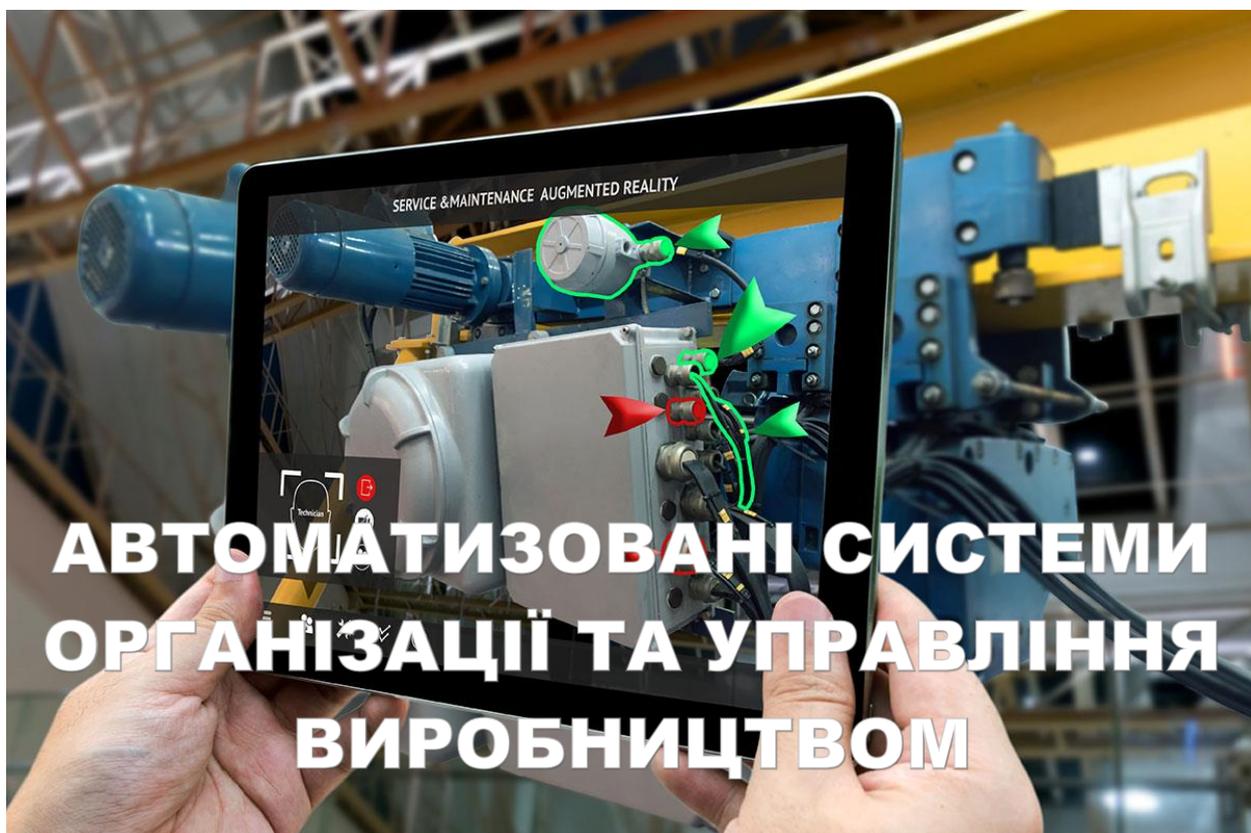


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

КУРС ЛЕКЦІЙ

*Рекомендоване Методичною радою КПІ ім.Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за спеціальністю 131 Прикладна механіка*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Автоматизовані системи організації та управління виробництвом: курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.В.Медведев. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 101 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №7 від 13.05.2021 р.) за поданням Вченої ради Механіко-машинобудівного інституту (протокол №7 від 22.02.2021 р.)

Електронне мережне навчальне видання

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ КУРС ЛЕКЦІЙ

Укладачі: *Медведев Вадим Вячеславович*, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний редактор *Кореньков, В.М.*, канд. техн. наук, доц.

Рецензент *Турчанін М.А.*, , д.х.н., проф., лауреат Державної премії України, проректор з наукової роботи, управління розвитком та міжнародних зв'язків Донбаської державної машинобудівної академії

Наведено курс лекцій по двох основних напрямках автоматизації: технологічна підготовка виробництва й інженерний документообіг на підприємстві. У першому розділі автоматизації підготовки виробництва приділена велика увага алгоритмам автоматизованого проектування технологічних процесів. Розглянуто загальну методологію побудови технологічних процесів. І докладно вивчені конкретні алгоритми побудови технологічних процесів комп'ютером. У другому розділі більшою мірою приділена увага підтримці життєвого циклу продукції в рамках CALS-Технологій. Розглянуті основи програм PDM і PLM класів. Порушено питання побудови баз даних з технічною інформацією. Дано приклади програмного забезпечення підтримки життєвого циклу продукції.

Призначений для студентів вищих навчальних закладів та спеціалістів у галузі машинобудування.

© Медведев В.В., 2021

© НТУУ «КПІ ім.Ігоря Сікорського», 2021

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	5
1. АСТПВ У СУЧАСНОМУ ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	5
Автоматизована система технологічної підготовки виробництва	5
Принципи АСТПВ	6
Компоненти САПР	6
САПР ТП як один з розділів АСТПВ	7
2. ПІДХОДИ ДО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ.....	9
Методи проектування.....	9
Стратегії проектування технологічних рішень.....	10
3. АСТПВ - ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРАЦІ ТЕХНОЛОГА	12
Класифікація комп'ютерних програм АСТПВ.....	13
Результати своєчасного й правильного впровадження АСТПВ.....	14
Концепції впровадження.....	15
4. ФОРМАТИ ЗБЕРІГАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КОМП'ЮТЕРІ.....	17
Текстовий формат XML	17
Таблична модель технологічного процесу.....	17
Мережна модель технологічного процесу	19
Перестановочна модель технологічного процесу	21
5. МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ТП В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ	22
Проектування конкретних технологічних процесів шляхом параметричного настроювання типового процесу.....	23
Метод виключення структурних елементів	24
Метод доповнення структурних елементів.....	25
Комбінований метод створення ТП.....	25
Ітераційні методи	26

Ітераційний синтез на основі типових проектних рішень.....	26
Синтез на основі оригінальних проектних рішень.....	27
6. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ ..	27
Проблеми автоматизації складальних ТП.....	27
Алгоритми проектування складальних ТП.....	28
7. АЛГОРИТМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО НАСТРОЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	30
Приклад рішення завдання по алгоритмічному настроюванню технологічних процесів.....	33
8. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ТИПОВИХ РІШЕНЬ	35
Кодування конструктивно-технологічних ознак деталей	36
Формування узагальненого маршруту обробки	38
Приклад розробки узагальненого маршруту	39
Кодування операцій обробки.....	41
Синтез технологічного маршруту обробки конкретної деталі	43
9. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП МОВОЮ ТАБЛИЦЬ РІШЕНЬ.....	45
Комплексна таблиця рішень.....	45
Таблиці рішень із обмеженими входами.....	47
Таблиці рішень із розширеними входами	49
Переваги використання таблицям рішень.....	50
10. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	51
Основи генетичних алгоритмів	51
Розробка технологічного процесу за допомогою генетичних алгоритмів ..	54
Проблеми при використанні генетичних алгоритмів	55
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ.....	56
11. CALS-ТЕХНОЛОГІЇ	56
Історія створення CALS-стратегії.....	56

Життєвий цикл виробу	57
12. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ЩО ПІДТРИМУЄ ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	60
13. БАЗИ ДАНИХ - ОСНОВА CALS-СИСТЕМ.....	71
Побудова реляційних баз даних	72
Функції СУБД	76
SQL-запити	78
QBE-запитів.....	81
Доступ до баз даних через запити.....	81
Доступ до бази даних через убудований інтерфейс.....	82
14. ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ПРОГРАМ КЛАСУ PDM/PLM	82
Управління інженерними даними	84
Управління составом виробу	86
Управління версіями	87
Управління варіантами.....	88
15 ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ЛОЦМАН:PLM	88
Управління структурою й конфігураціями виробу	89
Управління вимогами	90
Планування й управління проектами	91
Управління бізнес-процесами	91
Формування звітів.....	93
Інтеграція з іншими системами.....	94
Лоцман:PLM Повідомлення	95
Лоцман:PLM Веб-клієнт	95
Контрольні питання по курсу	98
ЛІТЕРАТУРА	100

РОЗДІЛ 1.

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

1. АСТПВ У СУЧАСНОМУ ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Відповідно ДСТ 23501-79 «САПР. Основні положення» основна функція САПР складається у виконанні автоматизованого проектування на всіх або окремих стадіях проектування об'єктів і їхніх складових частин.

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) являє собою комплекс робіт, спрямованих на підготовку виробництва до випуску нових виробів по наявних кресленнях, програмі випуску, термінам.

Технічну підготовку виробництва ділять на 3 частини

- Конструкторська підготовка (розробка креслень нового виробу).
- Організаційна підготовка (календарне й техніко-економічне планування).
- Технологічна підготовка.

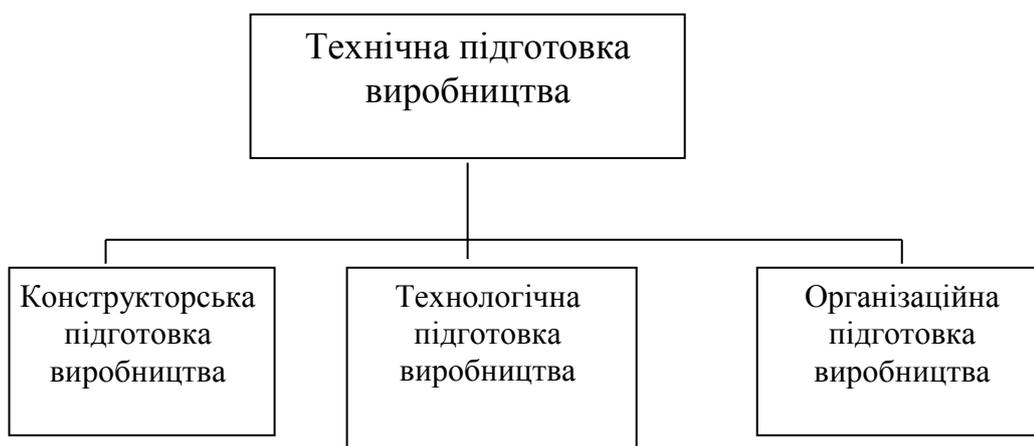


Рис. 1.1 - Структура технічної підготовки виробництва

Автоматизована система технологічної підготовки виробництва

АСТПВ є сукупністю програмного й апаратного забезпечення, що дозволяють проектувати технологічні процеси заготівельного виробництва, об-

робки різанням і складання, проектування технологічного оснащення, спеціального інструмента й нестандартного встаткування.

АСТПВ вирішує величезну галузь задач - від розрахунку подачі компонентів при плавці сплавів до настанови до транспортування впакованої готової продукції.

Слід особливо зазначити, що в АСТПВ - система автоматизованого, а не автоматичного проектування. Це означає, що частина операцій проектування може й завжди буде виконуватися людиною. При цьому в більш досконалих системах доля робіт, виконуваних людиною, буде меншою, але зміст цих робіт - більше творчим.

Принципи АСТПВ

Принцип відкритості. На етапі створення АСТПВ неможливо передбачити всі нюанси й перспективи подальшого розвитку виробництва. Тому АСТПВ повинна бути відкрита для модернізації й включення в неї нових рішень.

Принцип стандартизації. В АСТПВ повинне бути використане максимальне число уніфікованих, типових і стандартних рішень. Це зменшує витрати на створення АСТПВ, підвищує надійність її функціонування.

Принцип ергономічності. Тому що АСТПВ являється людино-машинною системою, варто передбачати зручність роботи її користувачів (правильний розподіл функцій, зручність і простоту інтерфейсів, урахування психологічних факторів і ін.).

Принцип орієнтації на нові досягнення. При створенні АСТПВ повинні використовуватися останні науково-технічні досягнення в області методів побудови АСТПВ, в області методів і засобів технологічної підготовки виробництва, а також в області організації виробництва.

Компоненти САПР

Відповідно ДСТ 22487-77 у САПР виділяють такі компоненти: технічне, програмне, лінгвістичне, інформаційне, математичне, методичне й організаційне забезпечення.

Технічним забезпеченням (ТЕ) називається сукупність взаємозалежних і взаємодіючих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування.

Програмним забезпеченням (ПО) називається сукупність програм, представлених у заданій формі й призначених для виконання автоматизованого проектування.

Інформаційним забезпеченням називається сукупність даних, необхідних для виконання автоматизованого проектування.

Лінгвістичним забезпеченням називається сукупність мов проектнування, включаючи терміни й визначення, правила формалізації звичайної мови й методи стиснення й розгортання текстів, необхідних для виконання автоматизованого проектування в заданій формі.

Математичним забезпеченням називається сукупність математичних методів, математичних моделей і алгоритмів проектування, необхідних для виконання автоматизованого проектування.

Методичним забезпеченням називається сукупність документів, які встановлюють склад і правила вибору й експлуатації засобів забезпечення автоматизованого проектування, необхідних для виконання автоматизованого проектування.

Організаційним забезпеченням називається сукупність документів, які встановлюють склад проектної організації і її підрозділів, зв'язок між ними, їхньої функції, а також форму подання результатів проектування й порядок розгляду проектних документів, необхідних для виконання автоматизованого проектування.

САПР ТП як один з розділів АСТПВ

Спочатку САПР ТП розроблялися як окремі завдання. Але з кінця 70-х почали з'являтися розробки по інтегруванню конструкторського, технологічного САПР і всієї АСТПВ.

У даній підсистемі це означає перетворення інформації про деталь, представленої у вигляді креслення, у технологічну документацію.

Звичайно цей процес включає:

- розробку принципової схеми технологічного процесу;
- проектування технологічного маршруту обробки деталі;
- проектування технологічних операцій з вибором обладнання, пристосувань і інструмента, а також із призначенням режимів різання й норм часу;
- розробку керуючих програм для верстатів із ЧПК;
- розрахунок техніко-економічних показників технологічних процесів;
- видачу необхідної технологічної документації.

Ціль проектування технологічних процесів - дати докладний опис операцій виготовлення виробу з необхідними техніко-економічними розрахунками й обґрунтуваннями прийнятого варіанта. Це завдання проектувальника доповнюється наступним завданням впровадження спроектованого технологічного процесу на підприємстві. У результаті складання технологічної документації інженерно-технічний персонал і робітники-виконавці одержують необхідні дані й інструкції для здійснення спроектованого технологічного процесу в конкретних виробничих умовах.

Безліч окремих технологічних завдань, до послідовного рішення яких зводиться діяльність технолога при проектуванні технологічного процесу, можна розділити на дві групи.

1. В окрему групу виділяють завдання, які називаються **розрахунковими**. До них ставляться завдання по визначенню припусків на механічну обробку, операційних технологічних розмірів, режимів різання. Рішення таких завдань зводиться до виконання розрахунків по формулах, тобто рішення їх досить формалізоване. Для них неважко скласти формальний алгоритм, що дозволяє вирішувати ці завдання з використанням ЕОМ. Частка таких завдань при технологічному проектуванні мала.

2. Більшу частину становлять завдання, які умовно називаються **нерозрахованими** (вибір методів обробки, типу встаткування, виду інструмента, призначення схеми базування, способу установки деталі, формування складу технологічних операцій, визначення послідовності операції, вибір виду заготівки, визначення послідовності переходів в операції і т.п.). Для цих завдань поки немає формальних методів рішення, тобто не встановлені функціональні співвідношення або алгоритми, що дозволяють формально, без

залучення інтуїції й досвіду технолога, вирішувати їх для заданого набору вихідних даних.

Яким же образом технолог приймає рішення в кожному з перерахованих випадків? Розглянемо як приклад завдання про вибір методу обробки. Нехай у деталі потрібно обробити отвір заданих розмірів. Для рішення розглянутого завдання технолог застосує відомі апробовані методи. У технології машинобудування відомо декілька перевірених на практиці методів обробки отворів: чорнові - свердління, рассвєдлення, зєнкєровання, розточування; чистові - розгортання, розточування, протягання, шліфування, хонінговання. Отже, є кінцевий набір відомих методів обробки (типових рішень), і в 99% випадків завдання технолога полягає в обґрунтованому виборі одного з них, тобто робота технолога зводиться до прийняття одного з типових рішень розглянутого технологічного завдання.

2. ПІДХОДИ ДО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ

Методи проектування

Використовувані в цей час методи проектування можна умовно розділити на евристичні, систематичні, алгоритмічні й ергатичні.

Евристичними називаються такі методи, коли важлива частина творчого процесу й одержання творчого результату відбувається в мозку людини й не може бути логічно отримана з попереднього досвіду.

Систематичні методи являють собою впорядковані якоюсь мірою загальні правила й рекомендації, які допомагають рішенню творчих завдань. Відомо більше тридцяти подібних методів, з яких найбільш відомі мозковий штурм, морфологічний аналіз, методи елементарних питань, аналогій, інверсії й інші алгоритми рішення винахідницьких завдань.

Алгоритмічні методи містять логічні й математичні алгоритми. При цьому найбільше повно формалізовані методи базуються на формальну логіку й математичне моделювання. Алгоритмічні методи полегшують застосування ЕОМ при проектуванні й конструюванні технічних засобів.

Ергатичні методи - сполучення формалізованих (машинних) і неформалізованих (людських) процедур у процесі проектування В цей час двоїстий (алгоритмічний і евристичний) характер процедур проектування унеможливує їхню повну автоматизацію.

Стратегії проектування технологічних рішень

Стратегія проектування визначає методику його проектування. Правильний вибір стратегії проектування надзвичайно важливий (особливо в САПР). Це визначає ефективність САПР. Нижче наведені деякі стратегії проектування.

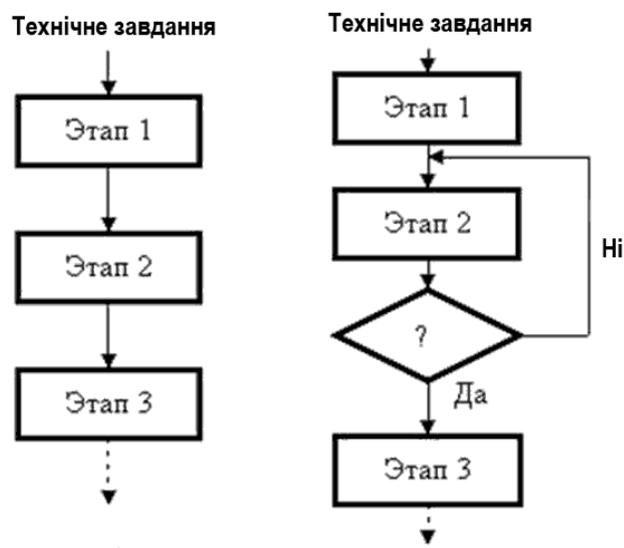


Рис. 2.1 - Лінійна й циклічна стратегії проектування

В ідеалі необхідно прагнути до вибору або розробки лінійної стратегії проектування. Вона є ідеальною особливо при проектуванні з використанням ЕОМ. Ця стратегія має мінімальну трудомісткість, максимальну надійність.

Циклічна стратегія (схема з петлями) характерна для багатьох програм ЕОМ і зветься ітераційного процесу. Іншими словами це процес послідовного наближення до цілі шляхом поліпшення розроблювальних варіантів.

Наявність паралельних етапів у розгалуженій стратегії дуже вигідно. Це дозволяє скоротити строки проектування.

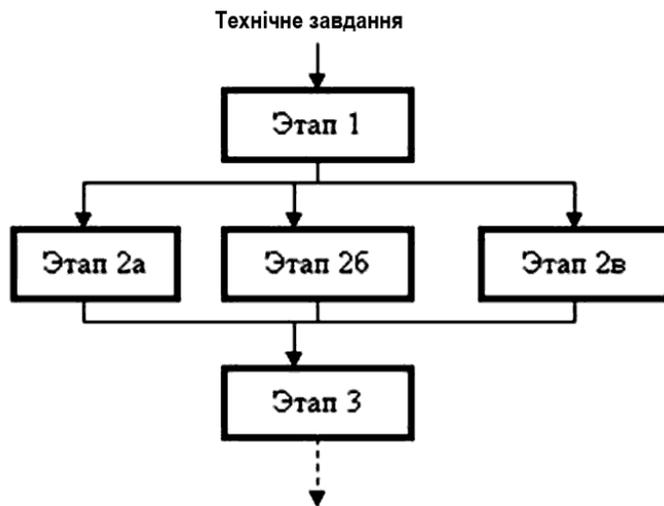


Рис. 2.2 - Розгалужена стратегія проектування

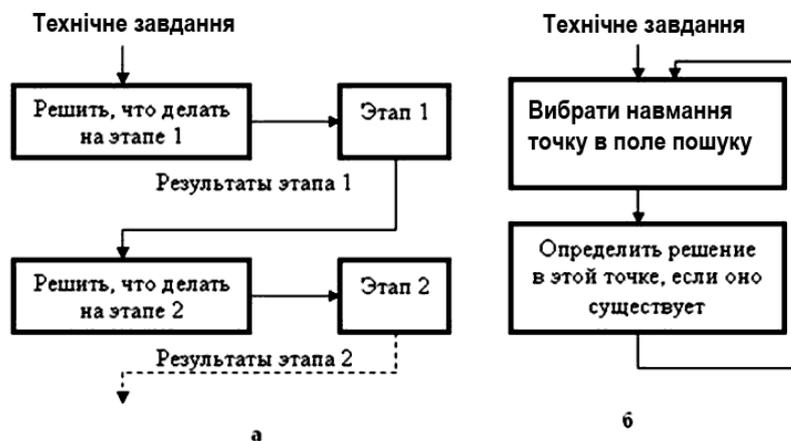


Рис. 2.3 - Адаптивна (а) і стратегія випадкового (б) пошуку

В адаптивних стратегіях проектування із самого початку визначається тільки перша дія. Надалі вибір кожної наступної дії залежить від результатів попереднього. У принципі це сама розумна стратегія, тому що схема пошуку визначається на основі найбільш повної інформації. Ця стратегія використовується при створенні систем штучного інтелекту.

Стратегія випадкового пошуку відрізняється абсолютною відсутністю плану. Вона використовується в новаторському проектуванні, наприклад, при розробці нових технологічних процесів.

Необхідно добиватися максимальної лінеаризації процесу проектування із включенням паралельних етапів, а циклічність намагатися виключати, особливо на верхніх рівнях проектування. На жаль, через недостатню інформа-

цію часто не вдається задати лінійну стратегію, що особливо доцільна в САПР.

У кожному разі, для всіх підходів до проектування складних систем характерні також наступні особливості.

1. **Структуризація** процесу проектування, що виражається декомпозицією проектних завдань і документації, виділенням стадій, етапів, проектних процедур. Ця структуризація є сутністю блочно-ієрархічного підходу до проектування.

2. **Ітераційний** характер проектування.

3. **Типізація й уніфікація** проектних рішень і засобів проектування.

3. АСТПВ - ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРАЦІ ТЕХНОЛОГА

Ціль автоматизації проектування ТП - скорочення строків підготовки виробництва й підвищення якості проектних робіт за рахунок застосування апробованих рішень і виключення суб'єктивного фактора при виготовленні документації.

АСТПВ – це система, що будується на використанні стандартів ЕСТПВ і в якій більше 60 % обсягу інженерних робіт виконується автоматизоване на ЕОМ у системі “людин – машина”.

- ІПС - інформаційно-пошукові системи;
- САПР ТП- системи автоматизованого проектування ТП, СТО, цехів;
- САП - система автоматизованого програмування керуючих програм для верстатів зі ЧПК;
- САН - система автоматизованого нормування;
- АСК - автоматизована система керування ТПВ.

ТПВ у системі технічної підготовки виробництва займає 30-40% від усього комплексу робіт у дрібносерійному виробництві, і 50-60% з масовому виробництві. З огляду на частку ручного проектування, автоматизоване проектування ТП у ТПВ становить приблизно 25% від комплексу всіх робіт у ТПВ.

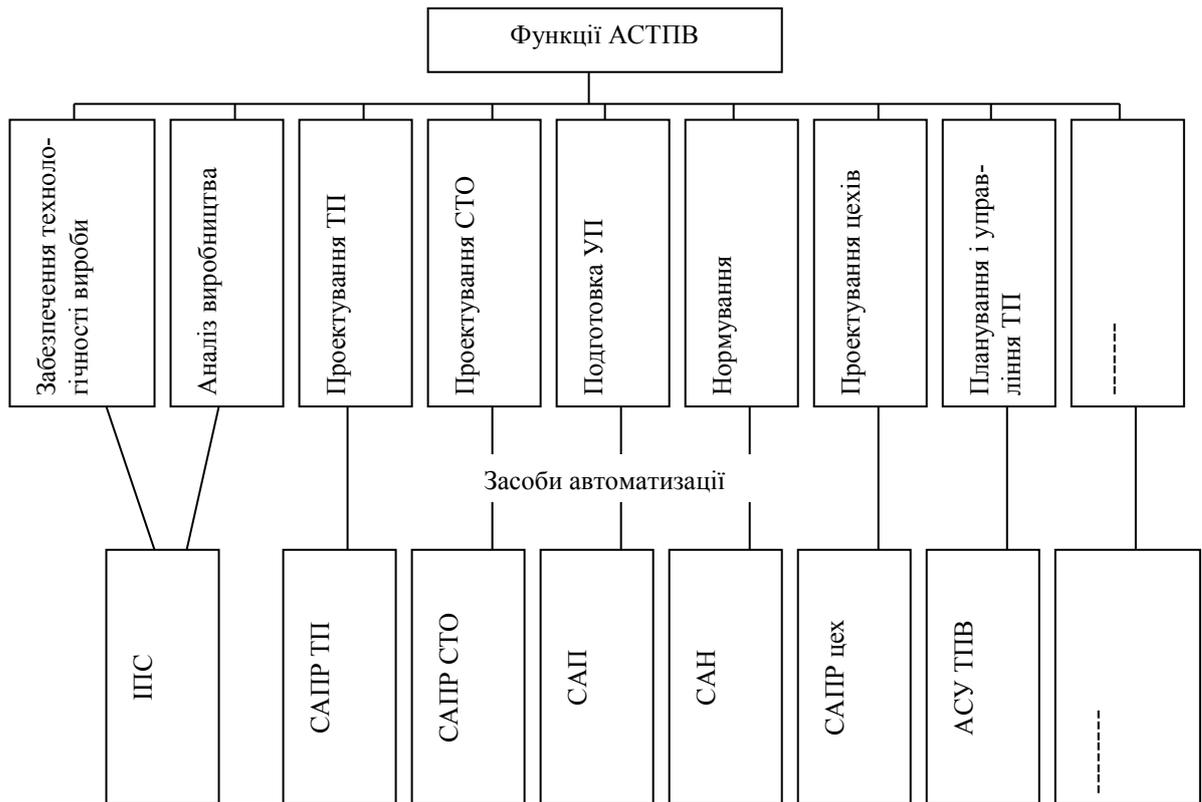


Рис.3.1 - Функції й засоби автоматизації ТПВ

Класифікація комп'ютерних програм АСТПВ

Комп'ютерні автоматизовані системи класифікуються по типу, різновиду й складності об'єкта проектування; рівню й комплектності автоматизації проектування; характеру й числу проектних документів, що випускаються; числу рівнів у структурі технічного забезпечення. На цьому класифікація першого рівня закінчена.

По типу об'єкта проектування розрізняють САПР: виробів машинобудування й приладобудування; технологічних процесів у машинобудуванні й приладобудуванні; об'єктів будівництва; організаційних систем.

Під організаційною системою розуміють сукупність, що складається з колективу фахівців і комплексу засобів, взаємодій і взаємозв'язків між ними й із зовнішнім середовищем і алгоритму процесу проектування, необхідного для виконання автоматизації проектування.

По різновиду об'єкта проектування (по цільовому призначенню) можна розрізняти, наприклад, САПР електронно-обчислювальної апаратури

(САПР ЕОА), САПР радіоелектронної апаратури (САПР РЕА), САПР атомної електростанції (САПР АЕС), САПР ракетної системи (САПР РС) і т.п.

По масштабах розрізняють: окремі програмно-методичні комплекси; системи програмно-методичних комплексів; системи з унікальними архітектурами не тільки програмного, але й технічного забезпечення.

По характеру базової підсистеми розрізняють: САПР на базі підсистеми машинної графіки й геометричного моделювання; САПР на основі СУБД; САПР на базі конкретного прикладного пакета; комплексні САПР.

По складності об'єкта проектування розрізняють САПР: простих об'єктів, що містять до 10^2 складових частин; об'єктів середньої складності, що містять від 10^2 до 10^3 складових частин; складних об'єктів, що містять від 10^3 до 10^4 складових частин; дуже складних об'єктів, що містять від 10^4 до 10^6 складових частин; об'єктів дуже високої складності, що містять 10^6 і більше складових частин.

За рівнем автоматизації проектування розрізняють САПР низько автоматизовані, у яких число автоматизованих проектних процедур (АПП) становить до 25% від загального числа проектних процедур; середньо автоматизовані – від 25 до 50% від загального числа проектних процедур; високо автоматизовані – від 50 до 75%. У цих системах застосовують методи різноманітного оптимального проектування. Наприклад, у гнучких автоматизованих виробництвах (ГАВ) для ефективності результатів необхідно використовувати САПР середньо- і високо автоматизованого проектування.

По комплексності САПР класифікують у такий спосіб: одноетапний, виконуючий один етап проектування із всіх установлених для об'єкта; багатоетапні, виконуючих кілька етапів проектування із всіх установлених для об'єкта; комплексні, виконуючі всі етапи проектування, які встановлені для об'єкта.

Результати своєчасного й правильного впровадження АСТПВ

1. Зростає продуктивність роботи інженера-технолога.
2. Підвищується якість проектування ТП.

3. Зменшуються строки підготовки виробництва (коротшає цикл), збільшується мобільність.
4. Як результат перших 3 пунктів, відбувається здешевлення виробництва.

Впровадження інформаційного комплексу дозволяє АСТПВ дозволяє:

1. скоротити в 1,5–2 рази цикл створення виробу (від проектування до випуску);
2. знизити матеріалоємність виробу на 20-25%;
3. зменшити витрати на виробництво на 15-20%;
4. підвищити якість виробу й конкурентоспроможність підприємства.

Концепції впровадження

Сьогодні перед фахівцями й керівниками машинобудівних підприємств виникає проблема не вибору й придбання програмних продуктів (хоча й не для нашої країни), а проблема вибору *концепції* або *філософії* автоматизації всієї виробничо-економічної діяльності підприємства.

У кожному разі, на кожному конкретному виробництві доведеться приймати як мінімум *три можливих рішення*:

Концепція 1. Почати автоматизацію, послідовно здобуваючи локальних спеціалізованих і універсальних засобів. Наприклад: графічні редактори, бази даних, системи проектування технологічних процесів і т.д., з метою згодом об'єднати їх у єдине проектне середовище.

Тут очікує:

- низький рівень автоматизації безпосередньо проектної діяльності: комп'ютер використовується як засіб одержання результатів проектування (креслень, специфікацій, технологічних процесів і т.д.), а не як засіб проектування, що залишає методологію проектування такою же, яка вона була при використанні креслярської дошки;

- складність (а скоріше неможливість) інформаційної інтеграції локальних спеціалізованих і універсальних засобів. З однієї підсистеми в іншу пе-

редаються дані, а не зв'язку між ними, що ставить під сумнів можливість реалізації ітераційного різноманітного проектування;

- неможливість роботи з інформаційною моделлю створюваного об'єкта на різноманітних етапах (максимум - обмін файлами між підсистемами);
- необхідність позмінного входу й виходу в кожен з локальних підсистем і звідси - відносно низька продуктивність.

Рекомендується для малих виробничих підприємств зі сконцентрованим інженерним відділом.

Концепція 2. Спробувати визначити весь комплекс завдань, який необхідно вирішити, і придбати універсальне інтегроване проектне середовище. При високих витратах купується досить потужний засіб, при використанні якого зустрінуться такі проблеми:

- алгоритми й інформаційне забезпечення не будуть відповідати логіці проектування, до якої звикли фахівці підприємства;
- велика надмірність функціональних можливостей - це не тільки зайві витрати, але й складність освоєння фахівцями проектного середовища, а також спеціальні вимоги до технічних засобів по обсягу пам'яті, швидкодії й т.д.;
- як би старанно не вівся попередній аналіз, рано або пізно якісь завдання виявляться не розв'язуваними, а спроби внести зміни або доповнення в алгоритмічне забезпечення виявляться даремними, тому що, звичайно, такі засоби закриті для користувача;
- неминуче виникнуть складності із впровадженням і супроводом, особливо з методичним, тому що вітчизняні фірми-ділери, як правило, не мають можливості втримувати команду експертів з питань автоматизації.

Рекомендується для середніх підприємств із крупносерійним і масовим типами виробництва.

Концепція 3. Найбільш придатний третій шлях: знайти стратегічного партнера - фірму, що спеціалізується на розробках комплексних систем проектування на основі сучасної RAD-методології, спільно розробити детальне технічне завдання, зробити технічно-робочий проект системи й поетапно його реалізовувати, відповідно до першочергових завдань і фінансових можли-

востей. Це - питання політичної волі керівництва підприємства плюс компетентність фахівців з автоматизації на цьому підприємстві.

4. ФОРМАТИ ЗБЕРІГАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КОМП'ЮТЕРІ

ТП це текстовий запис досить різнобічної інформації. Якщо він зберігається у вигляді звичайного тексту, ЕОМ не може працювати із окремими операціями, переходами й.т.п. Тому текст ТП для комп'ютера підготовляють особливим способом відповідно до моделей ТП.

Текстовий формат XML

Формат xml належить до файлів розширюваної мови розмітки. Являє собою звичайний текстовий документ, структура якого відображає опис документа й користувальницьких тегів. Приваблива особливість xml у тім, що він дозволяє прочитати й зрозуміти інформацію, що міститься, і для цього зовсім не обов'язково знати, у якій програмі файл створювався.

У форматі xml можливо створити структуру у вигляді назв операцій і переходів, із зазначенням технологічного забезпечення. Такий файл, при бажанні, можна переглянути в будь-якому текстовому редакторі й скласти загальне уявлення про записаний у ньому технологічному процесі.

Таблична модель технологічного процесу

Таблична модель описує одну конкретну структуру технологічного процесу. У табличній моделі кожному набору умов відповідає єдиний варіант проєктованого технологічного процесу. Тому табличні моделі використовують для пошуку типових проєктних рішень.

Приклад. При обробці групи деталей на прутковому токарському автоматі послідовність обробки їхніх поверхонь встановлюється за допомогою табличних моделей. Кожна деталь (мал. 4) має поверхні з певними властивостями:

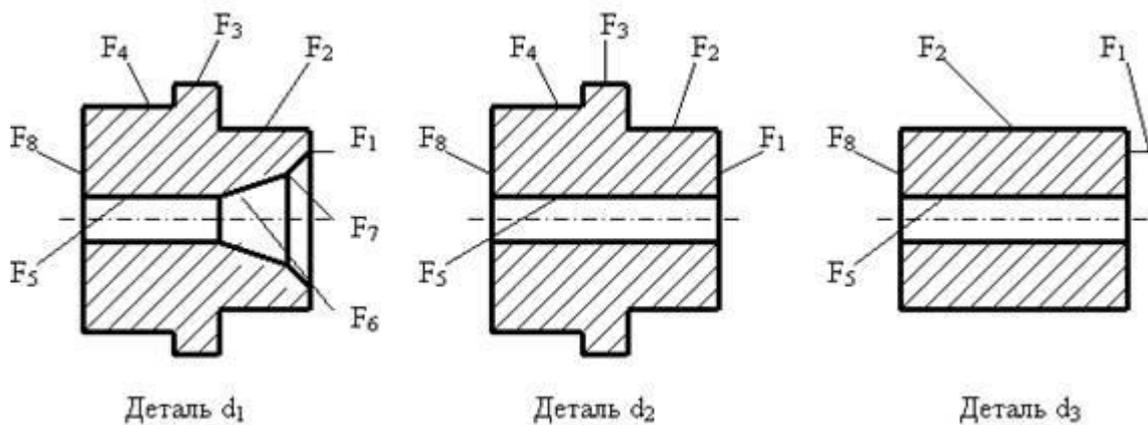


Рис. 4.1 - Ескіз деталей для обробки на прутковому токарському автоматі

$$F(d_1) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8\} = F_1';$$

$$F(d_2) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_8\} = F_2';$$

$$F(d_3) = \{F_1, F_2, F_5, F_8\} = F_3'.$$

Для представлення даних про обробку деталей на даній операції мовою, зрозумілому комп'ютеру, зручному для програмування, представлена вище інформація може бути зручно описана у вигляді двох таблиць, які легко перетворюються в масиви.

Зв'язки між властивостями поверхонь деталей і операторами (технологічними переходами) відобразимо в таблиці 1.

Таблиця 4.1 - Таблиця зв'язку поверхонь із переходами

τ_i	F_j							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8
τ_1	1	0	0	0	0	0	0	0
τ_2	0	1	0	0	0	0	0	0
τ_3	0	0	1	0	0	0	0	0
τ_4	0	0	0	1	0	0	0	0
τ_5	0	0	0	0	1	0	0	0
τ_6	0	0	0	0	0	1	0	0
τ_7	0	0	0	0	0	0	1	0
τ_8	0	0	0	0	0	0	0	1

У цій таблиці, як і в наступна, логічна одиниця позначає наявність зв'язку, а нуль - відсутність такої.

Складемо таблицю 2, у якій відіб'ємо зв'язки між сукупностями властивостей деталей і операторами (технологічними переходами)

Таблиця 4.2 - Зв'язки між деталями й переходами

τ_i	F_j'		
	F_1'	F_2'	F_3'
τ_1	1	1	1
τ_2	1	1	1
τ_3	1	1	0
τ_4	1	1	0
τ_5	1	1	1
τ_6	1	0	0
τ_7	1	0	0
τ_8	1	1	1

Мережна модель технологічного процесу

Мережна модель описує безліч структур технологічного процесу, що відрізняються кількістю й (або) составом елементів структури при незмінному відношенні порядку.

Структура елементів мережної моделі описується орієнтованим графом (спрямований ациклічний граф), що не має орієнтованих циклів. У моделі може втримуватися кілька варіантів проєктованого технологічного процесу, однак у всіх варіантах порядок елементів однаковий.

Розглянемо мережну модель технологічного проєктування маршруту обробки деталі «Зубчасте колесо», ескіз якої представлений на мал.5.

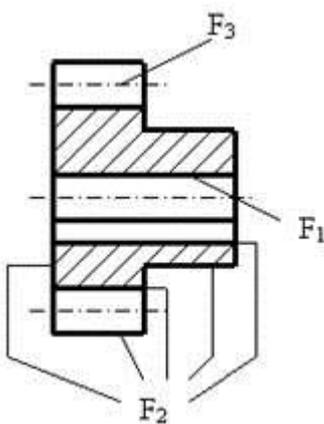
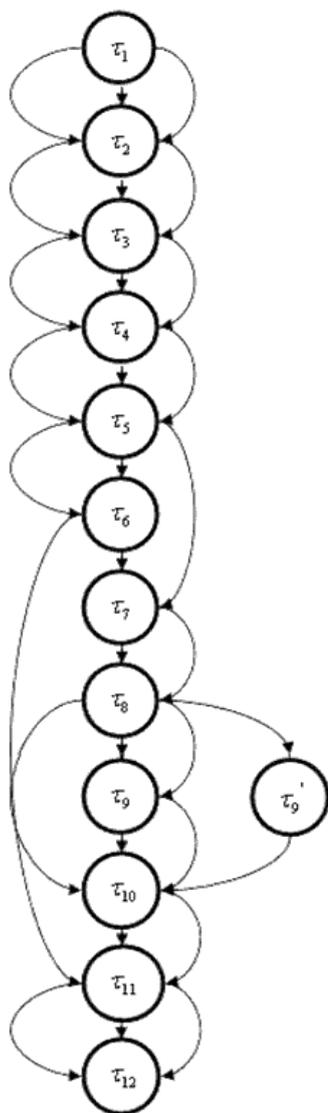


Рис. 4.2 - Ескіз деталі «Зубчасте колесо»

Спочатку розглянемо граф взаємозв'язку операторів (технологічних операцій) по можливій послідовності їхнього виконання зображений на рис. 4.3.



Оператори τ_i (технологічні операції):

τ_1 - заготівельна;

τ_2 - протяжна (протягування базового отвори);

τ_3 - чорнова токарна (чорнове точіння контуру зубчастого колеса);

τ_4 - чистова токарна (чистове точіння контуру зубчастого колеса);

τ_5 - зубофрезерна чорнова (чорнова нарізка зубів);

τ_6 - зубофрезерна чистова (чистова нарізка зубів);

τ_7 - термічна (об'ємна гартування);

τ_8 - внутрішліфувальна (шліфування базового отвори);

τ_9 - зубошліфувальна (шліфування зубів);

τ_9' - зубошевінговальна (шевінгування зубів);

τ_{10} - притиральна (притирання зубів);

τ_{11} - мийна (мийка деталі);

τ_{12} - контрольна (контроль технічних вимог деталі)

Рис. 4.3 - Граф взаємозв'язку операторів (технологічних операцій) по можливій послідовності їхнього виконання

Крім даного графа мережна модель містить у собі таблицю зв'язків властивостей поверхонь деталі й операторів технологічного процесу (у цьому прикладі - технологічних операцій) - табл.3.

Таблиця 4.3 - Зв'язки між властивостями поверхонь деталі й операторами технологічного процесу

τ_i	F_j		
	F_1	F_2	F_3
τ_1	1	1	0
τ_2	1	0	0
τ_3	0	1	0
τ_4	0	1	0
τ_5	0	0	1
τ_6	0	0	1
τ_7	1	1	1
τ_8	1	0	0
τ_9	0	0	1
τ_{10}	0	0	1
τ_{11}	1	1	1
τ_{12}	1	1	1

Перестановочна модель технологічного процесу

Перестановочна модель описує безліч структур технологічного процесу, що відрізняються кількістю й (або) составом елементів структури при зміні відносин порядку.

Відносини порядку в цих моделях задаються за допомогою графа, що містить орієнтовані цикли.

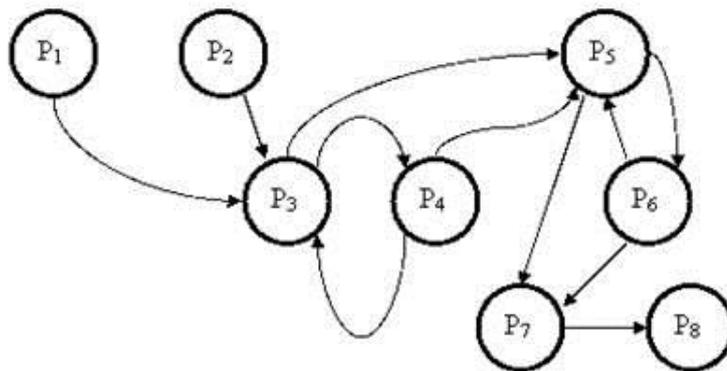


Рис. 4.4 - Граф расцеховки

На малюнку 7 позначені через P1, P2,..., P8 цеху різного призначення..

P1 - ливарний;

- P2 - ковальський;
- P3 - механічний;
- P4 - термічний;
- P5 - механоскладальний;
- P6 - загального складання;
- P7 - випробний;
- P8 - пакувальний.

Мережні й перестановочні моделі використовують для одержання типових, групових і індивідуальних технологічних процесів. Наявність у них варіантів дозволяє робити оптимізацію технологічних процесів.

5. МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ТП В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

З погляду послідовності виконання названих стадій розробки ТП можливі два підходи:

Перший підхід містить наступну послідовність стадій:

принципова схема ТП ► маршрут ► операція ► перехід.

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

Коли, характеризуються більшою програмою випуску й меншою номенклатурою, проектування ТП роблять на базі уніфікованих ТП по першій схемі (маршрут ► операція ► перехід).

Другий підхід заснований на аналізі окремих поверхонь і проектуванню переходів їхньої обробки. Далі переходи впорядковуються в операції, а операції - у маршрути обробки деталей. Другий підхід має наступну послідовність:

перехід ► операція ► маршрут.

При великій розмаїтості оброблюваних деталей по формах, розмірам може бути використана лише типізація маршруту обробки окремих повер-

хонь. Виходячи із цього, вибирають другий підхід до проектування (перехід ► операція ► маршрут).

При генерації структури технологічного процесу використовуються різні методи: проектування на основі типізації й групової технології; перетворення процесів-аналогів; багаторівневий ітераційний метод; аксіоматичний метод і ін.



Рис. 5.1 – Класифікація методів автоматизованого проектування технологічних процесів

Проектування конкретних технологічних процесів шляхом параметричного настроювання типового процесу

Проектування конкретних технологічних процесів шляхом параметричного настроювання **типового** процесу містить у собі дві групи проектних операцій: пошук у технологічному банку даних необхідного типового процесу й розрахунок параметрів кожної операції (визначення норм часу, матеріальних і трудових нормативів). Цей метод застосовується **для типових виробів**. Алгоритми перетворення процесу-аналога не містять у готовому ви-

ді логічні умови вибору операцій і переходів. Ці умови визначаються в результаті аналізу виробу й ТП-аналога. Після того як у технологічному банку даних знайдені вироби й ТП-аналоги $(I, ТП)_{ан}$, проектування полягає в тому, щоб на основі інформаційної моделі C_k конкретного виробу визначити раціональну структуру й параметри процесу його виготовлення:

$$W: \{C_k(I, ТП)_{ан}\} \rightarrow ТП_k \quad (5.1)$$

де W - операції перетворення процесу-аналога;

C_k – інформаційної моделі конкретного виробу;

$ТП_k$ – конкретний ТП;

Перетворення здійснюється методами виключення й доповнення структурних елементів у процесі-аналога на основі виявлення різниць між конкретними виробами й виробами-аналогами.

Метод виключення структурних елементів

Метод виключення структурних елементів заснований на тому, що із графа $S_a(C, A)$ (C – проміжні стани виробу, A – технологічні операції або переходи), що описує структуру процесів-аналога, **виключаються деякі шляхи або дуги** $\{C_{q-1}A_qC_q\}$, що відповідають операціям або переходам обробки відсутніх у конкретного виробу поверхонь або поверхонь більш високої точності.

Структура конкретного процесу утвориться в результаті застосування різниці графів

$$S_k(C_1, A_1) = S_a(C, A) \setminus \{C_{q-1}A_qC_q\}, \quad (5.2)$$

де \setminus - різниця безлічей;

$C_1 = C \setminus \{C_q\}$ - безліч проміжних станів, необхідних для виготовлення конкретного виробу;

$A_1 = A \setminus \{A_q\}$ - безліч технологічних операцій, необхідних для виготовлення конкретного виробу.

У результаті застосування такої операції структура конкретного процесу виходить більше простою, чим аналога. Перетворення процесу-аналога методом виключення структурних елементів здійснюється **встановленням технологічної подоби станів виробу-аналога зі структурою й параметрами конкретного виробу**. Для цього в графі функціональної структури технологічного процесу-аналога **виділяються висячі вершини**, що відповідають кінцевим станам груп оброблюваних поверхонь. Якщо $C_a \sim C_K$, то операція A включається в маршрут обробки конкретного виробу; у протилежному випадку вона виключається з маршруту-аналога.

Метод доповнення структурних елементів

Метод доповнення структурних елементів базується на приєднанні до графа структури процесу-аналога $S_a(C, A)$ безлічі дуг $\{C_{r-1}A_rC_r\}$, що відповідають операціям, що вводяться знову, і переходам по обробці поверхонь конкретного виробу, **які відсутні у виробках-аналогах або мають більш низьку точність**. Структура конкретного процесу виходить більш складною й утвориться в результаті операції об'єднання графів

$$S_k(C_1, A_1) = S_a(C, A) \cup \{C_{r-1}A_rC_r\} \quad (5.3)$$

Виходячи із цього

$$C_1 = C \cup \{C_r\};$$

$$A_1 = A \cup \{A_r\}..$$

Комбінований метод створення ТП

У ряді випадків виникають завдання проектування, коли перетворення процесів-аналогів провадиться тими й іншими методами

$$S_k(C_1, A_1) = S_a(C, A) \setminus \{C_{q-1}A_qC_q\} \cup \{C_{r-1}A_rC_r\}. \quad (5.4)$$

Перетворення процесу-аналога методом доповнення структурних елементів (операцій, переходів) полягає у визначенні виду й кількості цих еле-

ментів і раціональному їхньому розташуванні серед операцій процесу-аналога.

Ітераційні методи

Одним з найбільш загальних способів подолання початкової невизначеності завдання технологічного проектування є багаторівневий ітераційний метод.

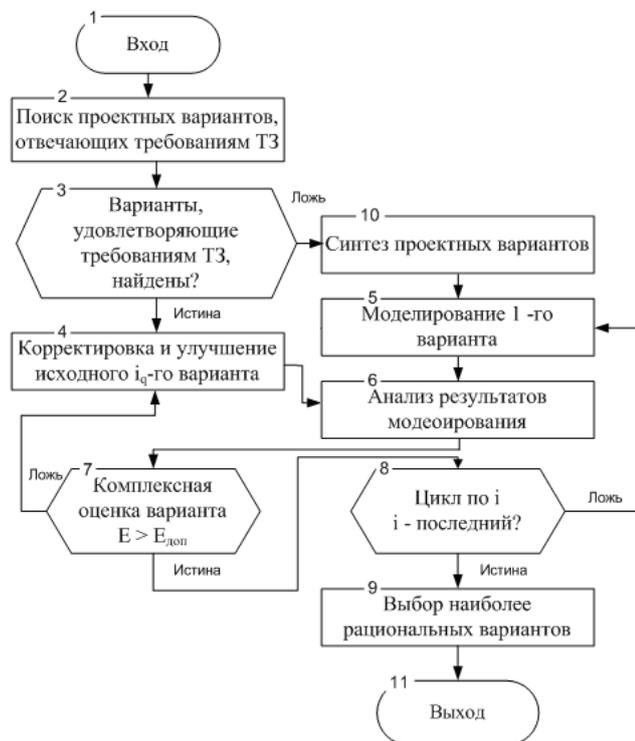


Рис. 5.2 - Ітераційний алгоритм процесу проектування на кожному рівні

Проектування дискретних ТП і складних об'єктів розчленовується на кілька взаємозалежних рівнів, що характеризуються послідовно зростаючої від рівня до рівня ступенем деталізації проектних рішень.

Ітераційний синтез на основі типових проектних рішень

Програми, побудовані на основі методів типізації, характеризуються меншими (на 30-40%) обсягом і витратами машинного часу в порівнянні з багаторівневим ітераційним методом.

Синтез на основі оригінальних проектних рішень

Діляться на дві категорії:

1) Початкові варіанти ТП звичайно будуються методом сліпого пошуку Монте-Карло. Подальший пошук провадиться так само за допомогою рядів випадкових чисел, але із цілеспрямованим підштовхуванням до правильної відповіді. Це може бути виключення занадто невдалих варіантів рішень, або створення закону розподілу випадкових рішень із максимум у зоні можливих правильних рішень.

2) Пошук на основі фізичних моделей. У них можуть ураховуватися схеми обробки, оброблюваність матеріалу, силові впливи. Більш рідко пружні, теплові та інші нюанси фізичних моделей.

6. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Проблеми автоматизації складальних ТП

Автоматизація проектування ТП складання виробів у цей час є однією з найбільш актуальних, складних і найменш розроблених проблем сучасного машинобудування. Число САПР ТП, що підтримують проектування процесів складання, незначно. Рівень автоматизації проектування процесів складання низок. Це пояснюється наступними основними причинами:

- технологічні методи складання по своїй суті, зокрема кінематично складні. Їхня практична реалізація відрізняється більшою розмаїтістю дій, виконання яких лежить за межами можливостей сучасних засобів автоматизації;
- процеси складання мають ветвящуюся (деревоподібну) структуру, їх відрізняє виняткова багатоваріантність і можливість несподіваних для розробочача продовжень;
- складання є завершальним етапом виготовлення машини, тому вимоги до забезпечення нею заданої якості (точності) здобувають особливу гостроту;

- методи забезпечення заданої точності складання досить різноманітні й слабоформалізовані, строгі правила їхнього ефективного застосування відсутні;

- базові методологічні принципи й правила проектування ТП складання розроблені недостатньо, процес проектування найчастіше носить творчий характер і не може бути виконаний без участі фахівця.

Алгоритми проектування складальних ТП

Алгоритмічний процес проектування технології складання підрозділяють на дві основні частини, які можна використовувати як автономно, так і спільно. При цьому будуть вирішені або частина завдань проектування, що представляє самостійний практичний інтерес, або завдання проектування технології складання в цілому.



Рис. 6.1 - Укрупнена схема алгоритмічного процесу проектування технології складання

Перша частина - процес формування схеми складання, що містить інформацію про порядок приєднання елементів виробу, комплектності складальних одиниць і з'єднань.

Друга частина - визначення оптимальної організації процесу складання за наявною схемою порядку (до таких завдань, насамперед, ставиться завдання технологічного членування)

Третя частина – процес формування операцій, що включає визначення складу елементів, що приєднуються, видів робіт, засобів і інших параметрів, які утворять опис складальних операцій.

Організація рішення завдання автоматизованого проектування ТП відображає існуюче положення при неавтоматизованому проектуванні, де попередньо виробляється розбивка виробу на технологічно незалежні частини, після чого проектується ТП для кожної частини окремо. Причина в тім, що ТП складання виробу являє собою сукупність ТП на складання складових виріб складальних одиниць

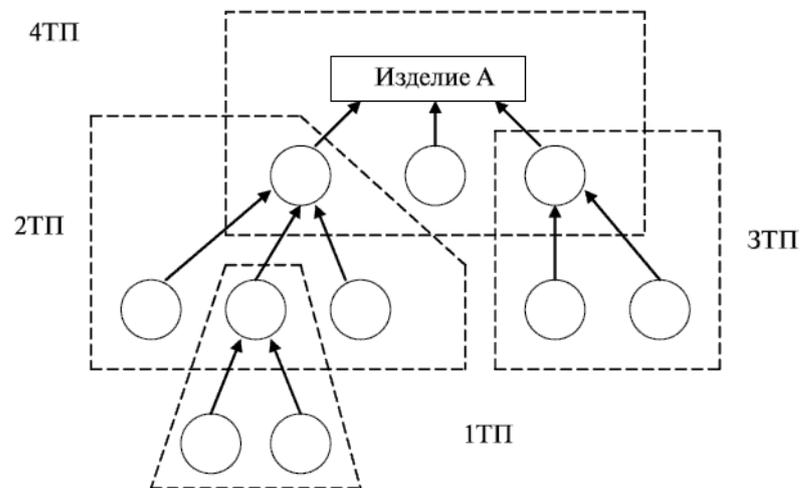


Рис. 6.2 - Сукупності складальних ТП

Така особливість технології складання при автоматизації процесу проектування дає можливість обмежитися розробкою алгоритму проектування окремої складальної одиниці. Залежно від числа складальних одиниць, що входять у виріб, варто повторювати алгоритмічний процес відповідне число

раз. Це забезпечує універсальність алгоритмічного процесу щодо складності структури виробу.

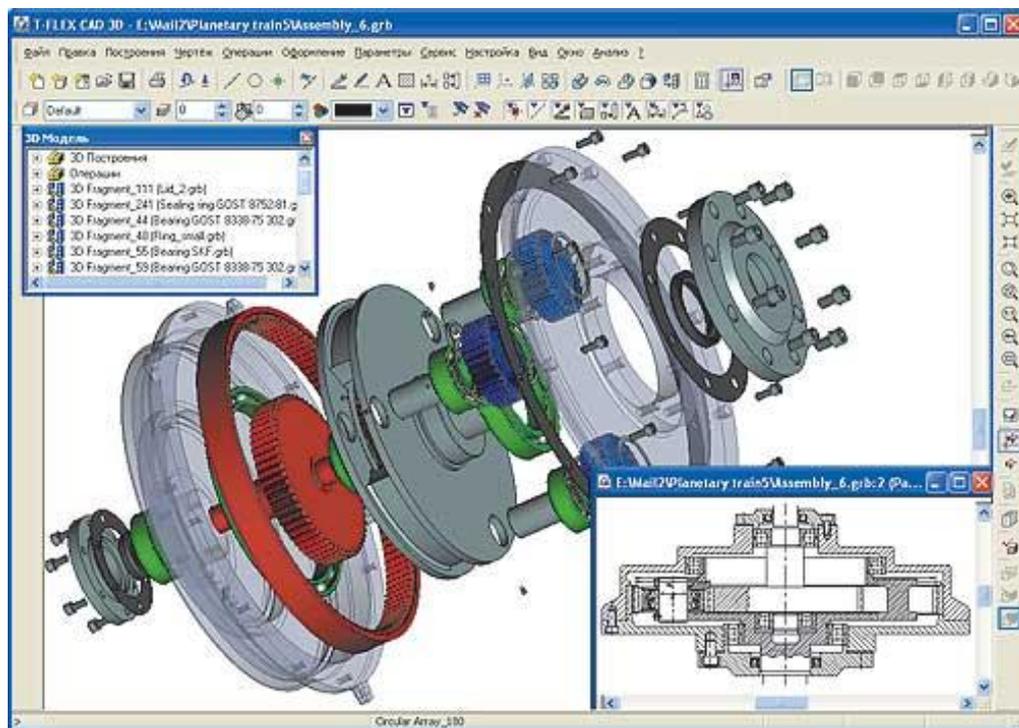


Рис. 6.2 - Наочне представлення складальної 3D-моделі за допомогою команди «Розбирання»

Відомі системи, що проектують технології складання по системі розбирання складальної 3D-моделі. Для цього до CAD-програм додаються спеціальні плагіни. Включається режим моделювання фізичного миру. Тобто програма не дозволяє переміщати деталі друг крізь друга. Операції розбирання проводяться вручну технологом. Його дії записуються плагіном. Після закінчення розбирання плагін переписує послідовність розбирання у зворотному порядку й оформляє її на КТП.

7. АЛГОРИТМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО НАСТРОЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Основа всіх алгоритмів - редагування параметрів технологій.

До цієї групи відносяться алгоритми:

- аналізу варіантів режимів різання;
- автоматизації нормування, у тому числі на основі хронометражу трудового дня;
- визначення межопераційних розмірів за допомогою табличних методів, розрахунково-аналітичних методів з урахуванням розмірних ланцюгів.
- видалення/додавання незначних елементів переходів (наприклад, додавання слова «остаточно»).
- технологічних довідників в електронному виді: автоматизація вибору технологічного встаткування й оснащення.

Приклад калькулятора для розрахунку режимів різання - **Walter**.



Рис. 7.1 - Інтерфейси програми Walter

Калькулятор Walter для розрахунку режимів різання - це розширена версія додатка "Tools & More". Даний популярний додаток з новим користувацьким інтерфейсом і новими функціями тепер доступно на інших платформах.

- точний розрахунок режимів різання для фрезерування, свердління й токарської обробки;
- мобільний розрахунок крутного моменту, потужності й обсягу знімається стружки, що, а також машинного часу, зусилля різання й товщини стружки;
- порівняння витрат по двох інструментах за допомогою убудованого калькулятора;
- на 23 мовах.

- Робота під Windows, Андроїд, Макос, он-лайн.

Технологічне нормування в основному убудовано в системи САПР ТП. У дослідницьких програмних продуктах часто використовується корекція нормування по хронометражу трудового дня. Хронометраж проводиться шляхом запису виконуваної роботи через випадкові проміжки часу.

Прикладом автоматизації розрахунку припусків є комп'ютерна програма розрахунку припусків на обробку штампувань за ДСТ 7505-89.

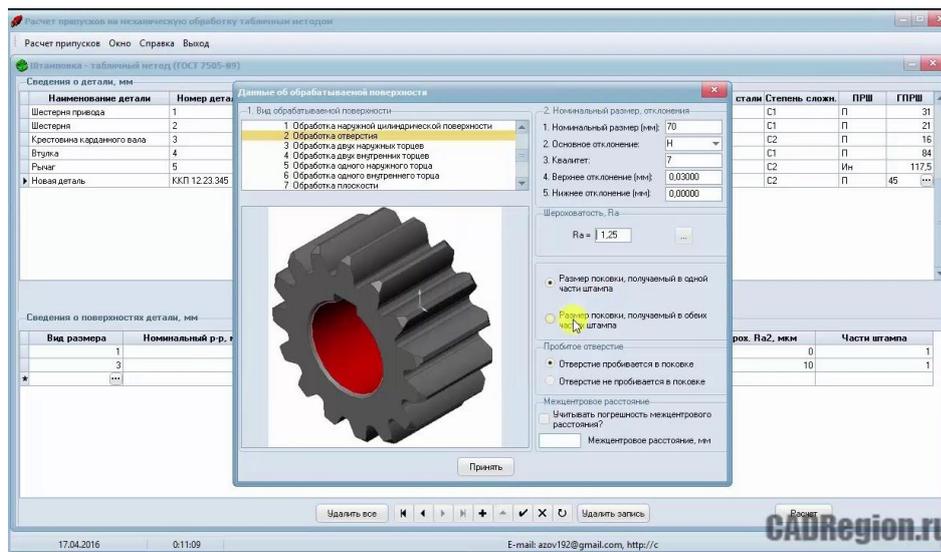


Рис. 7.2 - Интерфейси програми розрахунку припусків

1. Працездатність програми перевірялася на тестових прикладах, представлених у ДСТ 7505-89. Аналіз отриманих результатів показав правильність обчислень.
2. Програма дозволяє розрахувати припуски на виконання кожного переходу (операції) аналітичним методом, визначити всі проміжні розміри елементарних поверхонь штампувань, виливків і прокату. Крім цього, програма визначає значення максимальних припусків для наступного розрахунку режимів різання.
3. Для розрахунку припусків і одержання звіту з результатами автоматизованим методом потрібно від 1 до 5 минут часу.

Видалення/додавання елементів ТП проводиться через функції розширеного текстового редагування ТП. Наприклад, у них входить команди:

- знайти й виділити всі поверхні з назвою «поверхня (85»;
- додати в останнє згадування «поверхня (85» фразу «остаточно»;
- перевірити початок всіх переходів на предмет дієслів у наказовій формі;
- видалити всі переходи пов'язані з обробкою «поверхня (85».

Складність у таких алгоритмах становить відмінки й приводи української мови.

Приклад рішення завдання по алгоритмічному настроюванню технологічних процесів

Задача. Розробка інформаційного забезпечення алгоритму рішення технологічного завдання: вибору черв'ячно-шліфувального верстата.

Рішення.

1. Сформуємо безліч типових рішень (БТР)

$$MTP = \{5K881; 5887; 5887B\}$$

2. Сформуємо комплекс умов застосовності (КУЗ)

$$КУП = \left\{ \begin{array}{l} D_{\partial} \leq D_{cm.}; \\ L_{\partial} \leq L_{cm.}; \\ m_{\partial} \leq m_{cm.}; \\ Z_{\partial} \leq Z_{cm.} \end{array} \right\}$$

D_{∂} - найбільший діаметр оброблюваної заготівлі.

$D_{cm.}$ - найбільший діаметр заготівки оброблюваної верстатом.

L_{∂} - найбільша довга оброблюваної заготівки.

$L_{cm.}$ - найбільша довга заготівки оброблювана верстатом.

m_{∂} - найбільший модуль обробки черв'яків.

$m_{cm.}$ - найбільший модуль черв'яків оброблюваний верстатом.

Z_{∂} - щонайвелике число заходів оброблюваних черв'яків.

$Z_{cm.}$ - щонайвелике число заходів черв'яків оброблюваних верстатом.

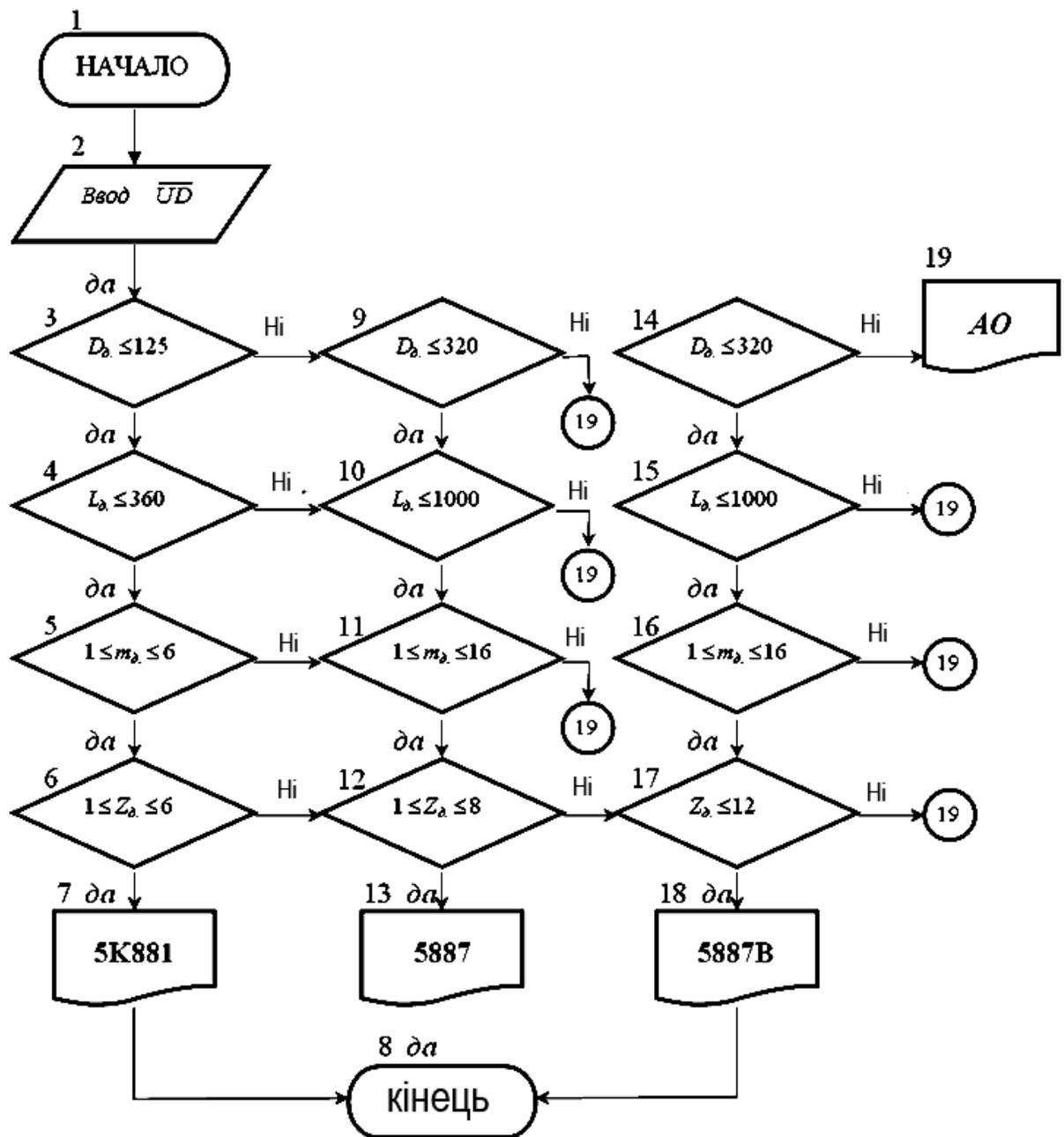


Рис. 7.2 - Блок-схема алгоритму вибору черв'ячно-шліфувального верстата

3. Сформуємо комплекс параметрів застосовності (КПЗ)

$$КПЗ = \{D; L; m; Z;\}$$

D – найбільший діаметр заготовки.

L – найбільша довга заготовки.

m – найбільший модуль заготовки.

Z – найбільше число заходів заготовки.

4. Сформуємо масив умов застосовності (МУЗ)

$$МУП = \begin{Bmatrix} & D_{cm.} & L_{cm.} & m_{cm.} & Z_{cm.} \\ 5K881 & 125 & 360 & 1-6 & 1-6 \\ 5887 & 320 & 1000 & 1-16 & 1-8 \\ 5887B & 320 & 1000 & 1-16 & 1-12 \end{Bmatrix}$$

5. Сформуємо вектор вихідних даних (\overline{UD})

$$\overline{UD} = \{D_{\partial}; L_{\partial}; m_{\partial}; Z_{\partial};\}$$

6. Складемо алгоритм вибору верстата (рис. 7.2)

8. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ТИПОВИХ РІШЕНЬ

Основним етапом технологічного проектування є розробка маршрутів обробки деталей (структурний синтез). Найбільше поширення отримав метод структурного синтезу, заснований на використанні типових рішень, тобто виділення маршруту обробки для конкретної деталі з узагальненого маршруту.

Для цього деталі класифікують по конструктивно-технологічних ознаках на класи (вали, диски, корпусні деталі й ін.), підкласу, групі або більше дрібної градації (підгрупі, типу) відповідно до прийнятого класифікатора.

Для кожної класифікаційної групи деталей (класу, підкласу, групи, підгрупи або типу) синтезується узагальнений маршрут обробки. Узагальнений маршрут містить перелік всіх операцій обробки у відповідній послідовності, необхідних для обробки поверхонь деталей даної класифікаційної групи.

Технологічний процес обробки конкретної деталі одержують шляхом виділення необхідних технологічних операцій з узагальненого маршруту.

Кодування конструктивно-технологічних ознак деталей

Вибір конкретних технологічних операцій з узагальненого маршруту проводиться на основі аналізу конструктивно-технологічних ознак деталі і їхніх порівнянь із ознаками, що визначають вибір окремих операцій.

Для кожного класу деталей існує свій індивідуальний набір конструктивно-технологічних ознак. Для проектування типових технологічних процесів деталей класу «вали», що включає вали, осі, вал-шестірні й др., розглядають наступні конструктивно-технологічні ознаки:

1. вид заготівки;
2. точність обробки;
3. шорсткість поверхні;
4. вид термообробки;
5. точність допоміжних поверхонь;
6. наявність і вид щаблів;
7. наявність і вид осьових отворів;
8. наявність і вид додаткових отворів;
9. наявність і вид різьблення;
10. наявність і вид шліців на зовнішніх щаблях валу;
11. наявність і вид шпонкових пазів;
12. наявність лисок і граней;
13. наявність шліців, шпонкових пазів і граней в осьових отворах;
14. характер зубчастої поверхні;
15. модуль зубчастої поверхні;
16. ступінь точності зубів;
17. серійність.

Наведений перелік є наближеними залежно від типу й умов виробництва може бути змінений і доповнений.

Кожна ознака A_j може мати кілька значень:

$$A_j = \langle a_{j1}, a_{j2}, a_{j3}, \dots, a_{jn} \rangle$$

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

Для однозначного визначення конкретного значення якої-небудь конструктивно-технологічної ознаки обчислювальною машиною ідентифікатори ознак кодують цифрою від 0 до 9. Якщо десяти цифр виявляється недостатньо, то під одним кодом поєднують кілька значень ознаки, що роблять близьке по своїй дії вплив на прийняття технологічних рішень, або додають додатково букви: 1А, 1Б....

Наприклад, розглянемо коди конструктивно-технологічних ознак деталей класу «вали»:

Ознака 1. Вид заготовки - А₁:

- Кування, отримане методом вільного кування на пресах і молотах - 1
- Кування, отримане методом штампування - 2
- Прокат - 3
- Трубний прокат - 4
- Профільний прокат - 5

Ознака 2. Точність обробки - А₂:

Оброблена поверхня з точністю в межах наступних квалітетів:

- 6...1
- 7...2
- 13-14 ... 8
- 15-17 ... 9

Ознака 3. Шорсткість поверхні – А₃:

- $6,3 \leq Ra \leq 12,5$ - 1
- $1,6 \leq Ra \leq 6,3$ - 2
- $0,4 \leq Ra \leq 1,6$ - 3
- $0,2 \leq Ra \leq 0,4$ - 4
- $0,05 \leq Ra \leq 0,2$ - 5
- $0,012 \leq Ra \leq 0,05$ - 6

Ознака ...

Ознака 7. Вид осьового отвору – А₇:

- Отвір наскрізне без щаблів із зовнішньою фаскою при $1/d \geq 5$ - 1.

- Отвір наскрізне східчасте й отвір наскрізне східчасте з різьбленням при $1/d \geq 5$ - 2.
- Два глухих центрові отвори - 3.
- Отвір гладке глухе, східчасте глухе, східчасте глухе з різьбленням при $1/d < 5$ - 4.
- Отвір глибоке гладке наскрізне й глибоке гладке глухе при $1/d < 5$ - 5.
- Отвір глибоке східчасте з різьбленням наскрізне, глибоке східчасте з різьбленням глухе при $1/d < 5$ - 6

Ознака ...

Ознака 11. Шпонкові пази – A_{11} :

- Пази відкриті й закриті з однієї сторони (ширина паза $b > 10$ мм) - 1
- Те ж, але $b > 10$ мм - 2
- Пази закриті із двох сторін ($b < 10$ мм) - 3
- Те ж, але $b > 10$ мм - 4
- Пази під сегментні шпонки - 5

Формування узагальненого маршруту обробки

Узагальнений маршрутний технологічний процес (узагальнений маршрут), включає все різноманіття технологічних операцій для виготовлення деталей розглянутого класу. Ці операції, називані *узагальненими*.

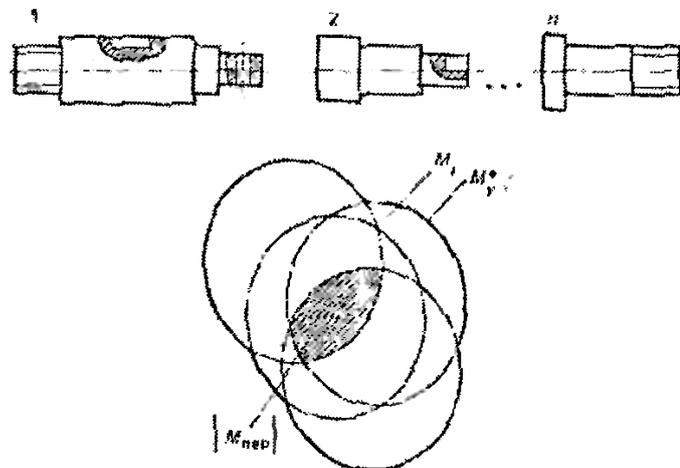


Рис. 8.1 - Об'єднання технологічних маршрутів

Узагальнений маршрут виходить у результаті об'єднання декількох маршрутів обробки деталей, що входять у розглянутий клас.

На мал. 8.1 показана схема об'єднання технологічних маршрутів M обробки класу деталей в узагальнений маршрут.

Якщо маємо безліч індивідуальних маршрутів M_1, M_2, \dots, M_n (де $1, 2, \dots, n$ — номери індивідуальних маршрутів) для якого-небудь класу або групи деталей, то при об'єднанні цих маршрутів

$$M_i \subset M_y^*,$$

де M_y^* — узагальнений маршрут.

Важливою характеристикою формування узагальненого маршруту є *потужність перетинання безлічей* операцій індивідуальних маршрутів $|M_{пер}|$, тобто кількість операцій з однаковими кодами, що входять у це перетинання

$$M_{пер} = \cap M_i$$

Потужність перетинання безлічі операцій в узагальненому маршруті бажано збільшувати, оскільки при цьому потужність узагальненого маршруту зменшується:

$$M_y^* = \cup M_i$$

Значення $|M_{пер}|$ і $|M_y^*|$ можуть слугувати орієнтиром для аналізу й удосконалювання робіт з типізації технологічних процесів, тому що кількість еквівалентних операцій для різних деталей однієї групи (класу або підкласу) дозволяє оцінити можливість об'єднання деталей у групу й рівні проведених робіт на підприємстві по типізації.

Приклад розробки узагальненого маршруту

Розглянемо приклад формування узагальненого маршруту виготовлення трьох східчастих валів. Технологічні маршрути виготовлення позначимо

M_1, M_2, M_3 . Тоді операції, що входять у ці маршрути відповідно позначаються O_{1j}, O_{2j}, O_{3j} .

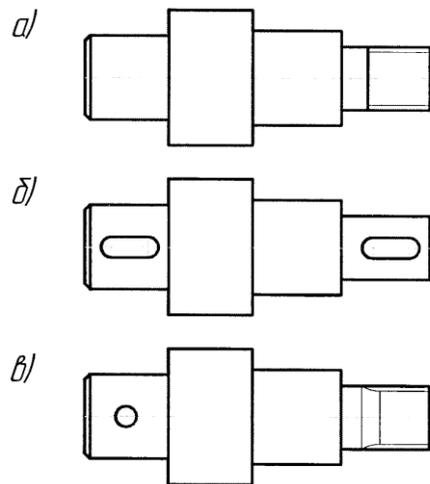


Рис. 8.2 - Геометрія оброблюваних деталей

Нехай всі три деталі мають довжину в діапазоні 150...500 мм, точність основних робочих поверхонь – 7-8 квалітету, а шорсткість - до $Ra = 0,32$ мкм. Крім того, для третьої деталі (мал. 8.2, **в**) по заданій твердості однієї з робочих поверхонь потрібна термообробка - загартування ТВЧ. Помітимо, що в розглянутих маршрутах є операції однакові по призначенню й змісту. Такими операціями є: фрезерно-центрувальна O_{11}, O_{21}, O_{31} , токарська чорнова O_{12}, O_{22}, O_{32} і інші. У той же час деякі операції властиві тільки певним деталям: для першого вала це операція різьбонарізна O_{14} , для другого вала - фрезерування пазів O_{24} , для третього вала - фрезерування шліців O_{34} і свердлильну O_{35} .

Для зручності формування узагальненого маршруту доцільно аналізовані технологічні процеси представити у вигляді схеми, у якій однакові по призначенню й змісту операції розташовуються на одному рівні. Це т.зв. *еквівалентні* операції (виділені в таблиці 8.1 сірим кольором). Еквівалентні операції є «крапками прив'язки» розглянутих технологічних процесів. Потім один з маршрутів, наприклад M_1 приймається за базовий і доповнюється операціями, відсутніми в цьому маршруті. Так, при об'єднанні маршрутів M_1 і M_2 додатково в базовий маршрут M_1 вводиться шпоночно-фрезерна операція O_{24} . Потім цей маршрут доповнюється відмітними операціями, характерними для

третьої деталі, і виходить узагальнений маршрут для трьох валів. У підсумку, стосовно до умов серійного виробництва для розглянутих деталей може бути сформований наступний узагальнений маршрут.

Таблиця 8.1 - Формування узагальненого маршруту обробки

№	Перелік операцій	Маршрут обробки			
		M_1	M_2	M_3	$M_{обоб.}$
1	Фрезерно-центрувальна	O ₁₁	O ₂₁	O ₃₁	O ₁₁
2	Токарська чорнова	O ₁₂	O ₂₁	O ₃₁	O ₁₂
3	Токарська чистова	O ₁₃	O ₂₃	O ₃₃	O ₁₃
4	Шпоночно-Фрезерна	-	O ₂₄	-	O ₂₄
5	Шліцефрезерна	-	-	O ₃₄	O ₃₄
6	Свердлильна	-	-	O ₃₅	O ₃₅
7	Різьбонарізна	O ₁₄	-	-	O ₁₄
8	Термічна - загартування ТВЧ	-	-	O ₃₆	O ₃₆
9	Круглошліфувальна чорнова	O ₁₅	O ₂₅	O ₃₇	O ₁₅
10	Шліцешліфувальна	-		O ₃₈	O ₃₈
11	Круглошліфувальна чистова	O ₁₆	O ₂₆	O ₃₉	O ₁₆
12	Контрольна	O ₁₇	O ₂₇	O ₃₁₀	O ₁₇

Отриманий узагальнений маршрут приймається як черговий вихідний, до нього приєднується наступний ТП і т.д. для всіх деталей даного класу. У сформованому узагальненому маршруті не повинен порушуватися порядок проходження операцій кожного з поєднаних індивідуальних ТП.

Чим більше використано окремих маршрутів обробки, тим більше повним є узагальнений маршрут і тем ефективніше ведеться автоматизоване проектування технологічного маршруту на конкретну деталь

Кодування операцій обробки

Опис операції в технологічному маршруті повинне включати її найменування й сутність виконуваної роботи.

Для забезпечення однозначності призначення операції її опис повинне бути коротким і не допускати різних тлумачень характеру обробки й схем установки заготівки. Ці формулювання операцій надалі використовуються при нормуванні й визначенні розряду робіт.

Всі операції узагальненого ТП кодуються (табл. 8.2). Побудова цих кодів може бути різним, але головне в їхньому формуванні - це виконання

умов, що забезпечують спрощення складання алгоритмів проектування маршрутних технологічних процесів і далі - окремих операцій. У розглянутому прикладі прийнятий тризначний код: 1-я цифра - код типу встаткування відповідно до класифікації моделей верстатів, а дві наступні цифри відповідають номеру операції в узагальненому маршруті й характеризують особливості виконання окремих операцій.

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

Таблиця 3.2 - Коди типових операцій узагальненого маршруту обробки деталей класу «вали» (фрагмент)

№	Операція	Код
1	Відрізна	801
2	Центрувальна	202
3	Фрезерно-центрувальна	203
4	Токарська чорнова у два установу	104
5	Токарська чорнова правої сторони	105
6	Токарська чорнова лівої сторони	106
7	Токарська чистова у два установу	107
50	Внутрішліфувальна	350
51	Зубошліфувальна	551
52	Резьбошліфувальна	552
53	Зубохонінувальна	553
54	Суперфінішна	554
55	Зубопритирочна	555
56	Полірувальна	356
57	Контрольне обкатування	757
58	Мийна	458
59	Контрольна	759

Існують і інші способи кодування. Наприклад, при чотиризначному коді перші два знаки характеризують вид операції (токарські, фрезерні й т.д.), останні знаки враховують особливості виконання операції, наприклад обробку деталі в патроні, центрах, люнеті й т.п. Наприклад:

«1140 - Токарська. У центрах. Точити під загартування відповідно до креслення»,

«1710 - Плоскошліфувальна. На магнітній плиті. Шліфувати площини начисто відповідно до креслення».

У результаті аналізу описів для кожного підприємства, групи підприємств або галузі створюють конкретний «Довідник формулювань операцій».

Синтез технологічного маршруту обробки конкретної деталі

При синтезі технологічного маршруту обробки деталі необхідно вирішити два завдання:

1. Вибір з «Довідника формулювань операцій» тих операцій, які потрібні для забезпечення вимог креслення оброблюваної деталі (особливості геометрії, точність, якість поверхневого шару, вимоги до контролів і т.п.)

2. Визначення місця обраної операції в технологічному маршруті.

Рішення цих завдань засноване на тім, що для кожної операції виявляються умови, що визначають її включення в технологічний маршрут. Ці умови визначаються конструктивно-технологічними ознаками деталі.

Існує кілька методик синтезу технологічного маршруту обробки конкретної деталі.

По одній з них для побудови алгоритмів вибору деяких типових рішень по задалегідь певному числу ознак використовують **таблиці відповідності**, або, як їх ще називають, **таблиці вибору рішень**.

Таблиця відповідності (табл. 8.3) формується на основі аналізу технологічних процесів виготовлення різних деталей даного класу. Побудова даних таблиць засноване на тому, що кожна обрана операція технологічного процесу виготовлення якоїсь конкретної деталі пов'язана з її конструктивно-технологічними ознаками. Причому одні операції можуть бути пов'язані з одним значенням (ідентифікатором) ознаки a_{ji} , а інші - з декількома. Тому в таблиці відповідності як типові рішення ліворуч вказуються коди операцій, а праворуч - умови вибору цих операцій у вигляді кодів можливих конструктивно-технологічних ознак деталі $A_1 A_{17}$.

Алгоритм вибору маршруту типового технологічного процесу на деталі класу «вали» може бути описаний у такий спосіб. Після введення вихідних даних про деталь в ЕОМ у ручному або автоматичному режимі провадиться

формування рядка конструктивно-технологічних ознак деталі у вигляді масиву МД). Далі відбувається виклик в оперативний запам'ятовувальний пристрій узагальненого маршруту. Розглядається перший рядок узагальненого маршруту $I=1$, для якої послідовно порівнюються однойменні ознаки цього рядка A_j і ознаки масиву МД.

Таблиця 3.3 - Таблиця відповідності вибору маршруту обробки деталей класу «вали» (фрагмент)

№ п/п	Код операції										
		A_1	A_2	A_3	...	A_7	...	A_{11}	...	A_{16}	A_{17}
1	801	3,4,5									
2	202	3									1
3	203	1,2,3,5									2 3 4
4	104										1
5	105										2,3,4
6	106										2,3,4
7	107		1,2,3,4								1
...											
50	350					1,2,4					
51	551									5,6,7	1,2,3
52	552										
53	553									5,6,7	3,4
54	554		1,2	4,5							
55	555									5,6,7	3,4
56	356			6							
57	757									5,6	
58	458										
59	759										

Якщо виконується умова відповідності (ознака операції узагальненого технологічного процесу відповідає конструктивно-технологічній Ознаці деталі $A_j=a_{ij}$), то операція приймається й запам'ятовується при формуванні кодів операції й відбувається перехід до наступної операції. Якщо жоден з ознак операції не відповідає ознакам деталі - операція пропускається й відбувається перехід до наступного рядка узагальненого технологічного процесу. Процес вибору кодів операцій триває доти, поки не будуть розглянуті весь рядки масиву операцій узагальненого ТП. Далі по кодах операцій вибираються їхні формулювання.

9. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП МОВОЮ ТАБЛИЦЬ РІШЕНЬ

Таблиці рішень (ТР) зарекомендували себе як зручний засіб, що дозволяє чітко, швидко й просто описувати складні ситуації. Уперше мова програмування, заснований на таблицях рішень, був запропонований в 1964 році Л.А.Ломбарді.

Для технологічного проектування використовуються три типи ТР:

1. комплексні таблиці (КТ);
2. таблиці рішень із обмеженими входами;
3. таблиці рішень із розширеними входами.

Комплексна таблиця рішень

Комплексна таблиця (КТ) являє собою опис конкретного об'єкта, процесу, явища, у якому всім елементам відповідають певні значення. Комплексні таблиці мають наступні достоїнства: природність, наочність подання, модульність.

КТ складається з поійменованих елементів – розділів, що характеризують об'єкт, і в цих розділах можуть використовуватися арифметичні вирази для розрахунку значення даних. Розділи можуть бути також заповнені конкретними значеннями даних. Крім того, передбачений механізм посилань на інші таблиці, що дозволяє конструювати складні структури, тобто реалізувати зв'язку між поняттями предметної області.

Приклад. Розглянутий нами варіант комплексної таблиці розроблений для опису переходу операції механічної обробки й складається з 24 розділів-стовпців і змінної кількості рядків. Відмітна риса цієї таблиці в тім, що в таблиці закладене правило «ЯКЩО-ТЕ» у розділі УФ – умова формалізована.

Таблиця 9.1 - Структура таблиці рішень

№	ЗП	КОП	УФ	ДИ	...	ДЧ	САП	ФКТ	ФД	1-ий рядок
1					...					2-ий рядок
2					...					3-ий рядок

№	ЗП	КОП	УФ	ДИ	...	ДЧ	САП	ФКТ	ФД	1-ий рядок
...					...					
N					...					

Перший рядок обов'язковий і складається з назви розділів (імен даних):

№ - номер переходу;

ЗП - зміст переходу;

КОП - код оброблюваної поверхні, він може задаватися явно (наприклад, 21.0.0 або 11.11.0) або через змінну (K.0.0, K.6.0);

УФ - умова формалізована (умова виконання рядка); якщо умовне вираження в цьому розділі істинно, те рядок обробляється до кінця, інакше рядок не виконується;

DB – діаметр виконавчий;

TDB – точність DB;

LB - довжина виконавча;

TLB - точність LB;

PI - різальний інструмент;

ДІ - допоміжний інструмент;

ВІ - вимірювальний інструмент;

DP - діаметр розрахунковий (діаметр заготівлі);

LP - довжина розрахункова;

I - кількість проходів;

T - товщина знімається слоя, що;

S - подача;

V - швидкість різання;

N - число обертів шпинделя;

ОЧ - основний час;

ДЧ - допоміжний час;

САП - вхід у підсистему розрахунку фрагмента керуючої програми для цього переходу;

ФКТ - у цьому розділі запам'ятовуються (привласнюються) розміри, отримані в переході для подальшого оперування ними;

ФД - форма друку.

Деякі розділи таблиці можуть бути не заповнені.

Другий рядок може бути відсутній, якщо перехід не є першим у складі операції. Якщо це початковий перехід, то в цьому рядку описується інформація, загальна для всієї операції: вибирається пристосування, формується «шапка» операційної карти, визначаються значення змінних, використовуваних у наступних рядках, якщо є в цьому необхідність.

Третій і кожний наступний рядок заповнюються відповідно до назв стовпців. Один рядок представляє один технологічний перехід. Зручніше в складі однієї таблиці представити один вид обробки. Наприклад свердління в трьох рядках: неглибокого, глибоке, глухого отвору.

Таблиці представляються у двох варіантах: **зразки й екземпляри**. Зразки зберігаються в базах знань і містять опис об'єкта в загальному виді. Дані представлені тільки іменами, формулами. А таблиця-екземпляр містить уже конкретні значення об'єкта. Для об'єкта «Технологічний перехід» таблиця-екземпляр заповнений розмірами, режимами обробки, шифрами інструментів, певними для обробки конкретної деталі.

Таблиці рішень із обмеженими входами

У таблицях рішень із обмеженими входами (ТРО) входні умови є логічними вираженням, представляються у вигляді питання й приймають значення «так», «ні». Кожна таблиця складається із заголовка (ім'я таблиці й коментар до її ім'я) і «тіла» таблиці. «Тіло» складається з розділів, які компонуються залежно від виду ТР. ТРО підрозділяються на наступні види:

- умовні;
- безумовні;
- циклічні;
- комбіновані.

Умовна ТРО містить у собі чотири основних роздягнула:

1. Список умов.
2. Правила вибору рішень (дій) - стовпці правил, або ситуації.
3. Список рішень.
4. Показчики порядку виконання рішень.

Крім цих чотирьох розділів, можуть бути наведені коментарі до кожної умови й рішення (розділи 5 і 6). Таблиці, що містять, крім зазначених, розділи 7 і 8, називаються комбінованими: 7 - це безумовна частина, складається з рівностей (присвоєнь або дій), 8 - це коментар до рівностей. Крім того, можуть бути відсутні умови (безумовні ТР), і ТР здобуває вид послідовного алгоритму із вказівкою дій. За допомогою ТРО також можна організувати цикли.

Таблиця 9.2 - Місце розташування розділів ТРО

8 Коментарі	7 Присвоєння	
5 Коментарі	1 Умови (ЯКЦО)	2 Ситуації
6 Коментарі	3 Рішення (ТЕ)	4 Послідовність рішень

Приведемо умовний ТРО92 по визначенню N – числа обертів шпинделя при фрезеруванні паза. Вхід у цю таблицю здійснюється через рядок комплексної таблиці в розділі N .

Таблиця 9.3 – ТРО92: вибір обертів шпинделя при фрезеруванні паза

Паз сегментний Паз подовжній	$RC > 0$ $B > 0$	немає да	немає немає	так -
D фрези = ширині паза	$D = B$ $D = L$ $D = RC$	1	1	1
Розрахункова n	$n = 1000 \cdot V / \pi \cdot D$	2	2	2
Прийнята n	$n = (TR1445)$ $n = (TR1447)$	3	3	3
Уточнення V	$V = N \cdot D / 318,4$	4	4	4

Завдання. У таблиці відсутня можливість вибору діаметра фрези по каталогу. Спробуйте додати його самостійно.

Для розрахунку n необхідно знати діаметр фрези й швидкість різання V . V визначається в попередньому розділі КТ. А от діаметр фрези визначається геометрією паза: подовжній, поперечний або паз під сегментну шпонку ра-

діусом *RC*. У таблиці й представлені всі три ситуації (три стовпці): 1 -для по-здовжнього паза, 2 -поперечного (ширина кодується через *L*), 3 -для сегмент-ного. Ситуації формуються розроблювачем таблиці рішень сполученням ви-конання або невиконання умов, тобто проставлянням значень логічних вира-жень «так» або «ні». Коли ситуація визначена, залишається приймати прави-льні рішення, що відповідають конкретної ситуації.

Таблиці рішень із розширеними входами

На відміну від ТР із обмеженими входами, входи яких приймають тіль-ки значення «так» і «ні», ТР із розширеними входами мають безліч значень вхідних умов. У таблиці також може бути кілька вхідних умов (наприклад, ТР194) або одне (наприклад, ТР194А).

Розглянемо приклад. ОМ - код оброблюваного матеріалу, В - ширина шпонкового паза, (ТР194А) - одне з рішень, де представлені позначення су-купності фрез для діапазону ширини В від 0 до 12мм.

Таблиця 9.4 - ТР194: вибір шпонкових фрез для напіввідчинених пазів

ОМ<=	<i>B</i> <=	
1.1.50	12	(ТР194А)
	50	(ТР194У)
1.1.164	12	(ТР194С)
	40	(ТР194G)
1.1.231	8	(ТР194D)
	12	(ТР194Е)
	40	(ТР194Q)
1.2.277	12	(ТР194X)
	40	(ТР194Q)
ІНАКШЕ	ІНАКШЕ	‘ ‘

Таблиці з розширеними входами містять дані про об'єкти, так само, як і бази даних. Відмінність у тім, що таблиця рішень містить правило вибору «ЯКЩО» ($B \geq 12, 10$ і т.д.) - «ТЕ» (2220-0533, 2220-0531, ...). Тут фреза ви-бирається залежно від ширини шпонкового паза деталі. У цій таблиці пред-ставлене знання: вибір позначення фрези залежно від ширини паза -відбите умовивід про зв'язок фрези й деталі через їхні дані.

Таблиця 9.5 - TP194A: шпонкові фрези швидкорізальні із циліндричним хвостовиком (ДСТ 16225-81)

$B \geq$	Відповідь
12	‘ 2220-0533’
10	‘ 2220-0531’
8	‘ 2220-0527’
6	‘ 2220-0523’
5	‘ 2220-0519’
4	‘ 2220-0515’
3	‘ 2220-0513’
2	‘ 2220-0505’
1,8	‘ 2220-0493’
1,5	‘ 2220-0491’
ІНАКШЕ	‘ , ’

За допомогою таблиць рішень із розширеними входами зорганізується вибір засобів технологічного оснащення, режимів обробки, норми часу, уточнення чисел обертів шпинделя й подачі стосовно до конкретного встаткування й т.д.

ТРО й ТР зберігаються в базі знань експертної системи. При проектуванні ТП імена дані замінюються їхніми значеннями, і умова $B > 0$ приймає вид $24 > 0$, якщо поздовжній паз має ширину $B = 24$ мм. Рішення у вигляді значень V і N заносяться в розділ таблиці-екземпляра КТ, далі за допомогою механізму оформлення документації в операційну карту.

Переваги використання таблицям рішень

- компактна, доступна для огляду форма аналізу завдання;
- єдиний (замість послідовного) опис завдання;
- легкість вивчення;
- необхідна ясність подання завдання, що дозволяє легко встановити, де відсутня інформація;
- прості можливості контролю повноти й змістовної коректності;
- можливість внесення змін і додавання у базу знань фахівцями предметної області без залучення програмістів.

10. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТП НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Основи генетичних алгоритмів

Генетичний алгоритм (ГА) - це евристичний алгоритм пошуку, використовуваний для рішення завдань оптимізації й моделювання шляхом послідовного об'єднання, комбінування й варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, які нагадують біологічну еволюцію. Є різновидом еволюційних обчислень. Відмінною рисою генетичного алгоритму є акцент на використанні оператора «схрещування», що робить операцію рекомбінації рішення-кандидатів, роль якої аналогічна ролі схрещування в живій природі.

Таким чином, використовуючи ГА можна навчити ЕОМ самостійно створювати нові ТП, значно скоротивши строки підготовки виробництва. При цьому немає необхідності в створенні бази даних з типовими деталями й вузлами, що значно спростить завдання створення такого САПР ТП.

Завдання кодується таким чином, щоб її рішення могло бути представлене у вигляді вектору («хромосома»). Випадковим образом створюється деяка кількість початкових векторів («початкова популяція»). Вони оцінюються з використанням «функції пристосованості», у результаті чого кожному вектору привласнюється певне значення («пристосованість»), що визначає ймовірність виживання організму, представленого даним вектором. Після цього з використанням отриманих значень пристосованості вибираються вектору (селекція), допущені до «схрещування». До цих векторів застосовуються «генетичні оператори», створюючи в такий спосіб наступне «покоління». Особини наступного покоління також оцінюються, потім виробляється селекція, застосовуються генетичні оператори й так у циклі, поки не буде виконаний один із критеріїв зупинки алгоритму: знаходження глобального, або субоптимального рішення; вичерпання числа поколінь, відпущених на еволюцію; вичерпання часу, відпущеного на еволюцію.

У такий спосіб узагальнений алгоритм ГА буде складаються з наступних операцій:

1. Ініціалізація;

2. Оцінка;
3. Відбір;
4. Рекомбінація;
5. Якщо виконуються умови зупинки, то (кінець циклу), інакше (початок циклу).

Ініціалізація, тобто створення початкової популяції дозволяє сформувати відправну точку для роботи алгоритму. При цьому популяція найчастіше створюється шляхом довільного створення хромосом, навіть якщо вона виявиться зовсім неконкурентоспроможною, генетичний алгоритм однаково досить швидко переведе її в життєздатну популяцію. Підсумком першого кроку є популяція N , що складається з N особин.

Етап *оцінки* дозволяє визначити, як кожна хромосома (рішення) справляється з даною проблемою. Хромосома декодується відносно до заданої проблеми й перевіряється результат рішення заданого завдання, на підставі якого розраховується «здоров'я» хромосоми. Передбачається, що функція пристосованості завжди має невід'ємне значення, а також те, що для рішення оптимізаційного завдання потрібно максимізувати цю функцію.

Відбір – це етап, на якому хромосоми вибираються для подальшого використання в іншій популяції, здійснюється на підставі здоров'я хромосом. При цьому, якщо відібрати тільки дуже здорові хромосоми, то рішення стає обмеженим через недостатню розмаїтість, а якщо відбирати випадковим образом, то ГА зводиться до методу випадкового пошуку. Найбільш популярним методом відбору є так званий метод Монте-Карло (*метод рулетки*). Відповідно до цього методу, чим краще здоров'я хромосоми, тим більше ймовірність її відбору для формування наступного покоління. Ймовірність виживання особини h повинна залежати від значення функції пристосованості $Fitness(h)$. Сама частка, яким вижили, s звичайно є параметром генетичного алгоритму, і її просто задають заздалегідь. За підсумками відбору з N особин популяції N повинні залишитися s особин, які ввійдуть у підсумкову популяцію N' . Інші особини гинуть.

При *рекомбінації* відбувається так звана мутація генів.

Базові методи мутації ГА є:

- оператор мутації;
- оператор схрещування;
- складання хромосоми з генів;
- поділ хромосоми на гени;
- визначення ступеня споріднення хромосом;
- визначення моменту стабілізації середньої функції фітнеса (виживання).

Оператор схрещування реалізує три типи кросовера (з'єднання із частин). Типи кросоверів відрізняються алгоритмами схрещування:

1. Класичний одноточковий кросовер.

2. Кросовер типу - Scattered, широко використовуваний у сучасних програмних засобах. Тут схрещування виконується на основі бінарного вектору, довжина якого дорівнює довжині хромосоми в алелях. Кожна позиція вектору визначає заміну алелі.

3. Кросовер типу - Scattered, але для генів, тут бінарний вектор визначає перехресні гени.

Існує четвертий режим роботи, що забезпечує випадковий вибір за законом рівної ймовірності одного із трьох типів Кросовера, що дозволяє на складних функціях частково уникнути насичення середньої функції фітнеса в популяції.

При використанні найбільш простого алгоритму - однокрапкового хромосоми розділяються у випадковій точці, частині хромосом переміщуються, а нові хромосоми, які вийшли, повертаються назад у популяцію для формування наступного покоління. Перша група хромосом звичайно називається батьками, друга - дітьми. Головна вимога до розмноження - щоб нащадок, або нащадки, мали можливість успадкувати риси обох батьків.

Найбільше часто використаними генетичними операторами на етапі розмноження є перехресне схрещування й мутація. Оператор *перехресного схрещування* – бере дві хромосоми батьків, розділяє їх у довільній точці, а потім міняє місцями. При цьому утворюються дві нових хромосоми. Оператор *мутації* вносить довільну зміну в гени хромосоми, що дозволяє створювати новий матеріал у популяції.

Розробка технологічного процесу за допомогою генетичних алгоритмів

Застосування генетичних алгоритмів припускає відображення можливої структури технологічного процесу у вигляді хромосоми, що складається з генів. Кожний ген є аналогом операції в технологічному маршруті.

При застосуванні ГА першим завданням є кодування рішення, тобто визначення значення генів. Пропонується використовувати як гени технологічні переходи, як наприклад, «Підрізати торець», «Точити поверхня», «Свердлити отвір наглухо» тощо. При цьому доцільно виділити деякі технологічні операції (включаючи переходи) в окремі гени, наприклад, «Слюсарна», «Лакофарбова» і т.п., що дасть можливість прискорити пошук рішення. Крім того, деякі технологічно зв'язані переходи також об'єднати в один ген, що також оптимізує роботу ГА.

Оцінку здоров'я хромосом проводиться в кілька етапів, оскільки в основі розробки будь-якого ТП лежать технічний, техніко-економічний і економічний принципи. Відповідно до першого принципу ТП повинен забезпечити виконання всіх вимог на виготовлення виробу, другий забезпечити максимальну продуктивність, а третій визначає умови, які забезпечують мінімальні витрати роботи й найменші витрати виробництва (найбільше часто приймають мінімальну собівартість).

Техніко-економічний критерій оптимальності (наприклад, критерій максимальної продуктивності, тобто найменшого машинного часу) найбільше доцільно вибирати, як цільові функції, по якій визначається здоров'я хромосоми.

Технічний принцип, тобто умова достатності наявності переходів у хромосомі для обробки всіх поверхонь деталі, можна реалізувати, використовуючи експертну систему. При цьому не тільки недолік переходів погіршує здоров'я особини, але й зайві переходи також негативно відбиваються на її коефіцієнті пристосованості. Наявність технологічно вірної послідовності операцій позитивно позначається на здоров'я особини.

Вага коефіцієнтів буде визначатися експериментально. Наприклад, при наявності операції «Термічна» першої в ТП даної хромосоми визначити $k =$

0.5, але, наприклад, при наявності в ТП даної хромосоми операції «Слюсарна» безпосередньо за «Свердлильна» привласнити $k = 1.1$.

Ще одним способом визначення здоров'я хромосоми є 3 D-Моделювання обробки заготовлі по створеному алгоритмі з оцінкою:

- принципової можливості обробки;
- дотримання принципу технологічної спадковості по кожній поверхні;
- досягнення необхідних по кресленню параметрів;
- часу обробки.

Проблеми при використанні генетичних алгоритмів

Серед проблем ГА варто виділити передчасне сходження, епістазис і занадто великий час обчислення.

Проблема *передчасного сходження* пов'язана з недостатньою розмаїтстю хромосом у популяції. Найпоширенішою причиною передчасного сходження є занадто малий розмір популяції. При недостатній розмаїтості, коефіцієнт здоров'я знижується в наступних поколіннях. Іншою причиною може бути алгоритм відбору. Якщо для розмноження відбираються особини тільки з високим коефіцієнтом здоров'я (наприклад, методи *еліти*), то це приводить до сильного зменшення розміру популяції в порівнянні з початковим.

Епістазисом називається внутрішня залежність функцій між генами, закодованими в хромосомі. За рахунок епістазиса одні гени можуть придушувати роботу інших. Якщо жоден ген не пов'язаний з іншими генами в хромосомі, вважається, що епістазис дуже малий або не існує, інакше епістазис високий і може створити проблеми для алгоритмів рекомбінації.

ГА при рішенні реальних виробничих завдань висувають величезні вимоги до швидкості обчислення. Фактично, алгоритм припускає математичну обробку всіх генів популяції мільярди раз. Для прискорення проектування іноді використовують спеціальні комп'ютерні плати - апаратні емулятори генетичних алгоритмів.

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

11. CALS-ТЕХНОЛОГІЇ

Технічна підготовка виробництва – сукупність взаємозалежних процесів, що забезпечують конструкторську й технологічну готовність підприємств до випуску нового виробу заданого рівня якості, при встановлених строках, обсязі випуску й витратах. У завдання технічної підготовки виробництва входить створення технічних, організаційних і економічних умов, що повністю гарантують перехід виробничого процесу на більше високий рівень на основі досягнень науки й техніки.

CALS (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support — безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу) сучасний підхід до проектування й виробництва високотехнологічної і наукомісткої продукції, що полягає у використанні комп'ютерної техніки й сучасних інформаційних технологій на всіх стадіях життєвого циклу виробу. За рахунок безперервної інформаційної підтримки забезпечуються однакові способи управління процесами й взаємодії всіх учасників цього циклу: замовників продукції, постачальників/виробників продукції, експлуатаційного й ремонтного персоналу.

Це аббревіатура, що змінила кілька значень. Спочатку це буквосполучення розшифровувалося як «комп'ютеризовані закупівлі й логістична підтримка», потім «безперервна підтримка закупівель і життєвого циклу». Деякі сьогодні застосовують «комерція зі швидкістю звуку».

Комплексна інтеграція управління в усі сфери діяльності підприємства сприяє створенню єдиного банку даних про продукцію, технологічні процеси, даних допоміжних виробництв, знижує ступінь дублювання інформації й забезпечує стандартизацію всієї діяльності підприємства.

Історія створення CALS-стратегії

Ідея народилася в оборонному секторі США й була названа CALS-стратегія Міністерства оборони (МО) США. В 1984 р. МО США усвідомило,

що комп'ютерна технологія, що підтримує розподілені дані й обмін інформацією, є важливою стратегією й для промисловості. Вона повинна допомогти здійснювати усе більше складні державні закупівлі й дозволить оснастити армію більше надійними озброєнням. МО розраховує так само знизити час на розробку складних озброєнь і обмежити вартість підтримки виробу в експлуатації, що може тривати 30-40 і більше років. При цьому витрати на експлуатацію можуть набагато перевершувати витрати на закупівлю виробу.

В 1987 році з ініціативи 1100 провідних представників промисловості США був створений Американський Промисловий Керуючий Комітет в області CALS для координації роботи різних організацій США в області CALS. Формально програма CALS у США почалася в 1988 р. Вона припускає, що обмін технічною інформацією між державними службами, постачальниками й субпідрядниками буде здійснюватися електронним способом на всьому протязі життєвого циклу виробів.

Життєвий цикл виробу

Управління виробництвом – це інформаційний процес, що забезпечує виконання матеріального або інформаційного процесу й досягнення їм певних цілей. Управління виробництвом включає координацію діяльності всього персоналу, керування рухом всіх елементів виробництва, управління процесами, що відбуваються на рівні персоналу. Управління виробництвом поширюється на всі фази його існування - створення, функціонування, удосконалювання, ліквідацію.

Управління технологічним процесом – інформаційний процес, що забезпечує виконання матеріального процесу й досягнення їм певних цілей. Управління ТП включає управління процесами, що відбуваються на рівні засобів праці, предметів праці, і управління їхнім рухом. Комплекс заходів складається зі збору, обробки й аналізу інформації про технологічний процес і здійснення на основі цієї інформації контролю й регулювання ТП за допомогою засобів автоматизації й методів організації, управління виробництвом з використанням обчислювальної техніки.

Електронний опис виробу (ЕОВ) — ключова ланка CALS, база даних про виріб. На відміну від розрізненого подання даних про виріб у конструкторських, технологічних АСУ, ERP, MRP і інших системах, що вирішує приватні завдання основної діяльності підприємств, ЭОИ поєднує й систематизує ці дані. На основі ЭОИ створюються різні частки похідні (конструкторсько-технологічна специфікація, експлуатаційна документація й т.д.). ЭОИ описує не тільки виріб, але й сполучену з ним середовище - інструменти, пристосування, оснащення, технологічне встаткування, системи забезпечення експлуатації виробу й т.д.

Життєвий цикл виробу (продукції) — це сукупність процесів, виконуваних від моменту виявлення потреб суспільства в певній продукції до моменту задоволення цих потреб і утилізації продукту. Тобто включає період від виникнення потреби в створенні продукції до її ліквідації внаслідок вичерпання споживчих властивостей.

У відповідності зі стандартами ISO 9000:2000, Життєвий Цикл Виробу (ЖЦВ) охоплює всі стадії життя виробу - від вивчення ринку перед проектуванням до утилізації виробу після використання.

Етапи життєвого циклу

- Маркетингові дослідження
- Проектування продукту
- Планування й розробка процесу
- Закупівля
- Виробництво
- Перевірка
- Пакування й зберігання
- Продаж і розподіл
- Монтаж і налагодження
- Технічна підтримка й обслуговування
- Експлуатація по призначенню
- Послепродажна діяльність
- Утилізація й(або) переробка

Бізнес-процес – це сукупність взаємозалежних заходів або завдань, спрямованих на створення певного продукту або послуги для споживачів. Для наочності бізнес-процеси візуалізують за допомогою блок-схеми бізнес-процесів.

Інжиніринг – сфера діяльності по проробленню питань створення об'єктів промисловості, інфраструктури й ін., насамперед у формі надання на комерційній основі різних інженерно-консультаційних послуг.

Реінжиніринг бізнес-процесів (англ. Business process reengineering) - фундаментальне переосмислення й радикальне перепроєктування бізнес-процесів для досягнення максимального ефекту хазяйновитої-господарчої-виробничо-господарської й фінансово-економічної діяльності, оформлене відповідними організаційно-розпорядницькими й нормативними документами. Реінжиніринг використовує специфічні засоби подання й обробки проблемної інформації, зрозумілі як менеджерам, так і розроблювачам інформаційних систем. Зміст реінжинірингу бізнес-процесів у двох його основних етапах

- визначення оптимального (ідеального) виду бізнес-процесу (у першу чергу основного);

- визначення найкращого (по засобах, часу, ресурсам і т.п.) способу перекладу існуючий бізнес-процесу в оптимальний.

Проект по реінжинірингу бізнесу звичайно включає наступні чотири етапи:

1. Розробка образу майбутньої компанії. На цьому етапі компанія будує картину того, як варто розвивати бізнес, щоб досягти стратегічних цілей.

2. Аналіз існуючого бізнесу. Проводиться дослідження компанії й складаються схеми її функціонування в даний момент.

3. Розробка нового бізнесу. Розробляються нові й (або) змінені процеси й підтримуюча їхня інформаційна система. Виконується моделювання й тестування нових процесів.

4. Впровадження нового бізнесу. На цьому етапі новий проект впроваджується в бізнес.

12. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ЩО ПІДТРИМУЄ ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

У ході життєвого циклу машинобудівної продукції з інформацією про нього працюють різні класи програм.

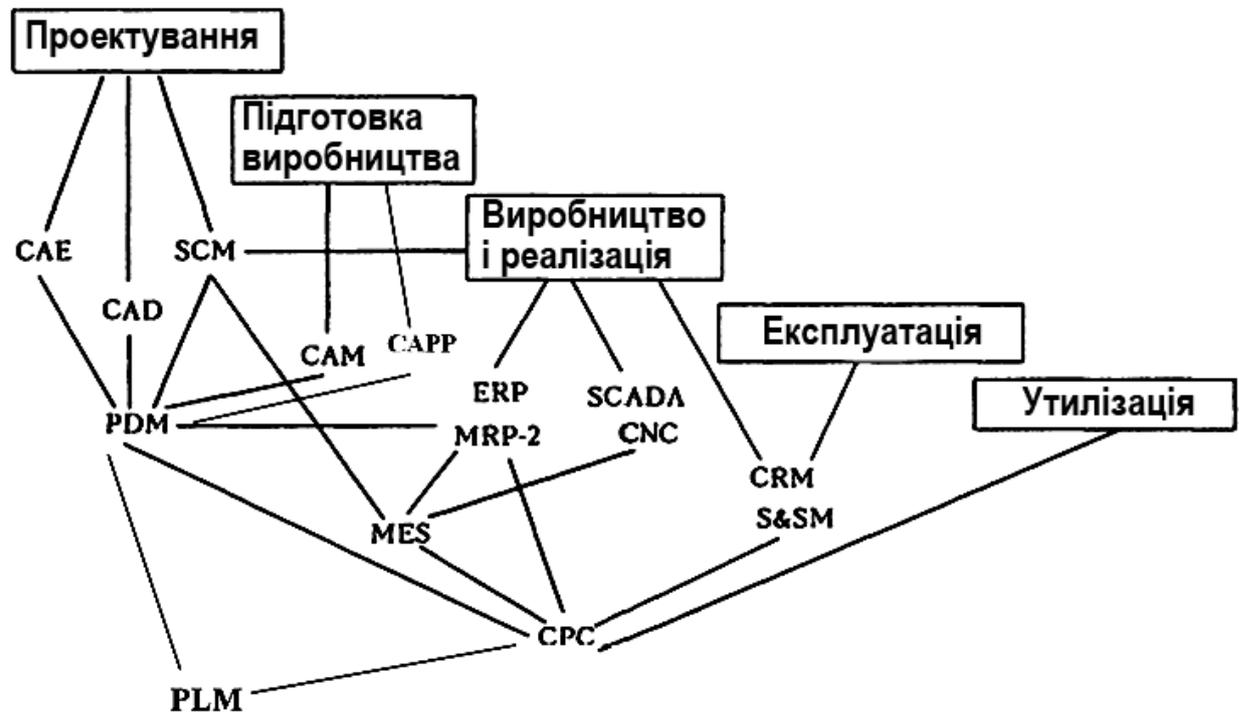


Рис. 12.1 - Етапи життєвого циклу промислових виробів і системи їхньої автоматизації.

Кожний клас програм має свою обмежену функціональність:

- CAE - Computer Aided Engineering (автоматизовані розрахунки й аналіз);
- CAD - Computer Aided Design (автоматизоване проектування);
- CAM - Computer Aided Manufacturing (автоматизована технологічна підготовка виробництва);
- CAPP - Computer-Aided Process Planning (автоматизована система технологічної підготовки виробництва)
- ERP - Enterprise Resource Planning (планування й управління підприємством);
- MRP-2 - Manufacturing (Material) Requirement Planning (планування виробництва);

- SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське керування виробничими процесами);
- CNC - Computer Numerical Control (комп'ютерне числове керування);
- SCM - Supply Chain Management (управління ланцюжками поставок);
- CRM - Customer Relationship Management (управління взаєминами із замовниками);
- S&SM - Sales and Service Management (управління продажами й обслуговуванням);
- PDM - Product Data Management (управління проектними даними);
- MES - Manufacturing Execution System (виробнича виконавча система);
- CPC - Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес).
- PLM - Product Lifecycle Management (управління життєвим циклом виробу)

Розглянемо докладніше деякі із цих класів.

CAE. Буквально "Автоматизоване конструювання", має на увазі використання спеціального програмного забезпечення для проведення інженерного аналізу міцності й інших технічних характеристик компонентів і складань, виконаних у системах автоматизованого проектування. Програми автоматизованого конструювання дозволяють здійснювати динамічне моделювання, перевірку й оптимізацію виробів і засобів їхнього виробництва. Традиційні області аналізу містять у собі:

- аналіз напруг деталей і складань методом кінцевих елементів,
- аналіз теплових і рідинних потоків методами обчислювальної гідродинаміки,
- аналіз кінематики,
- моделювання динамічних механічних взаємодій,
- моделювання виробничих операцій (лиття, пресування).
- додатково в них можуть входити розрахунки плинину рідини, теплових потоків, електромагнітного й радіаційного випромінювання.

При проведенні будь-якого виду аналізу в системах САЕ традиційно виділяються три етапи його проведення:

- попередня обробка даних (побудова по геометричній моделі виробу - CAD-Даним - необхідної моделі досліджуваного процесу - наприклад, сітки кінцевих елементів, точок додатка сил і їхніх векторів),
- аналіз моделі за допомогою спеціалізованого вирішувача,
- заключна обробка результатів (візуалізація результатів розрахунків математичної моделі).

CAD. Програмний пакет, призначений для створення креслень, конструкторської й/або технологічної документації й/або 3D моделей. Звичайно охоплює створення геометричних моделей виробу (твердотельних, тривимірних, складових), а також генерацію креслень виробу і їхній супровід. Іноді неї називають САПР. Слід зазначити, що україномовний термін «САПР» стосовно промислових систем має більше широке тлумачення, чим «CAD» - він містить у собі CAD, CAM і CAE.

CAM - підготовка технологічного процесу виробництва виробів, орієнтована на використання верстатів зі ЧПК. У процесі інтерактивної роботи із тривимірною моделлю в САМ системі інженер визначає траєкторії руху різального інструменту по заготівки виробу (так звані CL-дані, від cutter location - положення різця), які потім автоматично верифікуються, візуалізуються (для візуальної перевірки коректності) і обробляються постпроцесором для одержання програми керування конкретним верстатом (називаною також G-кодом).

В САМ технологічна підготовка зводиться до автоматизації програмування встаткування із ЧПК (2-2- осьові лазерні верстати), (3-3- і 5-осьові фрезерні верстати зі ЧПК; токарські верстати, що обробляють центри; автомати подовжнього гостріння й токарно-фрезерної обробки; ювелірне й об'ємне гравірування).

CAPP – воно ж САПР ТП. Програми для технологічної підготовки виробництва. Найпростіші види програм цього класу дозволяють набирати тех-

нологічні процеси. Самі складні можуть із певними обмеженнями самостійно створювати ТП.

ERP. Це організаційна стратегія інтеграції виробництва й операцій, керування трудовими ресурсами, фінансового менеджменту й управління активами, орієнтована на безперервне балансування й оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакета прикладного програмного забезпечення, що забезпечує загальну модель даних і процесів для всіх сфер діяльності.

Даний термін з'явився в результаті розвитку концепції планування виробничих ресурсів. ERP-системи - це інформаційні керуючі системи, які інтегрують і поєднують безліч бізнес-процесів, пов'язаних з операційними або виробничими аспектами підприємства:

- виробництво,
- логістика,
- дистрибуція,
- складування,
- навантаження,
- виставляння рахунків,
- бухгалтерський облік.

Концепція ERP сформульована в 1990 році аналітиком Gartner. В 2000 роки відбулася консолідація постачальників, з'явилася значна кількість ERP-Систем для малого й середнього бізнесу. Впровадження ERP-Системи вважається фактично необхідною умовою для публічної компанії й, починаючи з кінця 1990 років, ERP-системи, що споконвічно впроваджувалися тільки промисловими підприємствами, експлуатуються більшістю великих організацій поза залежністю від країни, форми власності, галузі.

ERP-системи часто називаються системами класу бек-офіс (внутрішня сторона фірми), щоб відокремити їх від фронт-офіс систем (зовнішня робота фірми).

MRP-2. Метод ефективного планування всіх ресурсів підприємства-виробника. Дозволяє здійснювати операційне планування (в одиницях продукції), фінансове планування (у грошових одиницях) і моделювати різні си-

туації, відповідаючи на питання "що якщо". Складається з набору взаємозалежних функцій, основними з яких є:

- бізнес-планування,
- планування виробництва й продажів,
- планування випуску продукції,
- складання основного виробничого плану (див. MPS),
- планування потреби в матеріалах (див. MRP),
- планування потреби у виробничих потужностях (див. CRP),
- системи підтримки управління виробничими потужностями й матеріалами.

Американське товариство по контролі над виробництвом і запасами (American Production and Inventory Control Society, APICS) розробило стандарт MRP II, які містить у собі детальний опис 16 груп основних функцій:

1. Планування продажів і операцій (англ. Sales & Operations Planning).
2. Управління попитом (англ. Demand Management).
3. центральний календарний план виробництва (англ. Master Production Schedule).
4. Планування потреби в матеріалах (англ. Material Requirements Planning).
5. Підсистема специфікацій (англ. Bill of Material Subsystem).
6. Підсистема операцій із запасами (Inventory Transaction Subsystem).
7. Підсистема запланованих надходжень за відкритими замовленнями (англ. Scheduled Receipts Subsystem).
8. Оперативне керування виробництвом (англ. Shop Floor Control or Production Activity Control).
9. Планування потреби в потужностях (Capacity Requirements Planning).
10. Управління вхідними/вихідними матеріальним потоками (англ. Input/Output Control).
11. Управління поставкою (англ. Purchasing).
12. Планування ресурсів розподілу (англ. Distribution Resource Planning).
13. Інструментальне забезпечення (англ. Tooling).
14. Інтерфейс із фінансовим плануванням (англ. Financial Planning Interfaces).
15. Моделювання (англ. Simulation).

16. Оцінка діяльності (Performance Measurement).

SCADA. Програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення й архівування інформації про об'єкт моніторингу або керування. SCADA може бути частиною АСУ ТП, АСКУЭ, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будинку й т.д. SCADA-системи використовуються у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі.

Основні можливості й засоби, властивим всім системам і реалізації, що тільки розрізняються технічними особливостями:

1. автоматизована розробка, що дає можливість створення програмного забезпечення (ПО) системи автоматизації без реального програмування;
2. засоби збору первинної інформації від пристроїв нижнього рівня;
3. засоби керування й реєстрації сигналів про аварійні ситуації;
4. засоби зберігання інформації з можливістю її пост-обробки (як правило, реалізується через інтерфейси до найбільш популярних баз даних);
5. засоби обробки первинної інформації;
6. засоби візуалізації подання інформації у вигляді графіків, гістограм і т.п.;
7. можливість роботи прикладної системи з наборами параметрів, розглянутих як єдине ціле.

Основу більшості SCADA-пакетів становлять кілька програмних компонентів (база даних реального часу, введення-виводу, передісторії, аварійних ситуацій) і адміністраторів (доступу, керування, повідомлень).

На даний момент для технологів машинобудівних підприємств SCADA-системи цікаві тільки в масових і гнучкому автоматизованому виробництві.

CNC – воно ж числове програмне керування. Звичайно містить у собі комплекс апаратного й програмного забезпечення для керування об'єктами.

Відповідно до команд керуючої програми контролер викликає із пам'яті відповідні системні підпрограми, які заставляють працювати підключене до ЧПК встаткування в необхідному режимі - результати роботи конт-

ролера у вигляді електричних сигналів надходять на виконавчий пристрій - приводи подач, або на пристрої керування автоматикою верстата.

Керуюча система зчитує інструкції спеціалізованої мови програмування (наприклад, G-Код) програми, що потім інтерпретатором системи ЧПК переводиться із вхідної мови в команди керування головним приводом, приводами подач, контролерами керування вузлів верстата (наприклад, включити/виключити подачу охолодної емульсії).

Програмне ядро працює в режимі реального часу. Це вимагає мінімальні затримки у виконанні команд. Часто для мінімізації затримок для програми CNC виділяють окремий мікропроцесор або контролер. Можуть застосувати мікроконтролери й спеціальні операційні системи реального часу.

Наприклад, при подачі 800мм/хв, і дискретності інтерполяції кривих 0,01мм за одну секунду програма повинна обробити 1300 кадрів керуючої програми. Кожний кадр необхідно перерахувати в кроки сервоприводів. Найчастіше розрахунок ведеться із застосуванням тригонометричних функцій. Потім передати розраховані імпульси на апаратну частину виконавчого механізму. Якщо в системі ЧПК застосовуються дешеві контролери зв'язку між механізмами й комп'ютером, то CNC повинна ще відслідковувати імпульси двигуна й зворотний зв'язок від датчиків.

SCM. Система керування ланцюгами поставок - організаційна стратегія й прикладне програмне забезпечення, призначені для автоматизації й керування всіма етапами постачання підприємства й для контролю всього руху товарів. SCM-Системи охоплює весь товарний цикл: закупівлю сировини, виробництво, поширення товару.

Можливості систем SCP

1. Прогноз продажів - прогнозування тижневих і денних продажів товару;
2. Управління запасами - оптимізаційне планування гарантійного запасу, що тече запасу й т.д. з урахуванням обраної моделі управління запасами для кожної товарної категорії;
3. Управління поповненнями - оптимізаційне планування поставок усередині логістичної мережі компанії з урахуванням планованих продажів, пос-

тавок від виробника, наявності залишків, транспортних потужностей, різних обмежень і бізнес-правил.

4. Побудова короткострокового (до 4 тижнів) і довгострокового (до 6 місяців) прогнозу
5. Побудова звіту про необхідні закупівлі в ручному й автоматичному режимах з урахуванням зовнішніх обмежень (кратність поставки, мінімальний залишок) і розкладу поставок
6. Проведення графічного аналізу за довільними критеріями (кількість, прибуток, вартість закупівлі)
7. Візуалізація даних продажів, залишків, цін, прибутку й прогнозів попиту по товарах і товарних групах.
8. Облік довільних факторів, що впливають на продажі в автоматичному режимі.
9. Можливість групувати товари, задавати й створювати нові властивості в інтерактивному режимі й за допомогою завантаження із системи автоматизації.
10. Розрахунок оптимального запасу для кожної позиції з урахуванням прогнозу попиту й страхового запасу.

CRM. Інженерна й технологічна діяльність не закінчується проектуванням. Повинна ще бути система зворотного зв'язка й аналізу помилок, що виявляються під час експлуатації, планування виробництва запчастин. **Система керування взаєминами із клієнтами (CRM, англ. Customer Relationship Management)** – прикладне програмне забезпечення, призначене для автоматизації стратегій взаємодії із замовниками (клієнтами), зокрема, для підвищення рівня продажів, оптимізації маркетингу й поліпшення обслуговування клієнтів шляхом збереження інформації про клієнтів і історію взаємин з ними, установлення й поліпшення бізнес-процедур і наступного аналізу результатів. CRM — модель взаємодії, що думає, що центром всієї філософії бізнесу є клієнт, а основними напрямками діяльності є заходи щодо підтримки ефективного маркетингу, продажів і обслуговування клієнтів. *CRM повинна бути системою не покарання, а заохочення.*

В CRM входять системи створення ІЕТР (ІЕТМ) (Interactive Electronic Technical Manual) - інтерактивні електронні технічні керівництва - організаційно-технічні системи, призначені для автоматизованої підготовки супровідної документації на складні технічні вироби в електронному виді. Самі ІЕТР можуть містити текстові, графічні, аудіо й відео дані.

Впровадження **автоматизованих систем поставок і обслуговування** (як частина **CRM**) дозволяє вирішувати наступні завдання:

- логістичного аналізу виробу на стадії його проектування з метою визначення вимог до готовності виробу й припустимих витрат і ресурсів, необхідних для підтримки виробу в потрібному стані;

- створення баз даних для відстеження перерахованих параметрів у ході життєвого циклу виробу;

- створення електронної технічної документації, необхідної для процесів закупівлі, поставки, запровадження в дію, експлуатації, сервісного обслуговування й ремонту виробу;

- створення й ведення "електронних досьє" на експлуатовані вироби з метою використання даних про хід експлуатації разом з електронною експлуатаційною документацією для визначення в кожний момент часу фактичного обсягу робіт по обслуговуванню й потребі в матеріальних ресурсах (запасні частини, матеріали, устаткування);

- створення комп'ютерних систем інформаційної підтримки процесів поставки виробів і засобів матеріально-технічного забезпечення цих процесів;

- створення й застосування комп'ютерних систем планування потреб у засобах матеріально-технічного постачання, формування заявок і керування контрактами на поставку таких засобів.

S&SM. Керування продажами й обслуговуванням. У більшій мірі спрямовано на продукти, що вимагають сильну технічну підтримку. А саме витратне технічне обслуговування, ремонтна діяльність, закупівля запасних частин.

Можливості:

1. Підвищення оперативності і якості підбора запасних частин, можливість роботи із замінами й аналогами
2. Скорочення витрат на забезпечення точного й своєчасного сервісного й гарантійного технічного обслуговування
3. Підвищення продуктивності роботи з рекамаціями
4. Скорочення кількості неліквідних номенклатурних позицій і економія витрат на утримування запасів
5. Можливість більше ефективного керування територіально-розподіленою мережею сервісних центрів
6. Підвищення прозорості ціноутворення на запасні частини, роботи й послуги сервісного обслуговування

PDM – рішення що дозволяє організувати на підприємстві систему електронного документообігу, як офісних документів, так і спеціалізованих інженерних даних (архів 3D моделей, CAD/CAE даними розробленими в системах Pro/ENGINEER, Autocad, MathCAD та інше). Тим самим воно дозволяє організувати паралельну й спільну роботу, у тому числі специфічних підрозділів, таких як проектно-конструкторське та інші.

Включають у собі:

- управління інженерними даними (engineering data management - EDM);
- управління документами;
- управління інформацією про виріб (product information management - PIM);
- управління технічними даними (technical data management - TDM);
- управління технічною інформацією (technical information management - TIM);
- управління зображеннями й маніпулювання інформацією, що всебічно визначає конкретний виріб.

MES. Автоматизована система керування виробничими процесами. MES-системи ставляться до класу систем керування рівня цеху. MES-Система дозволяє контролювати процеси, матеріали, трудові ресурси в реальному часі. Вирішує завдання синхронізації, координації, аналізу й оптимізації випуску продукції в рамках якого-небудь виробництва. Як правило, да-

на система складається з великого числа апаратних і програмних пристроїв. MES-Система тісно взаємодіє з ERP-системою, одержуючи з її виробничі плани, складені з урахуванням замовлень і поставок сировини, і передаючи назад інформацію про реальні витрати на всіх етапах виробництва партії.

CPC. Технологія спільної розробки, виготовлення й супроводження продукції.

У систему зокрема входить CPD (Collaborative Product Development) колективна розробка виробу. Бізнес-Стратегія, робочий процес і набір програмного забезпечення, які сприяють спільній роботі різних організацій над одним виробом. Колективна розробка виробу є частиною загальної концепції управління його життєвим циклом (див. PLM) і складається з наступних частин:

- управління даними про виріб (PDM),
- візуалізація виробу,
- засоби організації телеконференцій,
- засоби трансляції САD-даних.

PLM. Організаційно-технічна система, що забезпечує управління всією інформацією про виріб і пов'язаних з ним процесах протягом усього його життєвого циклу, починаючи із проектування й виробництва до зняття з експлуатації. Фактично, це набір можливостей, які дозволяють підприємству ефективно обновляти свої продукти й релевантні послуги протягом повного бізнесу-циклу.

Це не просто програмний додаток. PLM - це бізнес-стратегія, спрямована на більш ефективну підтримку повного життєвого циклу виробу компанії за допомогою процесів, що забезпечують колективні розробки протягом усього життєвого циклу в масштабах партнерських мереж, технологій підтримки розробки виробів і вдосконалення виробничих процесів, а також методів стимулювання інновацій на всіх етапах.

13. БАЗИ ДАНИХ - ОСНОВА CALS-СИСТЕМ

База даних — організована відповідно до певних правил і підтримувана в пам'яті комп'ютера сукупність даних, що характеризує актуальний стан деякої предметної області й використовується для задоволення інформаційних потреб користувачів.

Ціль бази даних — допомогти людям і організаціям вести облік визначених речей.

Відмітні ознаки БД:

- БД зберігається й обробляється в обчислювальній системі.
- Дані в БД логічно структуровані (систематизовані) з метою забезпечення можливості їхнього ефективного пошуку й обробки в обчислювальній системі.
- БД включає схему, або метадані, що описують логічну структуру БД у формальному виді.

Класифікацій БД дуже багато. На нам потрібно всього дві:

Класифікація по ступені розподілу:

- Централізована, або зосереджена: БД, повністю підтримується на одному комп'ютері.
- Розподілена: БД, складові частини якої розміщуються в різних вузлах комп'ютерної мережі відповідно до якого-небудь критерію.

Класифікація по моделі даних (взагалі більш 50 моделей):

- Ієрархічна - подання бази даних у вигляді деревоподібної (ієрархічної) структури, що складає з об'єктів (даних) різних рівнів. Повністю відображає структуру написання ТП.
- Об'єктно-орієнтована - база даних, у якій дані моделюються у вигляді об'єктів, їхніх атрибутів, методів і класів.
- Мережна - різниця між ієрархічною моделлю даних і мережний полягає в тому, що в ієрархічних структурах запис-нащадок повинна мати в точності одного предка, а в мережній структурі даних у нащадка може бути будь-яке число предків.

- Реляційна - у спрощеному варіанті можна сказати що це модель зв'язаних між собою таблиць. Реляційна модель надає кошти опису даних на основі тільки їхньої природної структури, тобто без потреби введення якої-небудь додаткової структури для цілей машинного подання.

Побудова реляційних баз даних

Основою реляційних баз даних є таблиці

	Поле	Поле
	ФИО	Номер телефона
Запись	Алексеев Алексей	111-11-11
	Иванов Иван	222-22-22
	Борисов Борис	333-33-33
	Сергеева Елена	444-44-44

Рис. 13.1 - Структура таблиць у реляційних базах даних

Властивості таблиць:

1) Запису у відношенні можуть мати тільки одиночні значення; множинні значення не допускаються. Отже, на перетинанні рядка й стовпця перебуває тільки одне значення.

2) Всі записи в одному стовпці мають той самий тип. Наприклад, один стовпець може містити імена покупців, а іншої - їхньої дати народження. Кожний стовпець має унікальне ім'я, і порядок проходження стовпців несуттєвий. Стовпці відносини звуться атрибутів. Кожний атрибут має свій домів, що являє собою фізичний і логічний опис безлічі припустимих значень.

3) У відношенні не може бути двох однакових рядків, і порядок проходження рядків несуттєвий. Рядки відносин називаються також кортежами.

На відміну від плоских, реляційні бази даних складаються з декількох таблиць, зв'язок між якими встановлюється за допомогою співпадаючих значень однойменних полів.

Проблеми списків – якщо все записати в одну таблицю, то змінити номер телефону замовника або замінити верстат у цеху на інший інвентарний номер дуже проблематично. Потрібно замінити у всіх рядках, що може привести до помилок.

Таблиця 13.1 - Типи даних у базах даних

Тип даних	Опис
Текстовий	Алфавітно-цифрові дані
Мето	Алфавітно-цифрові дані - речення, абзаци, тексти
Числовий	Числові дані
Дата/Час	Дати й час
Грошовий	Дані про грошові суми, що зберігаються з 4 знаками після коми
Лічильник	Унікальне довге ціле, яке генерується при створенні кожного нового запису
Логічний	Логічні дані
Поле об'єкта OLE	Картинки, діаграми або інші OLE-Об'єкти
Гіперпосилання	Гіперпосилання, які являють собою шлях у файлу на жорсткому диску або адреса в мережах Internet

Інша проблема складається в несумісності даних. Ми можемо зробити просту помилку в найменуванні верстата й випадково написати 16K20 (К - латиницею) замість 16K20 (К - кирилицею). Користувачі цього списку не зрозуміють, чи то в нас з'явився новий верстат, чи те це помилка.

Проблеми спільно використовуваних локальних даних Інші проблеми використання списку спливають, коли ми розглядаємо дані, які спільно використовуються багатьма людьми. Компанія хоче дати кожному доступ до імен підрядників і до телефонних номерів із загального джерела даних. Таким чином, якщо хто-небудь змінить телефонний номер, та ця зміна потрібно зробити в загальному джерелі дані компанії. У протилежному випадку співробітникам прийде змінити ці дані на кожному комп'ютері компанії.

Проблеми спільно використовуваних даних у мережі. Однак якщо дані про підрядника використовуються спільно, виникають інші проблеми. Бухгалтерія хоче вести облік рахунків підрядників і платежів. Співробітники відділу прокату хочуть відслідковувати координати підрядників, зустрічі й замовлення. Відділ по роботі із клієнтами хоче знати, які проблеми виникали з певними підрядниками і як вони вирішувалися. Всі ці відділи не обов'язково хочуть використовувати дані разом з іншими відділами. Бухгалтерія, наприклад, не хоче, щоб хтось іншої мав доступ до даних про рахунки й плате-

жі. Відділ по роботі із клієнтами не хоче, щоб хтось у компанії знав списки передбачуваних клієнтів. Таким чином, відділи готові спільно використовувати тільки деякі дані, але не всі.

Рішення – створення бази даних як групи зв'язаних таблиць із серверним зберіганням даних. Це називається нормалізацією.

Нормалізація баз даних – процес зменшення надмірностей інформації в базі даних за допомогою поділу її на трохи зв'язаних один з одним таблиць і називається нормалізацією даних.

Природно, необхідні зв'язки між полями різних таблиць (відносини між таблицями).

Відносини між таблицями встановлюють зв'язок між даними, що перебувають у різних таблицях бази даних. Відносини між таблицями визначаються відношенням між групами об'єктів відповідного типу.

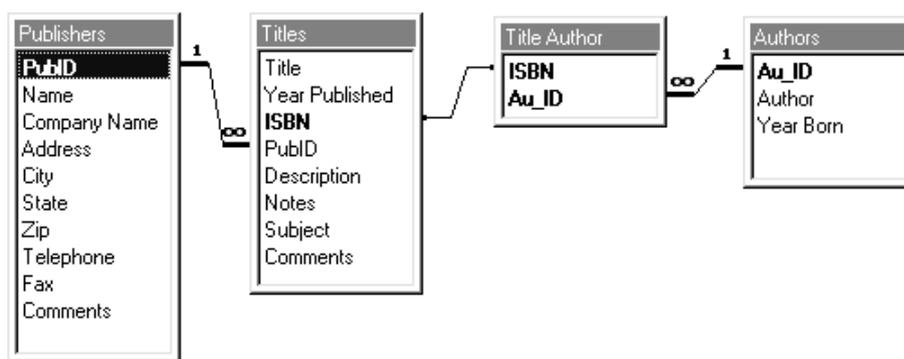


Рис.13.2 - Відносини між таблицями бази даних BIBLIO.MDB

Відношення один-до-одному - це означає, що кожний запис в одній таблиці відповідає тільки одному запису в іншій таблиці. Наприклад, в одній таблиці зберігаються назви верстата, його темплета, фото, креслення вузлів для проведення профілактики й ремонту, а в іншій назву верстата і його характеристики для вибору в технології. Тим самим відділ технологів і відділ експлуатації встаткування не вантажать до себе по мережі непотрібні відомості.

Відношення один-до-багатьох - наприклад відношення існує між верстатом і набором операцій на ньому.

Відношення багато-до-одному – наприклад відношення аналогічне відношення один-до-багатьох.

Відношення багато-до- багатьох. Для зручності роботи з таблицями, що мають відношення багато-до- багатьох, звичайно в базу даних додають ще одну таблицю, що перебуває у відношенні один-до- багатьох і багато-до-одному до відповідних таблиць.

Ключі. Термін *ключ* найчастіше є джерелом непорозуміннь, тому що він має різні значення на стадіях проектування й реалізації. У процесі проектування під ключем розуміється один або кілька стовпців, що однозначно визначають рядок відносини.

На стадії реалізації термін *ключ* використовується в іншому значенні. У більшості реляційних СУБД ключем називається стовпець, на базі якого СУБД формує індекс і інші структури даних. Це робиться для того, щоб забезпечити швидкий доступ до значень із даного стовпця. Ці ключі не зобов'язані бути унікальними, і найчастіше вони дійсно такими не є. Вони створюються тільки для підвищення швидкодії. Наприклад, в Access ці два поняття розрізняють термінами *ключ* і *поле* що індексуються.

Індекс Дані запам'ятовуються в таблиці в тім порядку, у якому вони вводяться користувачем. Це, так званий, фізичний порядок проходження записів. Однак, часто потрібно представити дані в іншому, відмінному від фізичного, порядку. Наприклад може знадобитися переглянути дані про верстати, упорядковані по розміру робочої зони. Крім того, часто необхідно знайти у великому обсязі інформації запис, що задовольняє певному критерію. Простий перебір записів при пошуку у великій таблиці може зажадати досить багато часу й тому буде неефективним. Ефективним засобом рішення цих завдань є використання **індексів**.

Індекс являє собою таблицю, що містить ключові значення для кожного запису в таблиці даних і записані в порядку, необхідному для користувача. Ключові значення визначаються на основі одного або декількох полів таблиці.

Кожна таблиця може мати кілька різних індексів, кожний з яких визначає свій власний порядок проходження записів.

При розробці додатків, що працюють із базами даних, найбільше широко використовуються **прості індекси**. Прості індекси використовують значення одного поля таблиці.

Функції СУБД

Керування даними в зовнішній пам'яті. Дана функція надає користувачам можливість виконання самих основних операцій, які здійснюються з даними, - це збереження, витяг й відновлення інформації. Вона містить у собі забезпечення необхідних структур зовнішньої пам'яті як для зберігання даних, що безпосередньо входять у БД, так і для службових цілей, наприклад для прискорення доступу до даних.

Керування транзакціями. Транзакція - це послідовність операцій над БД, розглянутих СУБД як єдине ціле. Транзакція являє собою набір дій, виконуваних з метою доступу або зміни вмісту бази даних. Прикладами простих транзакцій може служити додавання, відновлення або видалення в базі даних відомостей про якийсь об'єкт. Складна ж транзакція утвориться в тому випадку, коли в базу даних потрібно ввести відразу кілька змін. Ініціалізація транзакції може бути викликана окремим користувачем або прикладною програмою.

Відновлення бази даних. Одним з основних вимог до СУБД є надійність зберігання даних у зовнішній пам'яті. Під надійністю зберігання розуміється те, що СУБД повинна могла відновити останній погоджений стан БД після будь-якого апаратного або програмного збою. Звичайно розглядаються два можливих види апаратних збоїв:

- м'які збої, які можна трактувати як раптову зупинку роботи комп'ютера (наприклад, аварійне вимикання живлення);
- жорсткі збої, які характеризуються втратою інформації на носіях зовнішньої пам'яті.

Підтримка надійності зберігання даних у БД вимагає надлишковості зберігання даних, причому та частина даних, що використовується для відновлення, повинна зберігатися особливо надійно. Найпоширені-

шим методом підтримки такої надлишкової інформації є ведення журналу змін БД.

Підтримка мов БД. Для роботи з базами даних використовуються спеціальні мови. У сучасних СУБД звичайно підтримується єдина інтегрована мова, що містить всі необхідні засоби для роботи із БД, починаючи від її створення, і користувальницький інтерфейс, що забезпечує базовий, з базами даних. Стандартною мовою найпоширеніших у цей час реляційних СУБД є мова SQL (Structured Query Language - мова структурованих запитів). Мова SQL дозволяє визначати схему реляційної БД і маніпулювати даними.

Словник даних. Однією з основних ідей розглянутої вище трьохрівневу архітектури є наявність інтегрованого системного каталогу з даними про схеми, користувачів, додатки й т.д. Системний каталог, що ще називають словником даних, є, таким чином, сховищем інформації, що описує дані в базі даних. Передбачається, що каталог доступний як користувачам, так і функціям СУБД. Звичайно в словнику даних утримується наступна інформація:

- імена, типи й розміри елементів даних;
- імена зв'язків;
- , що накладаються на дані обмеження підтримки цілісності;
- імена користувачів, яким надане право доступу до даних;
- зовнішня, концептуальна й внутрішня схеми й відображення між ними;
- статистичні дані, наприклад частота транзакцій і лічильники звертань до об'єктів бази даних.

Керування паралельним доступом. Одна з основних цілей створення й використання СУБД полягає в тім, щоб безліч користувачів могло здійснювати паралельний доступ до спільно оброблюваних даних. Паралельний доступ порівняно просто організувати, якщо всі користувачі виконують тільки читання даних, оскільки в цьому випадку вони не можуть перешкодити один одному. Однак коли два або більше користувачі одночасно одержують доступ до бази даних, конфлікт із небажаними

наслідками легко може виникнути, наприклад, якщо хоча б один з них спробує оновити дані. СУБД повинна гарантувати, що при одночасному доступі до бази даних багатьох користувачів подібних конфліктів не відбудеться.

Керування буферами оперативної пам'яті. СУБД звичайно працюють із БД значного розміру. Зрозуміло, що якщо при звертанні до будь-якого елемента даних буде вироблятися обмін із зовнішньою пам'яттю, те вся система буде працювати зі швидкістю пристрою зовнішньої пам'яті. Практично єдиним способом реального збільшення цієї швидкості є буферизація даних в оперативній пам'яті. У розвинених СУБД підтримується власний набір буферів оперативної пам'яті із власною дисципліною заміни буферів.

Контроль доступу до даних. СУБД повинна мати механізм, що гарантує можливість доступу до бази даних тільки санкціонованих користувачів і захищаючий її від будь-якого несанкціонованого доступу. У сучасних СУБД підтримується один із двох широко розповсюджених підходів до питання забезпечення безпеки даних: вибірний підхід або обов'язковий підхід. У більшості сучасних систем передбачається вибірний підхід, при якому якийсь користувач має різні права при роботі з різними об'єктами. Значно рідше застосовується альтернативний, обов'язковий підхід, де кожному об'єкту даних привласнюється деякий класифікаційний рівень, а кожний користувач має деякий рівень допуску.

Підтримка цілісності даних. Термін цілісність використовується для опису коректності й несуперечності збережених у БД даних. Реалізація підтримки цілісності даних припускає, що СУБД повинна містити відомості про ті правила, які не можна порушувати при роботі з даними, і мати інструменти контролю за тим, щоб дані і їхньої зміни відповідали заданим правилам.

SQL-запити

Існує три способи доступу до реляційної бази даних. Один з них полягає в тому, щоб використовувати засоби для генерації форм і звітів, надавані

СУБД. Другий спосіб - використовувати мову запитів і перетворень; найбільш популярною мовою такого роду є SQL. Третій спосіб передбачає доступ через прикладні програми.

Запит - це звертання до БД для пошуку або зміни в базі дані інформації, що відповідає заданим критеріям.

SQL (англ. Structured Query Language - «мова структурованих запитів») - універсальна комп'ютерна мова, застосовувана для створення, модифікації й керування даними в реляційних базах даних.

Оскільки до початку 1980-х років існувало кілька варіантів СУБД від різних виробників, причому кожний з них мав власну реалізацію мови запитів, було ухвалене рішення розробити стандарт мови, що буде гарантувати переносимість ПО з однієї СУБД на іншу (за умови, що вони будуть підтримувати цей стандарт).

Оператори SQL діляться на:

- оператори визначення даних

---> CREATE створює об'єкт БД (саму базу, таблицю, подання, користувача й т.д.)

---> ALTER змінює об'єкт

---> DROP видаляє об'єкт

- оператори маніпуляції даними

---> SELECT зчитує дані, що задовольняють заданим умовам

---> INSERT додає нові дані

---> UPDATE змінює існуючі дані

---> DELETE видаляє дані

- оператори визначення доступу до даних

---> GRANT надає користувачеві (групі) дозволу на певні операції з об'єктом

---> REVOKE відзиває раніше видані дозволи

---> DENY задає заборону, що має пріоритет над дозволом

- оператори керування транзакціями (англ. *transaction*) - група послідовних операцій з базою даних, що являє собою логічну одиницю роботи з даними. Транзакція може бути виконана або цілком і успішно, дотримуючи ці-

лісності даних і незалежно від паралельно, що йдуть інших транзакцій, або не виконана взагалі й тоді вона не повинна зробити ніякого ефекту.

---> COMMIT застосовує транзакцію.

---> ROLLBACK відкочує всі зміни, зроблені в контексті поточної транзакції.

---> SAVEPOINT ділить транзакцію на більше дрібні ділянки.

Переваги:

- Незалежність від конкретної СУБД
- Наявність стандартів
- Декларативність - за допомогою SQL програміст описує тільки те, які дані потрібно витягти або модифікувати. Те, яким чином це зробити, вирішує СУБД безпосередньо при обробці SQL-Запиту.

Недоліки:

- Невідповідність реляційної моделі даних - мова допускає такі факти, як повторювані рядки, невизначені значення (nulls), колонки без ім'я й імена, що дублюються, колонок

- Складність - хоча SQL і задумувався як засіб роботи кінцевого користувача, зрештою він став настільки складним, що перетворився в інструмент програміста.

- Відступу від стандартів

- Складність роботи з ієрархічними структурами - раніше діалекти SQL більшості СУБД не пропонували способу маніпуляції деревоподібними структурами. Деякі постачальники СУБД пропонували свої рішення (наприклад, Oracle використовує вираження CONNECT BY).

Оскільки SQL не є звичною процедурною мовою програмування (тобто не надає засобів для побудови циклів, розгалужень і т.д.), що вводяться різними виробниками розширення стосувалися в першу чергу процедурних розширень. Тому з'явилися діалекти мови: InterBase, IBM DB2, MS SQL, MySQL, Oracle, PostgreSQL.

QBE-запитів

QBE (англ. Query by Example, запит за зразком) - спосіб створення запитів до бази даних, з використанням зразків значень полів у вигляді текстового рядка. Реалізації QBE перетворюють користувальницьке уведення у формальний запит до бази даних, що дозволяє користувачеві створювати складні запити без необхідності вивчати більше складні мови запитів, такі як SQL.

Даний метод відбору даних уперше запропонований Моше Злуфом (англ. Moshe M. Zloof), співробітником дослідницького центра IBM в 1970 році.

Експлуатаційною перевагою пошуку QBE є те, що для формування запиту не потрібно використовувати спеціалізовану мову запитів, синтаксис якого може бути складний і недоступний кінцевому користувачеві. Користувачеві виводиться вікно, у якому зазначені всі поля даних, що зустрічаються в кожному записі даних; введення інформації в конкретне пошукове поле обмежить пошук збігом (повним або частковим, залежно від домовленості реалізації) по даному полю. Перевірка умов здійснюється тільки по заповнених умовах на поля, а поля, умови на які зазначені не будуть, можуть відповідати чому завгодно. Багато практичних реалізацій QBE допускають також не тільки з'єднання умов у заповнених полях, але й інші варіанти з'єднання умов (наприклад, диз'юнкцію, заперечення, існування або не існування зв'язаних записів і інші). Найпростіший приклад реалізації QBE це система фільтрації по стовпцях в Excel.

Доступ до баз даних через запити

Запити. У базах даних початкового рівня SQL-Запити недоступні користувачеві. Замість них застосуються будівники запитів і скриптов.

Бувають запити

- на додавання,
- на видалення,
- на відновлення,
- на створення таблиці (вибірка).

Практично всі запити **параметричні**. Тобто мають Умова відбору запиту.

Перехресні запити — це запити, у яких відбувається статистична обробка даних, результати якої виводяться у вигляді таблиці, дуже схожої на зведену таблицю Excel. Перехресні запити мають наступні достоїнства:

- можливістю обробки значного обсягу даних і виводу їх у форматі, що дуже добре підходить для автоматичного створення графіків і діаграм;
- простотою й швидкістю розробки складних запитів з декількома рівнями деталізації.

Як приклад сформуємо два перехресних запити до бази даних "Інструмент ріжучий" для виводу щомісячних потреб у різних видах інструмента.

Доступ до бази даних через убудований інтерфейс

Інтерфейс бази даних це доступ через прикладні програми, написані на таких мовах програмування, як COBOL, BASIC, Perl, Pascal і C++. Крім того, деякі прикладні програми пишуться на убудовані у використовувані СУБД мовах. З таких мов програмування найбільшою популярністю користується dBASE.

Крім використання в обробці запитів, SQL застосовується як мова доступу до даних у прикладних програмах. У цьому режимі оператори SQL вбудовуються в програми й транслюються у виклики функцій попереднім компілятором. Тим самим зменшується кількість часу й грошей, необхідна на навчання персоналу, оскільки той самий мова може використовуватися як для запитів, так і для доступу до даних у прикладних програмах.

14. ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ПРОГРАМ КЛАСУ PDM/PLM

CALS-технології реалізуються силами багатопрофільних робочих груп, що поєднують у своєму складі **експертів різних спеціальностей**.

Загальна структура системи: сервер баз даних – сервер додатка – мережні додатки – кінцевий користувач.

Типи клієнтів PDM – товстий, тонкий (web), клієнт що вбудовується.

Система доступу заснована на ролі кожного працівника: конструктор, технолог, нормувальник, працівник архіву і.т.п.

Вони мають певні права доступу до об'єктів, документам і станам інформації про виріб:

- перегляд структури;
- читання;
- зміна;
- запис;
- призначення прав.

Права на об'єкт можна призначити групі, а можна окремим користувачам.

Так само можна призначити шаблон прав на знову створювані об'єкти. Наприклад, призначити, що при створенні нової технології автоматично на неї накладаються права запису технологам і повні права технологів, що створив.

Можна призначити автоматичну зміну прав доступу по певних подіях. Наприклад, при переведенні ТП в стан «Погоджений» автоматично давати йому права на читання майстрам ділянки й робітником.

Рівень доступу часто позначається значками - індикаторами доступу.

Спільний доступ. Може бути реалізований через:

- повне блокування на перегляд;
- блокування на запис;
- копіювання на машину клієнта й блокування на запис на сервері;
- інтерактивне блокування частини документа (звичайно не можуть бути реалізовані тільки засобами PDM, а й засобами самих програм - наприклад, спільна робота в Word).

Інформація про об'єкт. Атрибути - стандартні набори властивостей об'єкта. Часто заповнюються автоматично із властивостей самого файлу.

Картка об'єкта - набір властивості об'єкта,

Аналіз впливу - відображення зв'язків між об'єктами.

Схема документообігу підприємства. Основа системи Workflow. У схемі зазначені маршрути пересилання технічних і технологічних документів при одержанні ними певних статусів.

Актуальна на великих підприємствах і в крупносерійному або масовому виробництві. Зменшує гнучкість роботи підприємства, але в теж час повністю виключає помилки в узгодженні документів, що особливо важливо для рідко проведених документів.

Інтеграція в сторонні програми. PDM не може працювати сама по собі. Вона оперує даними, отриманими з інших програм. Відповідно, потрібна інтеграція. Вона може бути:

- повна - PDM програма завантажується у вигляді OLE-об'єкта або плагіна (надбудови) безпосередньо в сторонній програмі. Це підвищує зручність роботи, але створює труднощі в програмуванні і якості роботи сторонніх програм.

- часткова - PDM використовує тільки окрему бібліотеку DLL або повний «переглядач» файлів для одержання інформації з файлів з інженерними даними (креслень, технологій і т.п.) і/або контролю за відкриттям/закриттям інженерних програм.

- файлова - PDM керує тільки файлами і їхнім запуском.

Управління інженерними даними

Управління інженерними даними про виріб:

- Управління підготовкою виробництва.
- Управління составом виробу й документами.
- Управління змінами (повідомлення).
- Планування й колективна робота.
- Управління технічними даними.
- Управління конфігураціями виробів.
- Управління процесами й потоками робіт (Workflow).
- Управління зберіганням даних і електронним архівом.

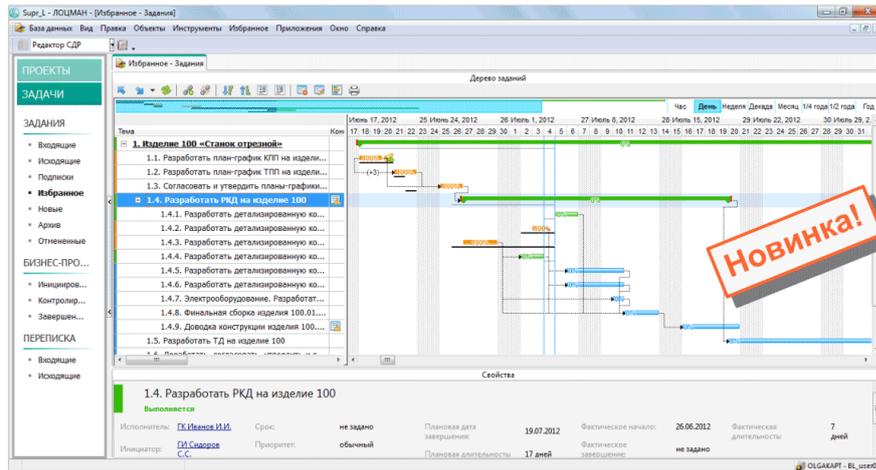


Рис. 14.1 - Интерфейс планирования работ инженерной разработки výroбу

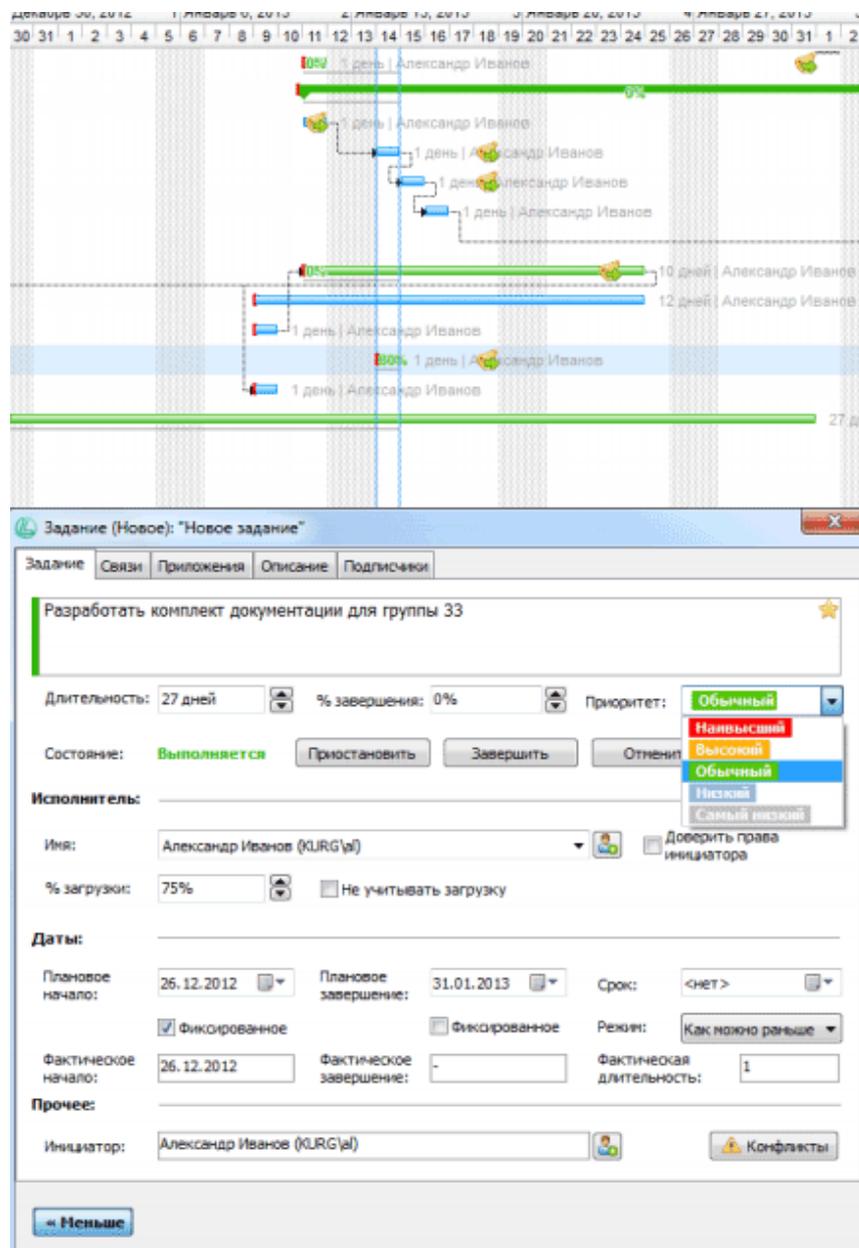


Рис. 14.1 - Приклад додавання завдання інженерної розробки výroбу

Система планування й управління підготовкою виробництва:

- Календарне планування процесів КТПВ у єдиному інтерфейсі.
- Управління й контроль виконання завдань.
- Оцінка поточного виконання робіт і коректування планів.
- Управління завантаженням виконавців.
- Сортування й фільтри завдань.
- Автоматичне перерахування планових строків завдань.

Кожне завдання додатково характеризується стадіями: нове, видано, виконується, припинено, виконано, архів, скасовано.

В основі завдань - ієрархічний перелік робіт (структура робіт, що декомпозиційні).

Взаємозв'язок завдань («закінчення - початок» «початок - початок»). Так само у всіх подібних системах використовуються: діаграма Ганта, календар, індикація конфліктів планування.

Управління составом виробу

Редактор структури виробу використовується для створення, перегляду, і зміни состава виробу. Редактор структури виробу дозволяє створювати єдину універсальну структуру, що складається із всіх компонентів, що застосовуються в різних виконаннях. Залежно від обраних умов структура може трансформуватися під будь-яке задане виконання виробу. Редактор структури виробу відображає структуру виробу в уніфікованому форматі багаторівневої (ієрархічної) структури, роблячи її простій і зручної для перегляду. Редактор структури виробу дозволяє переглядати існуючі графічні об'єкти, прив'язані до елемента структури, використовуючи убудовану систему візуалізації. Це дозволяє легко ідентифікувати компонент не тільки по його атрибутах або розташуванню в структурі, але й по його зовнішньому вигляді. Елементами відображення состава виробу в редакторі структури виробу завжди є версії (ревізії) того або іншого компонента.

Управління версіями

З погляду версії, редактор структури виробу дозволяє створювати два види структури:

- Точна - у ній беруть участь конкретні версії компонентів, що вказуються користувачем.
- Неточна - тут у структуру виробу входять самі компоненти, а конкретна його версія визначається в момент завантаження виробу, відповідно до обраного користувача правилом.

Правило діє на весь виріб. Таким чином, ми можемо одержувати різні варіанти структури виробу. Наприклад, як виглядав виріб, до проведення заданого повідомлення про зміну або побачити на яких стадіях проектування перебувають окремі елементи його состава (пройшли процедуру узгодження, розробляються) Програми надають можливість створювати свої й модифікувати існуючі, що поставляються із системою, правила відбору версій. Елементами цих правил можуть бути наступні умови:

- Остання робоча версія по даті модифікації, з можливістю вказівки власника або групи.
- Випущена версія, що відповідає певному статусу.
- Версія, що відповідає заданому діапазону дат актуалізації або серійному номеру виробу - критерій застосовності.

І багато інших критеріїв. Правило відбору версій, звичайно, складається з декількох елементарних правил, кожне з яких намагається вибрати модифікацію відповідно до заданого в ньому критерієм. Критерії застосовуються в порядку їхнього проходження. Деякі критерії можуть вказуватися неодноразово.

Розглянемо більш докладно критерій застосовності. Застосовність по даті дозволяє задавати припустимий діапазон дат заданої версії виробу. Причому, діапазон може бути як відкритим, без вказівки верхньої границі дії, так і закритим, із вказівкою обох границь.

Застосовність по номері дозволяє задавати припустимий діапазон серійних номерів екземплярів для заданої версії виробу. Воно завжди задається в контексті кінцевого виробу (наприклад, турбіна), до якого застосовуються

номери (наприклад, з 01 по 05 екземпляр турбіни). Можна задавати дискретні або безперервні діапазони.

Управління варіантами

Варіанти це інструмент управління виконаннями виробу. Дане завдання вирішується за допомогою накладення умов входження на компоненти складання. Принцип роботи: Створюються опції (наприклад, варіанти двигуна), визначаються припустимі значення для цих опцій (наприклад, бензиновий і дизельний). У складанні накладаються умови на входження елементів (наприклад завантажити якщо ...= або ...=...). Щоб сконфігурувати конкретний варіант складання або продукту, задається варіантне правило (група опцій і значень, наприклад, двигун = дизельний, капот = з воздухозаборником). Це правило можна зберегти в базі даних і використовувати пізніше. Щоб визначити значення опцій або неприпустимі комбінації, можна задати стандартні значення опцій (наприклад, Токарський верстат = прохідний різець) для варіантного правила й створити перевірки варіантного правила (наприклад, помилка, якщо «Токарський верстат = полірування» й «Різцедержак = штатний»).

15 ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ЛОЦМАН:PLM

Лоцман:PLM допомагає управляти інженерними даними й бізнес-процесами, щоб ви могли ефективно працювати над спільними проектами й приділяти більше часу інженерній творчості й створенню інноваційних виробів.

Система являє собою платформу із програмними інструментами для управління життєвим циклом виробу. Крім базових інструментів, до складу входить набір прикладних модулів для рішення завдань у більше спеціалізованих областях, а також веб-клієнт для вилученого доступу до даних через браузер.

Одне з основних завдань Лоцман:PLM - управління даними з урахуванням таких аспектів, як створення, розробка, управління, узгодження, затвердження й зберігання даних.

Дані являють собою обсяг різнобічної й при цьому взаємозалежній інформації про виріб на кожному з етапів його життєвого циклу. До цієї інформації ставляться конструкція виробу і його складених вузлів, характеристики, технологія проектування й виготовлення, документація й багато чого іншого. Повна сукупність такої інформації утворить електронний опис, що у підсумку є цифровим прототипом виробу.

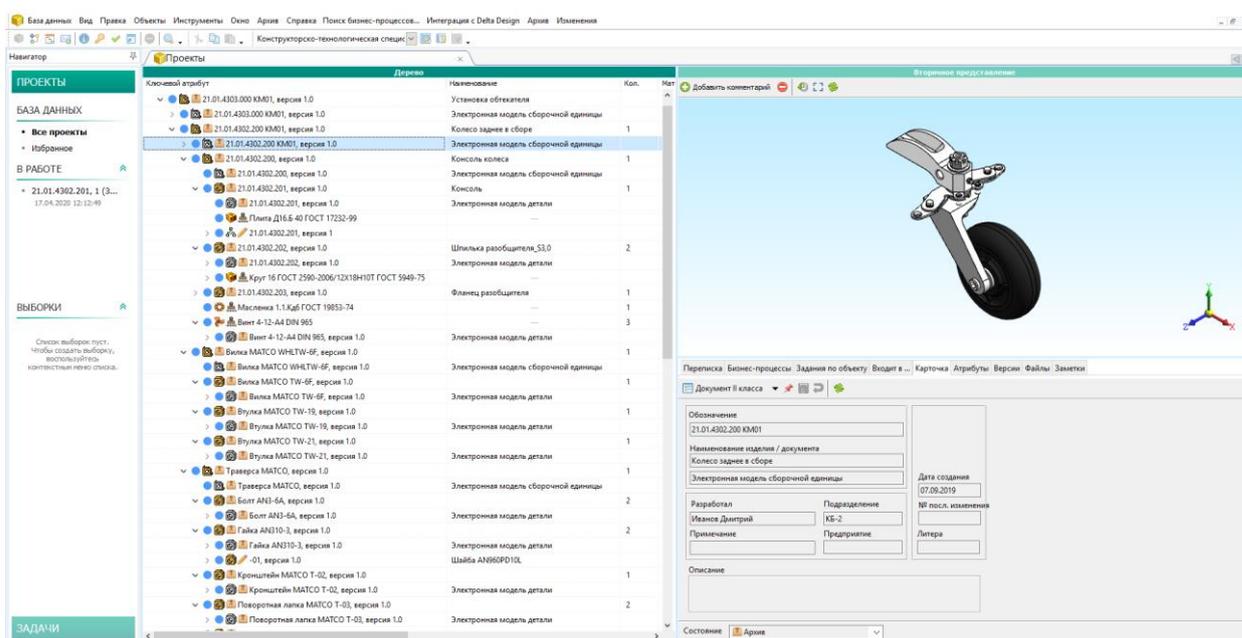


Рис. 15.1 - Управление данными

Управление структурой и конфигурациями виробу

Основой электронного опису виробу в Лоцман:PLM є електронна структура виробу (ЕСВ) - ієрархічно зв'язана сукупність інформаційних об'єктів різних типів, залежно від виду ЕСВ.

Наприклад, конструктивна електронна структура виробу представлена такими елементами, як складальні одиниці, комплекси, деталі, стандартні та інші вироби, комплекти. Технологічна ЕСВ додатково може містити в собі технологічні складання, за допомогою яких складові частини структуруються

тим або іншим способом з урахуванням особливостей виготовлення виробу (наприклад, послідовності складання).

Формування ЕСВ можливо як шляхом створення інформаційних об'єктів користувачем в інтерфейсі Лоцман:PLM, так і шляхом автоматичного їхнього створення на основі інформації з файлів САD-документів.

Механізми управління конфігураціями в Лоцман:PLM дозволяють створювати різноманітні структури виробу, крім при цьому необхідність опису кожного варіанта в повному обсязі, замість цього описуючи тільки відмінності (опції, заміни, варіанти).

У стандартах серії ЕСКД схожу роль грають виконання й виробничо-технологічні варіанти виготовлення виробів. Лоцман:PLM забезпечує підтримку виконань і виробничо-технологічних варіантів (так званих «припустимих замін») з урахуванням всіх вимог до їхнього запису в похідних документах (конструкторської специфікації, відомостях і ін.).

Управління вимогами

Машинобудівні вироби являють собою технічно складні пристрої, які на всіх стадіях життєвого циклу висувають різні вимоги. Це можуть бути як вимоги як до самого виробу і його складових частин, так і до процесів його проектування, виготовлення й використання. Наприклад, це можуть бути вимоги до експлуатації в різних ситуаціях, конструкції виробу, кліматичним умовам застосування, вартості, строкам проекту, обмеженням і інші.

У системі Лоцман:PLM є всі необхідні інструменти для рішення завдань у рамках управління вимогами. Функціонал системи дозволяє створювати й описувати як окремі вимоги до виробу, так і зв'язані структури із групами й підгрупами. Забезпечується зв'язок вимог зі структурою виробу й нормативних документів. Є присутнім підтримка узгодження й твердження вимог у рамках бізнес-процесів, а також управління даними при веденні випробувань виробу й інших перевірок.

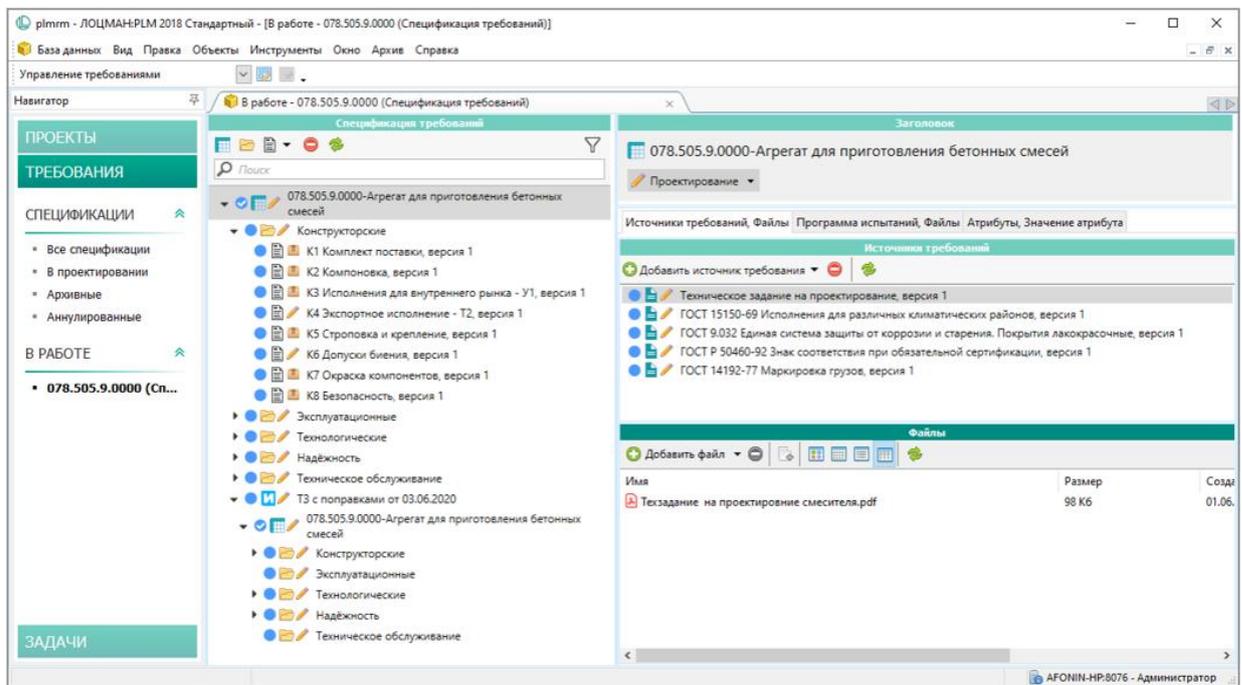


Рис. 15.2 - Управління вимогами

Планування й управління проектами

Інженерні процеси вимагають планування й контролю на постійній основі. Функціонал Лоцман:PLM дозволяє планувати й відслідковувати виконання як окремих завдань, так і їхніх сукупностей, згрупованих у плани робіт на рівні окремих фахівців, підрозділів, департаментів і всієї організації.

Система дозволяє сформуванню планів у вигляді структури взаємозалежних робіт, зв'язати завдання між собою, задати строки виконання, призначити виконавців, пріоритети. Відображення плану робіт можливо як у вигляді ієрархічної структури, так і у вигляді діаграм Ганта.

У процесі планування робіт система допоможе виявити різні конфлікти, наприклад, пов'язані з перевищенням планового завантаження над доступною кількістю ресурсів або конфлікти строків суміжних проектів.

Управління бізнес-процесами

Система забезпечує ефективне управління бізнес-процесами підприємства, дозволяючи кожному учасникові одержувати вихідні дані для роботи, фіксувати свої результати й передавати завдання іншим учасникам процесу.

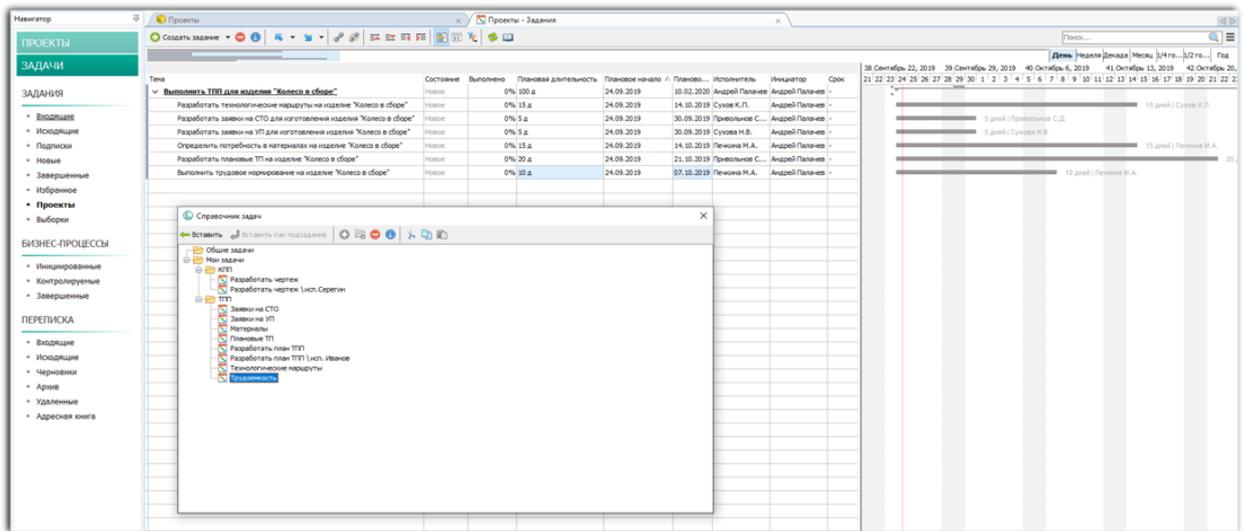


Рис. 15.3 - Планування

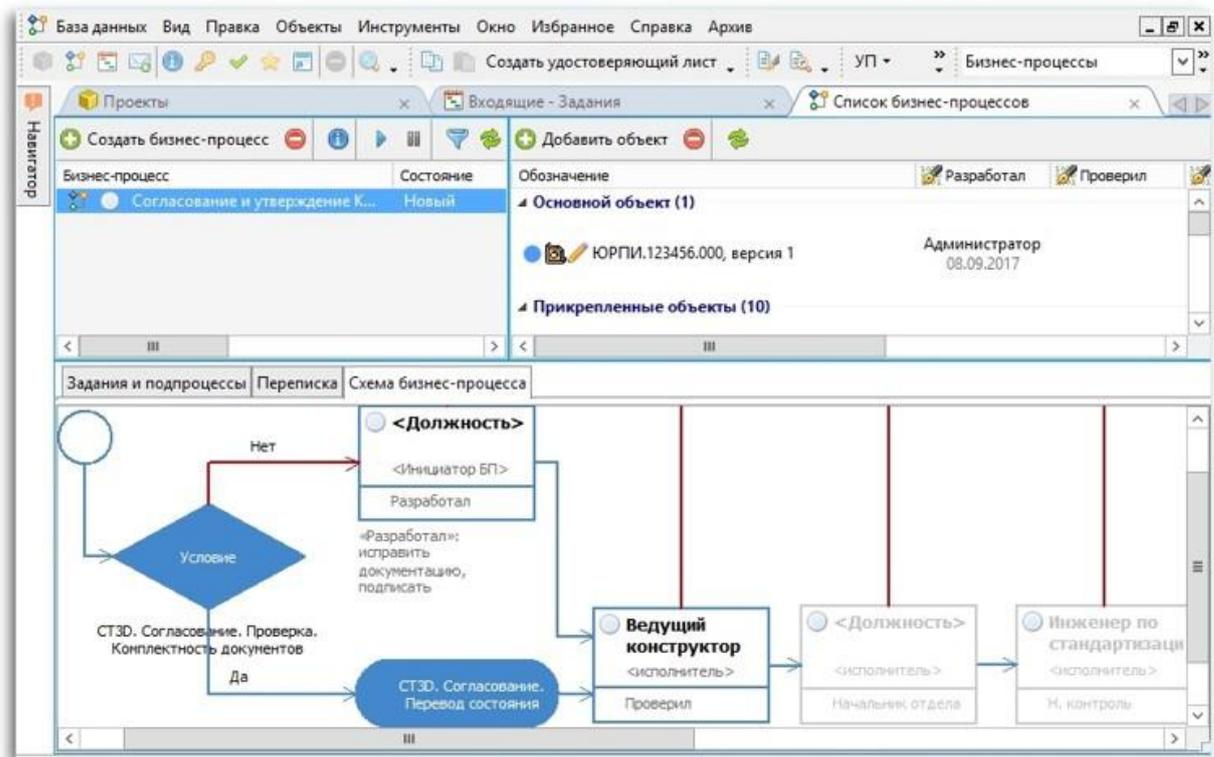


Рис. 15.4 - Бізнес-Процеси

Лоцман:PLM має всі необхідні інструменти для узгодження й твердження даних: електронні підписи, система обміну повідомленнями, версіями документації й інші засоби.

Інтеграція з іншими системами

Універсальні механізми інтеграції Лоцман:PLM дозволяють взаємодіяти системі як з рішеннями Аскон у рамках єдиного програмного комплексу, так і із продуктами інших розроблювачів.

Найбільш тісна інтеграція реалізована для систем Компас-3D, Вертикаль, Полином:MDM і інших рішень Аскон. У цих зв'язках механізми обміну інформацією реалізовані з урахуванням вимог вітчизняних стандартів (ЕСКД, ЕСТД).



Рис. 15.5 - Взаємодія з іншими модулями

Наприклад, в інтеграційних зв'язках між Лоцман:PLM і такими документами, як конструкторська специфікація, складальне креслення, електронна модель складальної одиниці враховуються вимоги ЕСКД по розміщенню позицій, оформленню зон на кресленнях, записі даних у різні розділи специфікації, запису припустимих замін і матеріалів замінників. Ці вимоги враховані таким чином, щоб у користувача не виникало необхідності повторно вводити дані в різні документи й у Лоцман:PLM.

Лоцман:PLM Повідомлення

Прикладний модуль Лоцман:PLM Повідомлення призначений для управління змінами конструкторської, технологічної й іншої документації.

Проведення змін здійснюється двома способами:

- шляхом випуску й затвердження повідомлення про зміну
- шляхом реєстрації й затвердження змін у журналі змін

За допомогою модуля Лоцман:PLM Повідомлення користувач може:

- ініціювати зміну документа або даних і внести обов'язкові відомості про зміну, передбачені ДСТ 2.503-2013;
- сформувати бланк повідомлення про зміну в КОМПАС-3D по заздалегідь заданому шаблону, наприклад за формою, передбаченої ДСТ 2.503-2013;
- зрівняти версії составів виробу для реєстрації змін по журналі змін.

Після затвердження повідомлення й властиво змінених документів і даних співробітник служби архіву (бюро технічної документації) виконує їхню реєстрацію й запускає процедуру проведення зміни, у ході якої нові версії інформаційних об'єктів і відповідних їм електронних документів стають актуальними для всіх користувачів Лоцман:PLM. Попередні версії так само зберігаються в базі даних.

Підтримуються наступні види повідомлень:

- повідомлення про зміну;
- попереднє повідомлення;
- додаткове повідомлення;
- додаткове попереднє повідомлення;
- пропозиція про зміну.

Лоцман:PLM Веб-клієнт

Веб-клієнт забезпечує доступ до інформації в Лоцман:PLM без використання клієнтського додатка. Доступ здійснюється через Інтернет, або лока-

льну мережу з використанням браузера на робочій станції, ноутбуці, планшеті або смартфоні.

Веб-клієнт має наступні можливості:

- читання інформації, включаючи об'єкти, атрибути, зв'язки, версії, стани, файли документів, вторинне подання;
- збереження файлів на пристрій користувача (робоча станція, планшет, смартфон), у тому числі набір файлів 3D-моделі складання виробу;
- налаштування фреймів інтерфейсу (состав і розташування інформації, розміри вкладок і вікон);
- прив'язка налаштувань інтерфейсу до профілів користувачів Лоцман:PLM.

Продукт являє собою додаток ASP.Net, що функціонує на веб-сервері IIS - Microsoft Internet Information Services і працює з обліковими записами SQL.

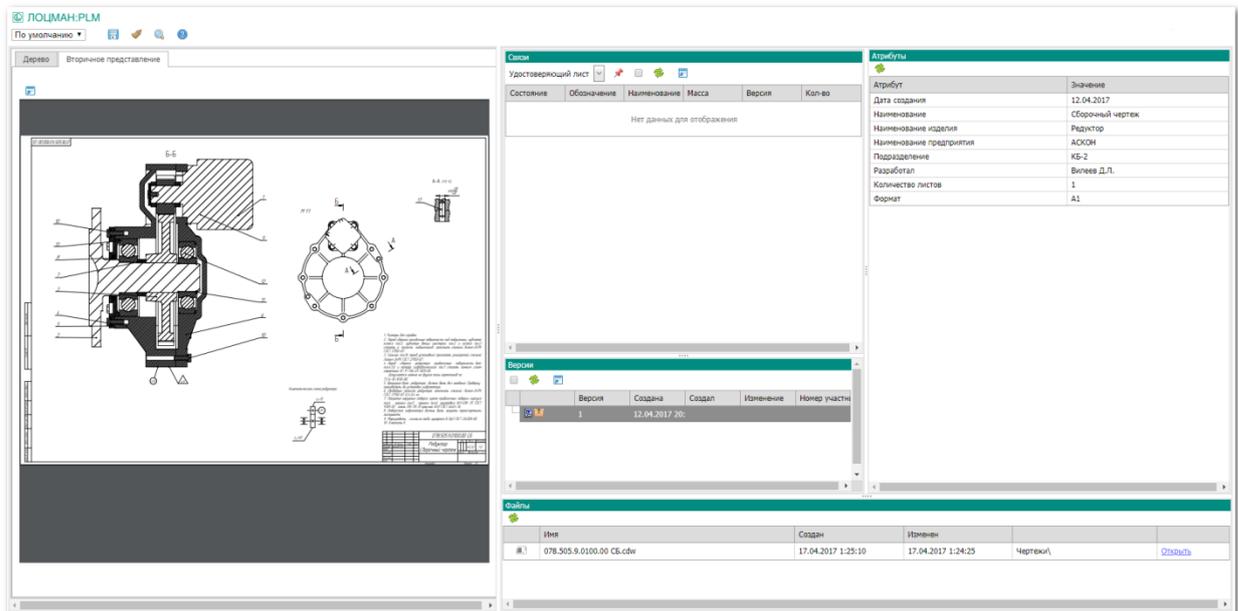


Рис. 15.6 - Web-інтерфейс Лоцмана:PLM

Цільові користувачі Веб-клієнта Лоцман:PLM

- Виробничі служби.
- Фахівці виробничих служб, майстри, робітники.

- Сервісні й експлуатаційні служби.
- Фахівці сервісних центрів і персонал на місцях тестування й експлуатації виробів.
- Монтажні служби.
- Фахівці, що здійснюють поставку й монтаж виготовленого устаткування.
- Керівництво.
- Керівники підприємства й підрозділів - на робочих місцях і в ділових поїздках.
- Маркетингові підрозділи.
- Менеджери по продажах устаткування, що здійснюють демонстрацію продуктів клієнтам.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ПО КУРСУ

1. АСТПВ в сучасному промисловому підприємстві. Принципи АСТПВ
2. Методи проектування технологічних завдань. Компоненти САПР
3. Формати зберігання технологічних процесів в комп'ютері: таблична модель технологічного процесу
4. Формати зберігання технологічних процесів в комп'ютері: мережева модель технологічного процесу
5. Формати зберігання технологічних процесів в комп'ютері: перестановочна модель технологічного процесу
6. Класифікація комп'ютерних програм АСТПВ
7. Три концепції впровадження АСТПВ в промисловому підприємстві
8. Класифікація методів проектування ТП : група алгоритмів на основі алгоритмічного аналізу типових і групових техпроцесів
9. Класифікація методів проектування ТП : група алгоритмів на основі перетворення техпроцесів-аналогів
10. Класифікація методів проектування ТП : група алгоритмів на основі ітераційних методів синтезу
11. Алгоритми параметричного налаштування технологічного процесу
12. Кодування конструктивно-технологічних ознак і синтез ТП по узагальнених технологічних процесах
13. Узагальнені технологічні процеси
14. Комплексна таблиця рішень
15. Таблиці рішень з обмеженими входами
16. Таблиці рішень з розширеними входами
17. Оцінка типу виробництва на основі конструктивної складності деталі
18. Оцінка штучно-калькуляційного часу при побудові ТП на основі ухвалення оптимальних рішень
19. Розробка технологічного процесу за допомогою генетичних алгоритмів
20. CALS- технології
21. Життєвий цикл виробу

22. Класи програмного забезпечення, що підтримує життєвий цикл виробів машинобудування
23. Реляційна модель даних в системах PDM
24. Функції систем управління базами даних
25. Основні функції програм класу PDM/PLM
26. Основні модулі системи СПРУТ ОКП і їх опис
27. Планування асортименту продукції : чотири типи проектів; виявлення можливостей для потенційних проектів
28. Планування асортименту продукції : оцінка і визначення пріоритетів проекту

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / В.Н. Капустин, Н.М. Корсаков, К.Х. Темпельгоф и др. - М.: Машиностроение, 1985. - 304 с.
2. Берлин Э.М. САПР в машиностроении : учебник для вузов / Э.М. Берлинер, О.В. Таратынов. - М.: Форум, 2008. - 448 с.: ил.
3. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 360 с.
4. САПР технологических процессов / Кондаков А.И. – М.:Академия – 2007. – 267 С.
5. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Рыжов Э.В., Аверченков В.И. – Киев, Наук. думка, 1989. - 192 с.
6. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении / Черепашков А.А., Носов Н.В. – Самара: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2009. — 640 с.
7. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении / Под общ. ред. Р.А. Аллика -М.: Машиностроение, 1986. - 319 с.
8. Бровкава М.Б. Системы искусственного интеллекта в машиностроении: Учеб. пособие. Саратов: Саратов.гос.техн.ун-т, 2004. – 119с.
9. Зиндер Е.З. Бизнес-реинжиниринг и технологии системного проектирования. Учебное пособие. М., Центр Информационных Технологий, 1996.
10. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В. Г., Павлов В.В., Рыбаков А.В. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии - М.:Наука, 2003, 292 с.
11. Зильбербург Л.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении / Зильбербург Л.И. Молочник В.И. Яблочников Е.И. / СПб: "Компьютербург", 2003. - 152 с.
12. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / Е.В. Судов, А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова - М.: ООО Издательский дом "ИнформБюро", 2006. - 232 с.
13. Кузьмик П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 320с.
14. Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами / Г.Н. Смилянский, Л.З. Амлинский, В.Я. Баранов и др. М.: Машиностроение, 1983 - 527 с.
15. Марка Д.А., Мак Гоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. М., "МетаТехнология", 1993.
16. Ульих Карл Промышленный дизайн: создание и производство продукта / Карл Ульих, Стивен Эппингер; пер. с англ. – Москва: Вершина, 2007. – 448с.

17. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С.П. Митрофанова, Д.Д. Куликов, О.Н. Миляев, Б.Д. Погудин -Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1987 352 с.

Додаткова:

18. Грувер М. САПР и автоматизация производства / М. Грувер, Э. Зиммерс; пер. с англ. О.О. Белоусова и др.; под ред. Е.К. Масловского. - М. : Мир, 1987. - 528с. : ил.
19. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении /Под ред. Г.К. Горанского. – М.: Машиностроение, 1976. – 240 с.
20. Вендров А.М. CASE–технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. –М.: Финансы и статистика,1998.– 176с.
21. Энгельке У.Д. Как интегрировать САПР и АСТПВ: Управление и технология / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1990. –320 с.
22. Гавриш А.П. Автоматизация технологической подготовки производства, Киев: Техніка, 1982,-215 с.
23. Хайрнасов К.З. Применение стандартов, норм и правил при создании конструкторской, технологической и программной документации / Хайрнасов К.З., Сокольский М.Л. / М.: МАИ – 2002 – 104с.
24. Системное проектирование интегрированных АСУ ГПС машиностроения /Ю.М. Соломенцев, В.А. Исаченко, В.Я. Полыскалин и др. ; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева и др. - М. : Машиностроение, 1988. - 487с. : ил.

Інформаційні ресурси:

25. Журнал "САПР и графика" – Режим доступа <http://www.sapr.ru/>
26. САПР технологии и управление производства ТехноПро – Режим доступа <http://www.tehnopro.com/>
27. Система автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ – Режим доступа <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=8&prpid=420>
28. Форум САПР2000: САПР ТП – Режим доступа <http://cccp3d.ru/forum/45-sapr-tp/>

Для підвищення технічної ерудиції:

29. Лайкер Джеффри Системы разработки продукции в Toyota: Люди, процессы, технология / Лайкер Джеффри, Джеймс Морган; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Бук, 2007. – 440с.
30. Комисаренко Л.Е. Начальные обороты. Заметки конструктора-серийщика. Издание 2. 2017г. – Режим доступа <https://club.berkovich-zametki.com/?p=29220>