO_j, який може бути обробленим за допомогою множини варіантів обробки, тобто : $R_j^{зв} = \{r_j^{1_2}, r_j^{2_2}, \ldots, r_j^{i_2}, \ldots, r_j^{K_u}\}$

Слід відмітити, що при проектуванні технології виготовлення деталей послідовне використання відповідностей веде до поменьшення незакінченості рішень, тобто: $R_j^{зв} \supset R_j^{інстр}$

Відповідність $G_{траєкт}$ конкретизує метод розрахунку траєкторії руху ріжучого інструмента та народжує множину $R_j^{траєкт}$, яка також має ступень неоднозначності та надається кортежем: $R_j^{траєкт} = \{r_j^{1тр}, r_j^{2тр}, \ldots, r_j^{iтр}, \ldots, r_j^{Kтр}\}$;

$K_{тр} < K_{інстр} < K_{зв}$, тобто $R_j^{зв} \supset R_j^{інстр} \supset R_j^{траєкт}$.

Відповідність $G_{різ}$ визначає правило вибору закономірностей розрахунку режимів різання при обробці й дозволяє прийняти ще меньш невизначене рішення $R_j^{різ}$, яке виражається кортежем : $R_j^{різ} = \{r_j^{1різ}, r_j^{2різ}, \ldots, r_j^{iріж}, \ldots, r_j^{Kріж}\}$, де $K_{різ} < K_{тр} < K_{інстр} < K_{зв}$ та $R_j^{зв} \supset R_j^{інстр} \supset R_j^{траєкт} \supset R_j^{різ}$

G_m та $G_{шор}$ визначають правила вибору закономірностей розрахунку точності та шорсткості обробки й дозволяють прийняти ще меньш невизначені рішення $R_j^{точн}$ та $R_j^{шор}$, які виражаються кортежами: $R_j^{точн} = \{r_j^{1точн}, \ldots r_j^{ктточн}\}$, де $K_{точн} < K_{реж} < K_{інстр} < K_{зв}$ та $R_j^{зв} \supset R_j^{інстр} \supset R_j^{тр} \supset R_j^{реж} \supset R_j^{точн}$;

$R_j^{шор} = \{r_j^{1шор}, \ldots r_j^{кшор}\}$, де $K_{шор} < K_{реж} < K_{інстр} < K_{зв}$ та $R_j^{зв} \supset R_j^{інстр} \supset R_j^{тр} \supset R_j^{реж} \supset R_j^{шор}$;

Однак, остаточну область можливих економічних рішень можна визначати за допомогою відповідності G_{opt}, яка дає область рішень

$$R_j^{opt} = \{r_j^{1opt}, r_j^{2opt}, \ldots, r_j^{iopt}, \ldots, r_j^{Kopt}\}$$

$$K_{opt} < K_{різ} < K_{тр} < K_{інстр} < K_{зв} \quad \text{та}$$

$$R_j^{зв} \supset R_j^{інстр} \supset R_j^{траєкт} \supset R_j^{різ} \supset R_j^{opt}$$

Для отримання остаточного оптимального технологічного процесу виготовлення деталі визначаються відповідності, які описують середовище, що дозволяє отримати конкретний технологічний процес з використанням конкретної номенклатури інструменту на конкретному верстаті при обробці конкретної деталі в умовах конкретного виробництва. Всі ці характеристики й визначають співвідношення : $G_c = G_{st} G_{інстр} G_{мат} G_{екон} G_{дет}$, тобто кожна відповідність визначає конкретні характеристики:

-верстатів: $G_{st} = \{w_1^{st}, w_2^{st}, \ldots, w_i^{st}, \ldots, w_n^{st}\}$

-інструментальної бази: $G_{інстр} = \{w_1^{інстр}, w_2^{інстр}, \ldots, w_i^{інстр}, \ldots, w_{n1}^{інстр}\}$

-властивості матеріалів деталі та інструменту:

$$G_{мат} = \{w_1^{дм}, w_2^{дм}, \ldots, w_i^{дм}, \ldots, w_{n2}^{дм}, w_1^{ін}, w_2^{ін}, \ldots, w_i^{ін}, \ldots, w_{n3}^{ін}\}$$

-нормативні та економіко-технічні характеристики технологічного процесу в рамках підприємства: $G_{екон} = \{w_1^e, w_2^e, \ldots, w_i^e, \ldots, w_{n4}^e\}$

Таким чином, відповідність можна уявити у вигляді композиції відповідностей: $G_c = k_{ТП} G_{st} G_{інстр} G_{мат} G_{екон} G_{дет}$ де $k_{ТП}$ - критерій співставлення альтернатив при адаптації до умов конкретного середовища (підприємства, цеха й т.д.). Відповідність G_c відокремлює з множини R_j^{opt} рішення $r_j^{opt} \in R_j^{opt}$, яке й буде відповідати оптимальному технологічному процесу обробки деталей. На основі вищесказаного можна записати:

$$k_{ТП} \cdot G_{st} \cdot G_{інстр} \cdot G_{мат} \cdot G_{екон} \cdot G_{дет} \cdot G_{opt} \cdot G_{різ} \cdot G_{траєкт} \cdot G_{інстр} \cdot G_{геом} : TO_j = r_j^{opt}$$

При проектуванні технології виготовлення деталі в режимі проектування одиничного технологічного процесу реалізується відповідність (3.4) $G_{ТП}$ у вигляді: $G_{ТП} = \varphi_*(d_1, d_2, \ldots, d_n w_1, w_2, \ldots, w_\mu, r_{1j}, r_{2j}, \ldots, r_{\lambda j})$, а при проектуванні операцій:

$$G_{ТП} = \varphi_*(d_1, d_2, \ldots, d_n, w_1, w_2, \ldots, w_\mu, r_{1j}, r_{2j}, \ldots, r_{(K-1)j}).$$

Визначемо метод обробки деталі a_i як перетворення деталі або поверхні в результаті формоутворення, зі стану c_{i-1} у стан c_i після обробки: $a_i : c_{i-1} \rightarrow c_i$, де a_i - метод обробки (обробити паз, площину, контур, отвір й т.д.).

Стан поверхні c_{i-1}, c_i характеризуються множиною параметрів:

$Z = \{Z_K\}$, такі, що описують форму, операційні розміри, фізико-хімічні властивості деталі, або поверхні, методи обробки, що вживаються, з такими характеристиками як різання з різною подачею, кількістю обертів шпинделю, глибиною та шириною різання, а також інструментом з різними геометричними параметрами.

В зв'язку з цим відображення: φ: $c_{к-1} \rightarrow c_к$ неоднозначне та надається у вигляді графа $G(C, A)$, в якому вершина співставлена зі станом поверхні, а множина дуг A - з технологічними методами обробки. Кожний з станів $c_1, c_2, \ldots, c_n$ рівня k - першого відображується на множині станів k - другого рівня й т. д., до тих пір доки параметри станів на $(k - f)$ -ому рівні не будуть співпадати з параметрами заготовки, тобто з початковим станом поверхні c_0. Будь-який шлях на графі з c_0 в $c_к$ буде одним з варіантів обробки геометричного контура, що відповідає обраній траєкторії руху при визначенні геометрії ріжучого інструменту з врахування визначених оптимальних режимів різання. Якщо розглядати геометричний контур ізольовано, то найбільш раціональний шлях в графі буде відповідати оптимуму критерія оптимізації $T_{шт-к}$ та до того ж дозволяє розділити процес оптимізації на два рівня: рівень переходу - внутрішній рівень, що відповідає нижньому рівню ієрархії та верхній рівень ієрархії - рівень деталі в цілому.

Спільний алгоритм призначення варіантів обробки поверхонь та визначення складових методів їх обробки по етапам полягає в наступному:

1) за відображенням $\varphi_1 : c_{i-1} \rightarrow c_1$ визначається множина переходів $\{\varphi_j\}$, що забезпечують отримання вимагаємих параметрів поверхні c_i, а також множину відповідних або проміжних станів c_{i-1}.

2) будуємо відображення $\varphi_{i+1} : c_i \rightarrow c_{i+1}$, яке забезпечує вимогаємий стан поверхні c_{i+1}, а також множину проміжних станів c_i. Порівнюючи параметри

станів поверхні c_{i+1} на виконаному переході та c_i з вимогаємими характеристиками геометрії поверхні, для виготовлення якої необхідно виконати переходи φ_i, φ_{i+1}, одержуємо множину можливих варіантів обробки.

3) на графі можливих варіантів обробки визначаємо шлях, який має мінімальне $T_{шт-к}$. Кількість можливих варіантів обробки скорочується на основі попередніх технологічних рекомендацій.

Оскільки оптимізація технологічного процесу ведеться в два етапи, що взаємодіють в ітераційному режимі, то на першому етапі (структурному або зовнішньому) оптимізуються множини параметрів інструменту, а на другому етапі (параметричному або внутрішньому) вектором оптимізуючих змінних є вектор $\vec{x} = \{S_M, n\}$, що дозволяє подати задачу оптимізації режимів різання у вигляді задачі нелінейного програмування, для рішення якої може бути використано метод штрафових функцій з множниками Лагранжа.

Формально завдання нелінейного програмування на другому етапі комплексної оптимізації може бути зформульована таким чином: мінімізувати безперервну функцію $f_i(\vec{x})$, при $\vec{x} \in \Omega^*$ при умові задовільнення нелінейних обмежень у вигляді нерівностей: $g_i(\vec{x}) \geq 0$, де за вектор $\vec{x}$ обирається вектор незалежних змінних S_M та n: $\vec{x} = (S_M, n)$. За функцію мети $f_i(\vec{X})$, як приклад, обрана функція виду: $t_i(S_M, n) = \frac{l_i}{S_{M_i}}\left(1 + \frac{T_{см}}{T_{0_i}}\right)$, при умові виконання обмежень $g_j(\vec{X})$, за які обрано технологічні умови, а саме показники якості виробів, фізичні умови процесів механообробки та економічні показники.

Алгоритм обчислення оптимальних параметрів процесу механообробки на другому етапі комплексної оптимізації формулюється таким чином:

1. Вводяться ослаблюючі змінні в обмеження типу нерівностей, тобто $g_j(\vec{x}) \geq 0$ перетворюються в обмеження типа рівностей шляхом введення ослаблюючих змінних: $g_j(\vec{x}) - V_j^2 = 0$;Якщо відняти V_j^2 з $g_i(\vec{x}), (j = \overline{1,p})$, то можно гарантувати, що обмежуюча умова в початковій постановці задачі має вид нерівності та дійсно виконується.

2. Визначимо функцію Лагранжа з врахуванням обмежень

$$P(\vec{x}, \vec{w}) = f(\vec{x}) + \sum_{j=1}^{p} w_j \left[g_j(\vec{x}) - V_j^2 \right]$$

де $w_j, (j = \overline{1,p})$ - негативні та незалежні від $\vec{X}$ коефіцієнти ваги, які отожнюються з множниками Лагранжа.

3. Складається система рівнянь, яка визначає стаціонарне рішення:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial P(\vec{x}^*)}{\partial x_j} = 0 \\ \dfrac{\partial P(\vec{x}^*)}{\partial w_j} = 0 \\ \dfrac{\partial P(\vec{x}^*)}{\partial v_j} = 2 w_j v_j = 0 \\ w_j \geq 0 \end{cases}$$

Перевагою цих методів є простота використання та наявність максимального оптимізуючого ефекта за рахунок постійного компромісу між необхідністю задовільнення обмежень та процесом мінімізації функції мети, який досягається засобом призначення визначених коефіцієнтів ваги (множників Лагранжа).

Число оптимізуємих змінних на другому етапі дорівнює двом параметрам S_M і n. Це накладає визначені обмеження на метод оптимізації: стає невигідно використовувати складні методи оптимізації та одночасно число можливих варіантів значень оптимізованих змінних є великим, що ускладнює використання ітераційних методів.

Для вирішення проблеми *зменшення кількості ітераційного перебору у вузлах графа G(C, A) можливих методів обробки використано експертні технологічні процедури.*

Далі розглядаються типові моделі експертних технологічних правил та методи організації банку технологічних даних і знань, що працюють в комплексі з проектуючими процедурами комп'ютерної технології в умовах реального виробництва.

Експертна підсистема технологічного призначення завдяки штучному інтелекту має здатність генерувати механизм прийняття, оцінки та оптимізації технологічних рішень в залежності від вхідних даних, змінювати його в результаті придбання та уточнення знань та працює з чотирма видами технологічних знань:

- простими експертними правилами, які представляють собою набір правил отримання логічних висновків;
- комбинованими експертними правилами, які включають в себе як набір умов логічного висновку, так і експертні задачі, що оформлені у вигляді множини конкретних проектних процедур, направлених на отримання конкретної моделі та відрізняються умовами використання і динамічно адаптуються до змінності вхідної моделі;
- експертними залежностями та умовами їх використання;
- математичними моделями реальних фізичних об'єктів та процесів.

Просте експертне правило представляє собою ствердження вигляду: *(4.1),*

$$\forall\, q(i)(\exists\, mq(ij)\ R\ \exists\, mq(ik)\ .....\ )R\forall\, q(l)(\exists\, mq(ls\ )R\exists\, mq(ln)\ .....)\Rightarrow\forall\, STR(i)\ \exists\, STR(im)$$
$$Q \quad Mq(i) \quad Mq(i) \qquad Q \quad Mq(l) \quad Mq(l) \qquad STR \quad STR(i)$$

де $Q=\{q(i)\}$ - множина математичних об'єктів, наприклад, описів деталей, поверхонь,що обробляються, матеріалів та т.і.;

$MQ=\{Mq(i)\}$ - множина властивостей i-x об'єктів, причому кожному $qi \leftrightarrow Mq(i)$ та $Mq(i)=\{mq(ij)\}$ об'єкту ставиться у відповідність множина властивостей $q(i)$ технологічного об'єкту , що описують набір параметрів, які впливають як на якісні, так і на кількісні характеристики об'єкту $q(i)$;

$R=\{r(ks)\}$ - множина відношень, як між елементами любої множини ***Mq(i)*** ,так і між двома любими множинами $Mq(i)$ та $Mq(j)$ типу : і, або, не.

При цьому як елементи $mq(ij)$ є $Mq(i)$ розглядаються конкретні властивості елементу $q(i)\epsilon Q$ такі як, наприклад, можливість сопрягатися з сусідніми елементами, впливати на вибір ріжучого інструменту у діапазоні від ... до ... та т.ін.

За множину $STR=\{STR(i)\}$ можливих технологічних рішень прийнято підмножину $q(j)\epsilon Q$ або підмножину властивостей $Mq(j)\epsilon MQ$, що дозволяють сформувати або поповнити модель конкретного етапу проектування.

Прикладом використання простого експертного правила може бути рішення задачі визначення набору елементарних технологічних переходів для визначенної технологічної поверхні.

При розробці експертної підсистеми використовані експертні процедури (або задачі), що реалізують прості висловлювання типу: $\forall\, E(i)\ \exists\, k(j) \Rightarrow \exists\, t(i)$, *(4.2.)*
$$E \quad K \quad T$$

де $K=\{k(j)\}$ - множина можливих станів інформаційної моделі ТО та обчислювальних ситуацій, що відповідає визначеним значенням технологічних параметрів;

$T=\{t(i)\}$ - множина експертних задач, тобто, якщо в процесі обчислювання формується визначене значення якогось технологічного параметру, то в такій ситуації виконується конкретна задача з іменем $t(i)$, наприклад, при формуванні технологічного креслення деталі, в залежності від технологічного коду поверхні виконуються різноманітні задачі з метою отримання геометричних параметрів, що вимагаються для подальшого формування методів обробки цієї поверхні.

В експертній підсистемі реалізована складна структура експертного правила, в загальній структурі якого використовується поряд з набором умов і набір експертних процедур (технологічних методів), що визначають ці умови або за набором умов визначається ім'я експертної процедури, яку необхідно виконати. При цьому розглядається висловлювання виду : *(4.3),*

$$\forall q(i)\,(\exists\ mq(ij)\ R\ \exists\ mq(ik)\ .....\ )\ R \forall\ q(l) \exists\ mq(ls)\ R\ \exists\ mq(ln).....) \Rightarrow \forall\ T_{мет}(i)\ \exists\ T_{мет}(im)$$
$$Q\quad Mq(i)\quad Mq(i)\qquad Q\quad Mq(l)\quad Mq(l)\qquad T_{мет}\quad T_{мет}(i)$$

де $T_{мет}$ - множина імен експертних процедур (технологічних методів), при виконанні яких отримується потрібне технологічне рішення. Усі експертні процедури організовані у вигляді системної бази знань.

При розгляді методології побудови експертних правил у вигляді наборів залежностей та умов їх використання використовуємо таку модель правила:*(4.4),*

$$\forall\ q(i)(\exists\ \ mq(ij)\ R\ \exists\ \ mq(ik)\ ...\ )\ R\ \forall\ q(l)\ (\ \exists\ mq(ls)\ R\ \exists\ mq(ln)...) \Rightarrow \forall\ for(i)\ \exists\ for(im)$$
$$Q\quad Mq(i)\quad Mq(i)\qquad Q\quad Mq(l)\quad Mq(l)\qquad FOR\quad for(i)$$

де $FOR=\{for(i)\}$ - множина імен експертних залежностей,серед яких при використанні та виконанні потрібних умов знаходиться єдина залежність, за допомогою якої і виконується розрахунок необхідних технологічних параметрів, що відповідають у сукупності технологічному рішенню, пошук якого виконувався. Даний тип експертного правила використано в системі для розрахунку та оптимізації режимів різання.

Усі технолоічні рішення оцінюються в системі за допомогою зворотніх прямим експертних правил (альтернативних методів комплексної оцінки очікуємих параметрів якості).

Таке експертне правило формулюється як комбиноване експертне правило типу:

$$\forall\ q(i)(\exists\ mq(ij)\ R\ \exists mq(ik).....)R \forall\ q(l)\ (\ \exists\ mq(ls)\ R\ \exists\ mq(ln)\ .....) \Rightarrow\ \forall\ t(ij)\ \exists\ T(lk)\ \ (4.5)$$
$$Q\quad Mq(i)\quad Mq(i)\qquad Q\quad Mq(l)\quad Mq(l)\qquad T\quad T(ij)$$

де $t(i)=\{t(ij)\}$, $j=\overline{1,k}$; - множина експертних процедур оцінки технологічних рішень та вибору напрямку подальших проектних робіт, а саме: $t(i_1)$ - процедура оцінки якості на заданому $E(i)$ етапі обчислювального процесу;

$t(i_2)$ -процедура оцінки економічних критеріїв продуктивності та собівартості рішень-претендентів.

В комп'ютерній технології передбачається можливість переходу з любого $E(i)$ етапу проектування за допомогою анализу технологічних рішень на любий інший $E(k)$ етап, при умові, що *(k>i)*, тобто можно повернутися на більш ранні етапи або пропустити один або декілька етапів.

Нехай $PRT=\{prt(i)\}$ - множина технологічних правил, тоді

$PRT1=\{prt1(i)\}$ -1 група "прямих" експертних правил ;

$PRT2=\{prt2(i)\}$ -2 група "оцінюючих" експертних правил;

$PRT3=\{prt3(i)\}$ -3 група "продукуючих" експертних правил та при цьому виконується умова: $PRT_k = PRT1_k \cap PRT2_k \cap PRT3_k \leftrightarrow E_k$ *(4.6)*

Кожне $prt_1(i)$ технологічне правило представляє собою набір альтернативних технологічних рішень ранжованих експертом за приорітетністю використання в реальних умовах виробництва: $prt_1(i)=\{prt_1(ij)\}$, $j=1,10$. *(4.7)*

В БТЗ передбачено взаємо-однозначну відповідність виду:

$$\forall \exists\ prt_1(i) \Rightarrow (\exists \rightarrow \exists prt_1(ij)) \cap \exists prt_2(i) \cap \exists\ prt_3(i) \cap (prt_1(i) \leftrightarrow prt_2(i)) \cap (prt_2(i) \leftrightarrow prt_3(i))$$
$$i \in PRT \qquad i \quad j \qquad i \qquad i \qquad (4.8)$$

На основі усіх трьох множин технологічних правил вирішується задача оцінки та оптимізації технологічних рішень в системі з можливістю використання діалогу фахівець-ЕОМ.

Процес прийняття, оцінки та уточнення технологічного рішення носить ітераційний характер. На першому етапі приймається технологічне рішення за допомогою "прямих" правил, при цьому користувачеві пропонується набір рішень ($n < 10$) в порядку їх приорітетності.

Вибране $prt_1(ij)$ технологічне рішення оцінюється за допомогою $prt_2(i)$ правила оцінки цього рішення на основі конкретних критеріїв якості, які задані у конкретному технологічному кресленні деталі.

Множина критеріїв $KR=\{kr(i)\}$ для оцінки конкретного технологічного рішення має динамічну структуру та формується в процесі проектування, виходячи з технологічного креслення деталі, причому кожному $kr(i) \leftrightarrow prt_2(i)$. Якщо виконана оцінка результату проектування виявилася незадовільною підключається група "продуціюючих" експертних правил, де оговорено в залежності від проектної ситуації, які дії потрібно виконати, для того, щоб отримати задовільне за показниками якості рішення.

В роботі розроблено більш ніж 15 моделей експертних правил та майже до 300 правил на кожну модель.

Експертне правило на рівні логіки користувача формулюється у вигляді тривимірної структури типу: "*ЯКЩО* $\{OP_i\}$ - *ЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ* $\{OO_l\}$ - *ТО* $\{R_k\}$", де $\{OP_i\}$ - множина умов експертних правил;

$\{OO_l\}$ - множина логічних операцій експертних правил;

$\{R_k\}$ - множина результатів експертних правил.

ЯКЩО : **ТО:**

ЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ

набір умов набір результатів

- умова 1

умова 1 & умова 2 -результат 1

- умова 2
- умова 3

результат1 & умова 3 -результат 2 і т.д.

Набір умов може бути вибраний з об'єктів (даних) словника, складеного з довідників усіх технологічних знань, що присутні в базі.

Словник технологічних термінів і класифікатори складають так званий алфавіт комп'ютерної технології проектування виробничих об'єктів, який можливо поповнювати і який обслуговує інтерфейс конструктора/технолога-користувача.

Набір логічних операцій є фактично звичайною таблицею прийняття рішень. Набір дозволених логічних операцій описується в базі технологічних даних і знань у вигляді структури абстрактного об'єкта - загальносистемного експертного правила підтримки структур довільних експертних правил конструкторсько-технологічного призначення.

Код реєстрації процедур та файлів (таблиць), тобто об'єктів експертної підсистеми комп'ютерної технології має таку структуру:

X : X , де

I II I : 1 - універсальна процедура експертної підсистеми

2 - окрема процедура експертної підсистеми

(що формулюються в структурі правила)

3 - експертна процедура.

П : 1 - занесена в базу програмних засобів
0 - не занесена в базу програмних засобів.

Для організації ефективного та незалежного від різноманітної природи об'єктів комп'ютерної технології обчислювального процесу введено поняття логічного формату об'єкту. Логічний формат об'єкту виконує зв'язок між фізичним рівнем уяви даних в комп'ютері та логічним на рівні об'єктно-орієнтованого опису даних та складноструктуйованих об'єктів. **Оскільки в конструкторсько-технологічній підготовці виробництва в рамках комп'ютерної технології можливо застосувати однакові механізми маніпулювання як досить простими об'єктами, такими як час виготовлення деталі, так і досить складноструктуйованими, такими як конструкторське креслення деталі, то введення логічного формату даних дозволяє виконати абстрагування усіх об'єктів проектування на рівні логічного формату та класифікувати механізми обробки логічних форматів даних незалежно від їх предметної суті через визначення чіткого співвідношення між логічним та фізичним форматом об'єкту.**

В експертній підсистемі передбачені типи логічних форматів об'єктів програмного забезпечення комп'ютерної технології, що структуюються у відповідності до коду формата елементарного об'єкта комп'ютерної технології з точки зору програмного забезпечення:

X : X, де	I	П
I П	1- цілі	0 - без довідника і без діапазона
	2 - дійсні	1 - з діапазоном значень
	3 - текст	2 - з словником
	4 - формула	3 - з діапазоном значень і з словником
	5 - задача/процедура	4÷9 - тип стандартного формату файлів
	6 - конструкторський/ технологічний об'єкт (інформаційна модель)	
	7 - геометричний образ (креслення)	
	8 - геометричний образ(малюнок)	
	9÷N - всі можливі стандартні типи структур.	

До наведених типів логічних форматів легко можно додати як запис бази даних експертних правил потрібні в залежності від предметної області проектування типи логічних форматів об'єктів, що використані у складі комп'ютерної технології.

Для реалізації механізму виводу експертна підсистема використовує файли "логічного" висновку. Виходячи з необхідності отримання технологічних рішень через базу технологічних знань остання має можливість утримувати всі три типи файлів, властивих експертним підсистемам: - файли умов;
- файли результатів;
- файли отримання логічного висновку.

Для опису структурної схеми логічного вибору конструкторсько-технологічних даних фахівець-користувач може самостійно описати логічні умови вибору за визначеною логічною структурою та форматом.

Фізична адреса формується системою автоматично на основі логічної інформації, яка утримується в словниках і класифікаторах.

Швидкість доступу до інформації забезпечується механізмом прямого адресного доступу (або його логічним відтворенням за допомогою SQL-запиту) і прямим переходом по записам виконання або невиконання логічної умови. Число читання записів в файлах при такій умові є мінімальним.

З метою скорочення часу пошуку даних в базі конструкторсько-технологічних даних та знань передбачається можливість виходу на будь-яку вершину дерева, описаного в логічній структурі інформації, яка зберігається в файлах. Для виходу на будь-яку вершину дерева по логічному адресу встановлюється

взаємозв'язок між фізичними і логічними адресами бази об'єктно-орієнтованих даних за допомогою двумірного масиву, в якому фізичній адресі конкретного запису відповідає її логічна адреса. Прикладна програма на основі класифікатора або довідника обраховує необхідні логічні адреси і переводить їх у відповідні фізичні адреси, за якими має прямий доступ практично до будь-якого фізичного запису безпосередньо.

В подальшому розглядається комплексна методологія проектування технологічних процесів та управляючих програм ЧПУ.

ВІРТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ - це фізично не існуюча технологія обробки деталі для отримання заготовки, яка відрізняється від реальної технології тим, що є абстрактною обробкою кожної поверхні деталі у вигляді окремої абстрактної операції, яка складається з упорядкованого набору абстрактних технологічних переходів, напрямок обробки яких протилежний напрямку обробки необхідних в реальному смислі переходів, та таких, що забезпечують якість поверхні деталі при обробці заготовки цими реальними переходами.

В реальному техпроцесі фізичні перетворення спрямовані від заготовки до деталі. В процесі ж проектування (на стадії аналізу) уявні перетворення спрямовані від деталі до заготовки і можна представити процес отримання заготовки з деталі за допомогою деякої уявляємої обробки деталі. Цю абстрактну обробку і назвемо віртуальною технологією. Тоді за визначенням віртуальну технологію можна представити: $VT: \quad Д \rightarrow З, \qquad (5\text{-}1)$

де $VT=<vt._1, vt._2, ..., vt._n>$-впорядкована множина, тобто віртуальна технологія, така що будь-який віртуальний технологічний процес задовільняє умові $vt._i \in VT \ \& \ i \in N$; $Д=\{\partial_1\}$ - визначена попередньо множина - деталь, яка складається з одного елемента - деталі ∂_1, яку необхідно "обробити" по віртуальній технології VT.

$З=<з._1, з._2, ..., з._n>$ - визначена попередньо впорядкована множина заготовок, яка отримується в результаті застосування до деталі $Д$ віртуального техпроцесу VT;

Віртуальний техпроцес можна визначити через співвідношення, яке буде відповідати схемі 1:М.

$$vt._1 : \partial \rightarrow з._1$$
$$vt._2 : \partial \rightarrow з._2 \qquad (5\text{-}2)$$
$$\ldots\ldots\ldots$$
$$vt._n : \partial \rightarrow з._n$$

Відзначимо, що у відповідності до теорії множин кожній функції може відповідати обернена функція. На цій підставі приймемо: $VT=T^{-1}, \qquad (5\text{-}3)$

де T^{-1} - функція обернена T.

Співставивши (5-2) і врахувавши (5-3) можна записати, що кожному i-ому віртуальному техпроцесу $vt._i$ відповідає обернена функція реального техпроцесу, тобто $vt._i = t._i^{-1}, \qquad (5\text{-}4)$

де $t._i^{-1}$ - функція обернена $t._i$.

Це означає, що всі $vt._i$ теж функції. За аналогією визначимо j-ту віртуальну операцію i-го віртуального техпроцесу $ОП_{ij}$, а також віртуальний перехід.

Дуже важливо в технологічному смислі те, що процес породжує наступний елемент на основі попередньої "історії" утворення елементів. Саме таким чином вибираються технологічні переходи - з урахуванням результатів попередньої обробки на попередніх переходах. На цій підставі запишемо :

$$c._{ij2} \in оп._{ij}(пк._j)$$
$$c._{ij3} \in оп._{ij}(c._{ij2})$$
$$\ldots\ldots\ldots \qquad (5\text{-}5)$$
$$пзч._{ij} \in оп._{ij}(c._{ijn-1})$$

Строго кажучи, множина технологічних станів поверхонь $<пк._j, c._{ij2}, ..., c._{ijq}, ..., пзч._{ij}>$ буде замиканням віртуальної операції $оп._{ij}$ відносно конструкторської поверхні $пк._j$ лише, якщо процес може починатися з будь-якого $c._{ijq}$.

Віртуальний перехід можна представити в матричній формі:

$$ПР._{ij} = \begin{bmatrix} пк._j, & c._{ij\,2} \\ c._{ij2}, & c._{ij\,3} \\ \cdots & \\ c._{ijq}, & c._{ijq+1} \\ \cdots & \\ c._{ijn-1}, & пзч._{ij} \end{bmatrix}, \qquad (5\text{-}6)$$

яка є підмножиною на декартовому добутку можливих технологічних станів поверхонь $C._{ij} \times C._{ij}$.

Цікавим є той факт, що q-ий віртуальний технологічний перехід j-ої операції i-го технологічного процесу є q-им ступенем процесу j-ої операції i-го технологічного процесу, визначений в смислі рекурентних співвідношень, допускає рекурсивне визначення операції: $оп._{ij} = <оп._{ij}^{1}(пк._j), оп._{ij}^{2}(пк._j), \ldots, оп._{ij}^{n-1}(пк._j)>$ (5-7)

Звідси випливає дуже важливий висновок - віртуальний перехід за визначенням є віртуальною операцією і, таким чином, між ними існує в "атрибутному" смислі зв'язок включення (наслідування, "IS-A"), в той час як між операціями і техпроцесом за визначенням існує зв'язок належності (агрегування, "PART-OF").

Віртуальна технологія $VT{:}Д \rightarrow З$ буде визначена, якщо буде визначена система віртуальних техпроцесів: $vt._1{:}\ д \rightarrow з._1$

$$vt._2{:}\ д \rightarrow з._2$$
$$\cdots\cdots$$
$$vt._n{:}\ д \rightarrow з._n$$

Технологічний стан поверхні $c._{ijq}$ визначається в рамках прийнятих припущень на декартовому добутку множин: (5-8)

$c._{ijq} = \{<рз,дп,ш,ф,р> \in РЗ \times ДП \times Ш \times Ф \times Р \mid рз \in РЗ \,\&\, дп \in ДП \,\&\, ш \in Ш \,\&\, ф \in Ф \,\&\, р \in Р\}$,

де $РЗ$ - множина розмірів, $ТР$ - множина допусків,

$Ш$ - множина шорсткостей, $Ф$ - множина допусків форми,

$Р$ - множина допусків розташування поверхні.

Перехід визначається в свою чергу не тільки визначеним вище технологічним станом поверхні, але й типом поверхні, а також матеріалом з якого виготовлена деталь. Виходячи з цього уточнимо (5-6):

$$ПР._{ij} = \begin{bmatrix} пк._j < рз,дп,ш,ф,р,тп,м >, & c._{ij\,2} <рз,дп,ш,ф,р,тп,м > \\ c._{ij\,2} < рз,дп,ш,ф,р,тп,м >, & c._{ij\,3} < рз,дп,ш,ф,р,тп,м> \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ c._{ij\,q} < рз,дп,ш,ф,р,тп,м>, & c._{ij\,q+1} <рз,дп,ш,ф,р,тп,м> \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ c._{ij\,n-1} < рз,дп,ш,ф,р,тп,м>, & пзч._{ij} <рз,дп,ш,ф,р,тп,м> \end{bmatrix} \qquad (5\text{-}9)$$

Далі,наприклад, технологічний стан поверхні $c._{ijq}$, що має атрибути $<рз,дп,ш,ф,р,\ тп,м>$, можна представити у вигляді: $c._{ijq}$ $<рз,дп,ш,ф,р,тп,м>$ (5-10)

В свою чергу матрицю (5-9) можна представити в більш компактному табличному вигляді:

I	II
предикати:	*переходи:*
$пк._j <рз,дп,ш,ф,р,тп,м>$	$пр._{ij\,1}$
$c._{ij\,2} <рз,дп,ш,ф,р,тп,м>$	$пр._{ij\,2}$
$\cdots\cdots$	$\cdots\cdots$
$c._{ijq} <рз,дп,ш,ф,р,тп,м>$	$пр._{ijn-2}$
$\cdots\cdots$	$пр._{ijn-1}$
$c._{ijn-1} <рз,дп,ш,ф,тп,м>$	
$пзч._{ij} <рз,дп,ш,ф,р.тп,м>$	

(5-11)

За віртуальною технологією з поєднанням через поєднання технологічних станів отримаємо віртуальні технологічні переходи, композиція яких дасть технологічні операції, що складають віртуальний технологічний процес. Останнім шагом проектування технології виготовлення деталі на структурному рівні є операція перевертання віртуального техпроцесу зверху вниз з метою отримання конкретної технології. Такий метод проектування використано при проектуванні єдиничних технологічних процесів. За методом групових та типових технологічних процесів використано експертні правила, моделі яких описані в подальшому.

В наступному розглянуто алгоритми автоматизованого розпізнання технологічних поверхонь в конструкторському кресленні деталі. Розроблені алгоритми використовують .dxf формат як вхідну інформаційну модель для опису геометрії поверхні як об'єкту проектування. Інформація про поверхні отримується від конструкторської підсистеми, зформованої на базі стандартних CAD-систем, таких як, наприклад, AUTOCAD.

Розпізнання типу поверхні ведемо за допомогою експертних правил, відповідно до алгоритму, який аналізує співвідношення геометричних елементів та геометричних характеристик, і на цій основі дозволяє визначити тип технологічної поверхні за класифікатором типових поверхонь, наведених у додатку 1 дисертації.

Далі розглянуто конкретні приклади реальних виробничих експертних правил для проектування технології виготовлення виробів в машинобудуванні.

Основні етапи проектних робіт при розробці технологічного процесу та управляючої програми для деталей широкого діапазону наведено на фіг. 7.1. Кожний з цих етапів відповідає конкретній групі експертних правил, націлених на виконання проектних робіт поточного етапу та підтримується відповідним розділом бази технологічних знань.

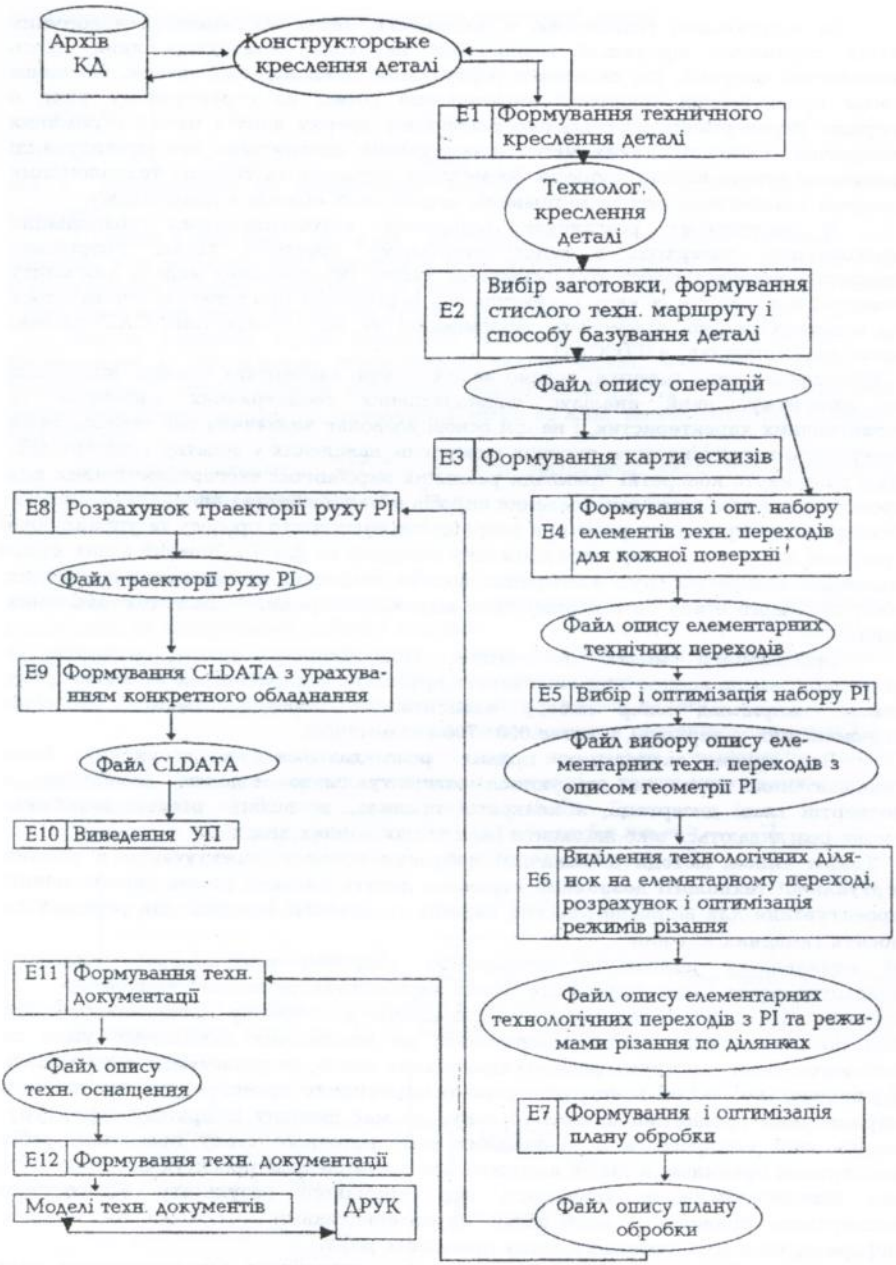
Інформаційні моделі експертних технологічних правил наведено в дисертації, число конкретних виробничих правил на підприємствах за визначиною темою, наприклад вибір набору елементарних переходів (методів обробки різноманітних поверхонь), досягає 600 -700 екземплярів.

Всі групи експертних правил розглядаються як структури бази технологічних знань та описуються концептуальною моделлю, наведеною в червертій главі дисертації, а конкретні правила, де відбито реальні виробничі умови розглядаються вже як записи бази технологічних знань.

Таким чином, методи динамичної побудови процесу проектування в рамках віртуальної технології дозволили отримати досить високий рівень автоматизації проектування для відносно простих виробів та деталей, середній для середніх та досить складних виробів.

В подальшому розглянуто методологію розробки комп'ютерної технології конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, де вказано конкретну множину функціональних задач у відповідності до переліку проектних робіт та для досягнення властивості адаптуємості до конкретних виробничих умов за допомогою бази конструкторсько-технологічних знань, запропоновано нову модель функціональної задачі конструкторсько-технологічного проектування, пов'язану з параметрами предметної області та таку, що має складну ієрархічну структуру, корінь якої асоціюється з відповідним меті поточного етапу проектних робіт експертним правилом; а листя асоціюються з комплексом проектуючих процедур, що підключаються в залежності від отриманого результату відповідного експертного правила; з зовнішніми характеристиками - похідна та вихідна інформаційні моделі поточного етапу проектних робіт.

Кожна обчислювальна система в умовах динамічних швидкоплинних змін виробництва може розглядатися не тільки як сладний граф з функціональними вузловими задачами, але й як множина вузлових комплексів проектних процедур



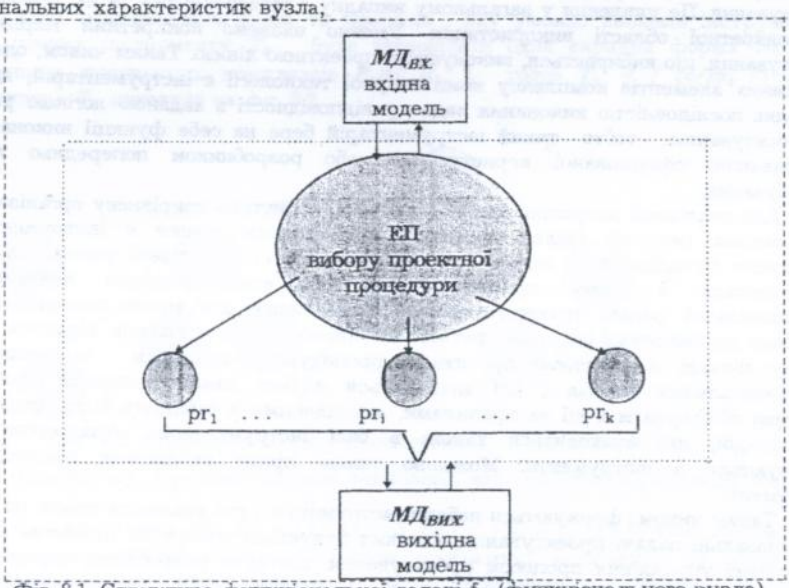
Фіг. 7.1. Послідовність основних етапів проектних робіт при розробці технологічного процесу та управляючої програми для деталей широкого діапазону.

відповідно до фіг. 8.1., де функціональна задача f_{ij} розглядається як складна структура (вузол), що має такі елементи як: $PR_{ij}=\{pr_{ij1}, \ldots pr_{ijl}, \ldots pr_{ijk}\}$; - комплекс експертних процедур (задач) проектування, націлених на вирішення f_{ij} задачі ;

$mdvx_{ij}$-вхідна модель для функціонування функціонального вузла f_{ij} ;

$mdvix_{ij}$ - вихідна модель, результат функціонування функціонального вузла f_{ij} ;

$dbep_{ij}$ - база даних експертних правил (множина правил однієї структури) управління процесом вибору конкретної експертної процедури проектування у відповідності до однієї спільної конкретної $strep_{ij}$ структури експертного правила, тобто існує взаємооднозначне відображення типу: $f_{ij} \Leftrightarrow strep_{ij}$, що є однією з оригінальних характеристик вузла;



Фіг. 8.1. Структура функціональної задачі f_{ij}-(функціонального вузла)

f_{ij} - функціональна задача - функціональний вузел

$form_{ij}$ -інтерфейс користувача, що відповідає як взаємооднозначне відображення типу: $f_{ij} \Leftrightarrow form_{ij}$ конкретному функціональному вузлу.

Таким чином поняття функціонального вузла можливо представити у вигляді множини із визначеною структурою:

$f_{ij} = \{ PR_{ij}, mdvx_{ij}, mdvix_{ij}, dbep_{ij}, form_{ij}\}$;

Крім цього, відмітимо, що кожний вузловий комплекс процедур або задач може бути націленим на виконання відповідної локальної мети, наприклад розрахунок опорних точок переміщення ріжучого інструменту. Експертне правило формулюється як наведено попередньо, інтерфейс користувача уявляє собою відповідний графічний редактор, усі експертні правила для різноманітних деталей та методів обробки та експертні задачі розрахунку траєкторії зберігаються у відповідній базі технологічних знань та такий обчислювальний вузол має конкретно визначені вхідну та вихідну математичні моделі. Базуючись на

вищевикладеному будемо у подальшому використовувати термін "функціональна задача" у розумінні "фуккціональний вузол"

Таким чином, така постановка проблеми формування структури комп'ютерної технології, яка використовує запропоноване розуміння функціональних задач на базі загальної концепції в області штучного інтелекту, дозволяє описати базу даних вузлів обчислюваного процесу у термінах логічного формату даних, що дозволяє мати динамічний процес проектування та легко його адаптувати до реальних умов на виробництві.

Процес проектування в довільній предметній області можливо представити у вигляді багатозв'язного графа , в вузлах якого розміщені функціональні задачі, а дуги можливо зв'язати з множиною правил переходу до чергової задачі проектування. Це уявлення у загальному випадку є універсальним та не залежить від конкретної області використання. Умовно назвемо конкретний маршрут проектування, що вибирається, виконуємою проектною лінією. Таким чином, одним з основних елементів комплексу комп'ютерної технології є інструментарій, який управляє послідовністю виконання задач у відповідності з заданою логікою робіт по проектуванню, тобто такий інструментарій бере на себе функції виконання (програвання) сформованої користувачем, або розробником попередньо лінії проектування.

Для реалізації запропонованого підходу використано трирівневу організацію управляємих ресурсів (задач проектування). Верхнім рівнем є інструмент - реалізуєма функціональна задача проектування. Наступний рівень-рівень дій, що ассоциюються з діями проектувальника на етапі рішення конкретної функціональної задачі проектування. В свою чергу дія може складатися з множини управляємих ресурсів третього (нижнього) рівня -процесів. Процеси при даному підході є кінцевою проектною процедурою -процесом із множини інструментальних засобів , які знаходяться в базі даних процесів. Процеси можливо об'єднувати в дії за правилами, закладеними в таблицях відповідностей процесів-дій, які знаходяться також в базі інструментарію. Аналогічно дії об'єднуються в інструменти. Можливо також пряме входження процесів в інструмент.

Таким чином формуються набори інструментів , що уявляють собою по суті функціональні задачі проектування, на яких будується конкретна проектна лінія. Інструмент управління процесом проектування, що було розроблено, передбачає наявність складених проектувальником декількох ліній проектування. У відповідності до програмної реалізації будемо розглядати інструмент як форму , тобто документ, який заповнюється в процесі виконання проектної лінії. Заповнення виконується шляхом послідовного виконання відповідних дій для даного інструменту.

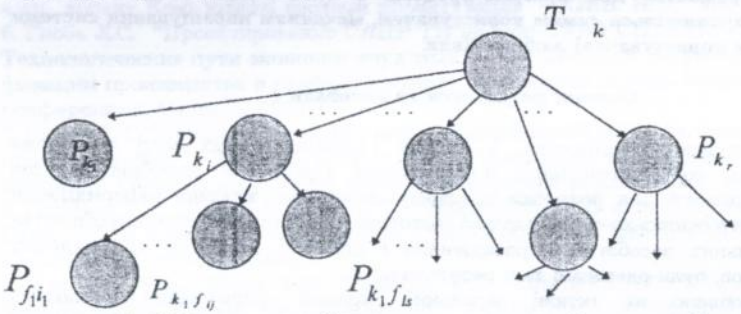
Дії ,в свою чергу, можуть бути вкладеними формами , але не документами. Ці форми можливо використовувати для настройки виконання дії, як сукупності викликаємих основною програмою-монітором програм-процесів. Очевидно, при такій реалізації управління процесом проектування можливо виделити декілька етапів роботи комп'ютерної технології:

- на першому етапі відпрацьовує програмний комплекс наповнення баз даних програм-процесів, дій, інструментів;
- наступний етап - працює програмний комплекс визначення відповідності між можливими ресурсами -створення таблиць відповідностей процеси-дії-інструменти;
- далі запускається програмний комплекс, що дозволяє проектувальнику формувати виконуєму проектну лінію;
- останній етап-це виконання проектної лінії.

Кожній функціональній задачі f_{ij} відповідає сукупність функціональних програм P_{ql}, які утворюють функціональний програмний комплекс $P_{f_{ij}}$, який реалізує функціональну задачу або процедуру f_{ij} та який умовно назовемо процесом та позначимо $P_{f_{ij}}$.

Множину функціональних задач f_i, що утворює відповідний їй програмний комплекс P_i назовемо умовно дією та позначимо як P_i.

Введемо поняття взаємооднозначної відповідності між сукупністтю дій $P = \{ P_i \} \Leftrightarrow T = \{T_k\}$, де під множиною $T = \{T_k\}$ будемо розуміти сукупність інтерфейсних форм та процесів, яку умовно назвемо інструментом. Тоді одному інструменту T_k буде відповідати одна екранна форма $form_k$ та сукупність програмних комплексів $P_k = \{ P_{ki} \}$, тобто $T_k = \{ form_k \cap P_k \}$. Структура T_k наведена на фіг. 8.2.



Фіг. 8.2. Структура об'єкту проектування - "інструмент".

Підсистему S_K комп'ютерної технології, яка реалізує всі функції множини задач F_K, визначемо як: $F_K = \bigcup^{i} f_i, i = \overline{S,L}; S \geq 1; L \geq S;$ та будемо вважати, що вона утворює об'єдання функціональних програмних комплексів та може бути визначена як підсистема за допомогою таких виразів:

$S_K = \bigcup^{i} P_i, i = \overline{S,L}; S \geq 1; L \geq S;$

$S_K = \bigcup^{i} T_i, i = \overline{M,N}; M \geq 1; N \geq M;$ що іншими словами означає, підсистема з одного боку є об'єднанням функціональних задач, з іншого боку є об'єднанням інструментів. Поняття функціональних задач використовуємо при функціональній постановці задачі беручи до уваги алгоритм проектування. Поняття інструменту дозволяє звернути увагу на програмну реалізацію ком'ютерної технології у вигляді моделі програмного комплексу.

Поняття інструменту використуємо для вказування цільового аспекту в рамках комп'ютерної технології, коли вона не направлена тільки обмежено на одну ціль (будемо називати умовно її проектною лінією ***PL***), а має одну або декілька глобальних цілей (проектних ліній $PL=\{PL_{ij}\}$ та обов'язково декілька локальних цілей (або проектних ліній) $PL_i = \{PL_{ij}\}$. З іншого боку визначимо проектну лінію як сукупність інструментів, виходячи з того, що при досягненні конкретної мети в процесі проектування користувач виконує визначену послідовність дій

використовуючи визначені екранні форми, тобто інтерфейси, тобто проектна лінія складається з впорядкованої множини інструментів: $PL_i = \{ T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow __ \rightarrow T_r \}$.

Виходячи з введених понять можна визначити підсистему як, сукупність проектних ліній: I

$S_k = \cup PL_{kl}$, що можно ототожнювати з множиною команд користувача. **Такий підхід дозволяє перейти до ідеології проектування за подіями, тобто у відповідь на подію виконується визначена послідовність дій або процесів. Місцем події може бути місце на екранній формі, що є складовою частиною інтерфейсу користувача. Інтерфейс користувача при цьому може бути моделлю реальних документів, а події в його графах - реальними комп'ютеризованими діями користувача в умовах реального виробництва.**

При реалізації вищезазначеного підходу отримуємо універсальну за своєю суттю технологічну мережу обчислювань, що легко настроюється під кінцевого користувача та дозволяє йому самому настроювати й нарощувати систему під себе. При включенні в систему управління дезайнера форм з прив'язкою до останньої інструментів, дій, програм-процесів з бази знань обчислювальних процесів, що наповнюється самим користувачем, механізм нарощування системи буде доступним користувачеві любого рівня.

Основні результати та висновки :

При проведенні досліджень, в цілому підпорядкованих меті створення наукових основ нової методології технологічної підготовки виробництва, що відкриває можливості для розробки інтелектуальної комп'ютерної інформаційної технології клнструкторсько-технологічної підготовки машинобудівного виробництва та інтелектуальних засобів її впровадження і швидкої адаптації до реальних виробничих умов, були одержані такі результати:

1. Розроблено на основі загальних правил формування технології виготовлення деталей в машинобудуванні нову формалізовану теорію системного (взаємопов'язаного в просторі усього комплексу задач технологічної підготовки виробництва) проектування технологічних процесів та документів технологічної підготовки машинобудівного виробництва, призначену для створення гнучкої інтелектуальної комп'ютерної технології конструкторсько-технологічного проектування.
2. Створено алгоритмічне забезпечення для нової методології проектування документів технологічної підготовки машинобудівного виробництва, яке використовує методи динамічного програмування для оптимізації індивідуальних та колективних рішень в процесі проектування технології виготовлення деталей.
3. Використано можливості штучного інтелекту при оптимізації індивідуальних та колективних технічних рішень, що наповнюють документи технологічної підготовки виробництва.
4. Розроблено та реалізовано гнучку інтелектуальну комп'ютерну технологію технологічної підготовки машинобудівного виробництва, яка основана на новій запропонованій автором методології.
5. Впроваджено методологію розробки сучасної високоефективної комп'ютерної технології конструкторсько-технологічної підготовки виробництва зі штучним інтелектом та інтегрований комп'ютеризований процес проектування замість традиційних методів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва більш ніж на 4 підприємствах галузі, та таку, яка дозволяє швидко та легко реагувати на зміну номенклатури деталей та значно скоротити цикл підготовки виробництва виробів довільної складності.

Публікації по темі дисертації

По темі дисертації опубліковано 67 наукових робіт, основні з них:

1. Глоба Л.С., Остафьев В.А., Жданов Б.И. "Проектирование интеллектуальных компьютерных технологий для технологической подготовки производства", Киев, НаУКМА, 1996, 198 стр.
2. Л.С.Глоба "Элементы искусственного интеллекта в системах автоматизированного проектирования технологических процессов", в кн."Разработка и внедрение автоматизированных систем конструкторско-технологической подготовки производства, Хмельницкий, 1990г.
3. Глоба Л.С. "Інтегрована система конструкторсько-технологічної підготовки виробництва" - Матеріали міжнародної конференції "Оснастка-94", Київ, 1994 р.
4. Глоба Л.С. "Організація та методи ведення баз технологічних даних та знань" - Збірник матеріалів міжнародної конференції "Оснастка-94", Київ, 1994 р.
5. Глоба Л.С., "Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу "Автоматизація проектування комп'ютерних засобів" для студентів спеціальності 7.0804.02 - Укл. к.т.н., доцент Комп'ютерні системи проектування" - КИЇВ: КПІ, 1995. - 40с.
6. Глоба Л.С. "Проектирование САПР ТП на базе СУБД СПЕКТР."- Технологические пути экономии трудовых и материальных ресурсов и интенсификации производства в приборостроении. Всесоюзная научно-техническая конференция, Суздаль, 1983 г.
7. Глоба Л.С. "Методы построения автоматизированной системы технологического проектирования." - Молодые специалисты Укрфилиала НИАТ в научно-техн. прогрессе. Сборник материалов научно-технической конференции, Киев, 1985 г.
8. Ostafiev V.A., Globa L.S., Patri K.V. "Integrating CAD with CAM for Prizma Type Parts. - The International Conference -JCCJM'95, Gintic Institute of Manufacturing Technology, Singapore, 1995.
9. Ostafiev V.A., Globa L.S., Tymchic G.S., Ostafiev D.V. " Intelligent Expert Manufacturing System for NC-Machine", Proc.og the 1-st ISICIMS'94 Conference, Seoul National University, p.p. 248-252,1994.
10. V.O.Ostafiev, L.S.Globa, R.S. Ostafiev "Artificial Intelligent Expert CAD/CAM System" - International Computer Science Meeting "MicroCAD-system", Kharkov, 8-13 June 1993.
11.Ostafiev V.A., Globa L.S. "Some Approach To Artificial Intelligence Computer-Aided Expert System for Production Process Planning.- The International Conference on Manufacturing Systems and Environment "Looking Toward the 21st Century", JZME, Tokyo, Japan, May 29 - June 1, 1990.
12.Ostafiev V.A., Globa L.S. "Artificial Intelligence Expert System for Complex Surfaces Tool Path Design and Optimization"- the 5th International Manufacturing Conference in CHINA 91 - IMCC 91, HONG KONG, 2-4th April 1991.
13. Кужидэм З.В., Глоба Л.С. Программная компенсация погрешности позиционирования станков с применением самоорганизации. -. Материалы II международной научно-технической конференции советских и польских ученых-выпускников высших учебных - заведений СССР, Вроцлав, 1986 г.
14. Ostafiev V.A., Globa L.S., Globa A.V. "Integrated End Milling Optimization Development" - Annals of the CIRP, V. 33/1/, Paris , 1984.
15. Ostafiev V.A., Globa L.S. "Optimization Aspects in CAD/CAM "- Preprints conf. "PROLAMAT-88", v.II, Dresden,GDR,1988
16. Ostafiev V.A., Globa L.S. "Some Approach Integration Expert System with Artificial Intelligence (AI)." - 14-th IFIP Conference on "System modeling and Optimization", Leipzig, GDR, July 3-7, 1989

17. В.А.Висикирский, А.А.Тимченко, Л.С.Глоба. Средства графического моделирования в интеллектуальной САПР.- в кн."Програмное обеспечение САПР и АСУТП - Тезисы докладов III Международной конференции "Програмное обеспечение ЭВМ", Тверь, 1990 г.
18. О.І. Пилипенко, Л.С.Глоба "Інтегрована автоматизована система виготовлення оснастки" - Матеріали міжнародної конференції "Оснастка-94", Київ, 1994 р..
19. О.Є. Минецький, Л.С.Глоба "Графічна база даних технологічного оснащення" - Матеріали міжнародної конференції "Оснастка-94", Київ, 1994 р..
20. Е.В. Жовтий, Л.С.Глоба "САПР ТП "Славутич"" - Матеріали Міжнародної конференції "Оснастка-94", Київ, 1994 р..
21. Остаф'єв В.О., Глоба Л.С., Глоба О.В., Лупкин Б.В Способ обработки колодцев- а.с. N 1284734, 1987 г..
22. Глоба Л.С., Боримская Н.Г. Особенности построения комплексной САПР ТП для фрезерных операций - "Технология и автоматизация машиностроения", вып.46, 1990 г.
23. Остафьев В.А., Л.С.Глоба Интегрированная экспертная система с искусственным интеллектом, в кн. "Разработка и внедрение автоматизированных систем конструкторско-технологической подготовки производства", Хмельницкий, 1990 г.
24. Андон Ф.Н., Глоба Л.С., Дерецкий В.А. "Использование интегрированной мультипрограммной обработки данных в САПР ТП. " - Технологические пути экономии трудовых и материальных ресурсов и интенсификации производства в приборостроении. Всесоюзная научно-техническая конференция, Суздаль, 1983 г.
25. Б.В.Лупкин, А.В.Глоба, Л.С.Глоба Автоматизированная система проектирования технологических процессов (ТП) обработки КМ.- в кн."Технология производства деталей из композиционных материалов, г.Киев, 1992 г.
26. Камаев Ю.Н., Глоба Л.С. "Структура данных банка технологических данных. Автоматизация решения задач ТПП на предприятиях и в организациях Укр. ССР /Опыт внедрения ЕСТПП/. Сбизд-во стандартов,1983, вып.25
27. Остафьев В.А., Л.С.Глоба, Глоба А.В. "Методика построения подсистемы описания детали в диалоговой САПР ТП." - УСИМ, N 2, 1986 г.
28. Глоба Л.С., Гигиняк В.Я. "К вопросу об автоматизации проектирования систем автоматизированного проектирования. - Деп. УкрНИИНТИ, N 2277-Ук-85,23.09.85
29. Глоба Л.С., Боримская Н.Г. "Методика построения подсистемы ввода чертежа детали в САПР технологических процессов." - Технология и автоматизация машиностроения. Межведомственный сборник, вып. 42, 1988 г.
30. Остафьев В.А., Глоба Л.С., Глоба А.В., ЛупкинБ.В. "САПР технологических процессов фрезерной обработки для станков с ЧПУ. - Вопросы авиационной техники, прилож. Авиационная промышленность, 1989 г.
31. Глоба Л.С., Боримская Н.Г. "Принципы организации вычислительного процесса и архитектура САПР для станков типа "ОЦ"." - Технология и автоматизация машиностроения, Межведомственный сборник, вып. 43, 1989 г.
32. Глоба Л.С., Боримская Н.Г. "Особенности построения комплексной САПР ТП для фрезерных операций." - Технология и автоматизация машиностроения, Межведомственный сборник, вып. 46, 1990 г.
33. Пилипенко О.И., Глоба Л.С. "Интеграция CAD/CAM систем и системы подготовки производства" - Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства в машиностроении и судоремонте на базе ПЭВМ, Материалы конференции, Одесса, 1996 г.
34. Зинченко Д.В., Глоба Л.С. "Организация динамического вычислительного процесса в производственных компьютерных технологиях" - Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства в машиностроении и судоремонте на базе ПЭВМ, Материалы конференции, Одесса, 1996 г.

35. Жданов Б.И., Глоба Л.С. "Опыт разработки и использования САПР ТП "Славутич"" - Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства в машиностроении и судоремонте на базе ПЭВМ, Материалы конференции, Одесса, 1996 г.

Глоба Л.С. Интеллектуальная компьютерная технология конструкторско-технологической подготовки механообрабатывающего производства. Рукопись. - Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 - Системы автоматизации проектирования, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1996.

Защищается работа на основе 67 статей, которые содержат в себе результаты исследований и разработок в области высокоэффективных интеллектульных компьютерных технологий конструкторско-технологической подготовки для машино- и приборостроительного производства.

Работа посвящена методам разработки интеллектуальных компьютерных технологий производства, методологического, математического, алгоритмического и программного их обеспечения, теоретического обоснования и внедрения методов его рационального проектирования и изготовления как сложного инженерного объекта, обладающего искусственным интеллектом в области технологической подготовки производства, средствами быстрой адаптации к условиям реального производства и быстрого реагирования на изменение требований современного рынка. Создана и многократно внедрена на ряде предприятий Украины программная реализация предложенных методологии, теоретических подходов, моделей и алгоритмов.

Globa L.S. "The intelligence production process computer technology" - Doctor of Technical Science thesis on speciality 05.13.05 "Systems of automated designing".

National Technic University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kiev, 1996.

The thesis based on 67 articles deals with the results of the reseach and designing in fields of the intelligence production process computer technology for manufacturing.

The work discusses the designing methods of the intelligence production process computer technology, it's methodological, mathimatic, algorithmical and program supports, theoretical prove and using the intelligence computer-aided design convenient methods for production process computer technology designing like complex engineer object with artifficial intelligence in production process engineering, with the tools for adaptation to the variable production conditions and products in up-to-day market. There are the number of CAD/CAM systems was using by Ukrane plants to design based on discussed theoretic principles, models and algorithms.

Ключові слова: комп'ютерна технологія, конструкторсько-технологічна підготовка виробництва, штучний інтелект, математичне моделювання, об'єктно-орієнтований підхід.

Подписано к печати 1.11.96г. Формат 60x84/16.
Объем: 2.0 усл.-печ.л., 2.0 уч.-изд.л.
Тираж 100. Заказ 68.

Типография во Флоровском монастыре
тел. 416-54-62

4 36115

Ав 36.090