

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

"Основи САПР в автомобілебудуванні"

для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),
усіх форм навчання

Частина 2 - змістовий модуль 2.

Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР.
ЧПУ. Швидке виготовлення прототипів.
Віртуальна інженерія.

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 2 - змістовий модуль 2. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР. ЧПУ. Швидке виготовлення прототипів. Віртуальна інженерія / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 82 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 8
від « 22 » лютого 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 72
від « 15 » березня 2019.

ЗМІСТ

Вступ	86
Тематичний план лекційних занять	88
Лекція № 6. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР	90
Лекція № 7. Інтеграція CAD і САМ систем	107
Лекція № 8. Числове програмне управління	119
Лекція № 9. Швидке виготовлення прототипів	134
Лекція № 10. Віртуальна інженерія	144
Рекомендована література	163
Основна	163
Додаткова	163
Інформаційні ресурси	164

ВСТУП

Дисципліна "Основи САПР в автомобілебудуванні" має визначальне значення у вирішенні задачі підвищення якості й ефективності праці інженера-конструктора на основі застосування методології і технічних засобів автоматизованого проектування.

Автоматизація проектування займає особливе місце серед інформаційних технологій. По-перше, автоматизація проектування - синтетична дисципліна, її складовими частинами є багато інших сучасних інформаційних технологій.

Так, технічне забезпечення систем автоматизованого проектування (САПР) засноване на використанні обчислювальних мереж і телекомунікаційних технологій. У САПР використовуються персональні комп'ютери й робочі станції, є приклади застосування мейнфреймів.

Математичне забезпечення САПР відрізняється різноманітністю використовуваних методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту.

Програмні комплекси САПР відносяться до числа найбільш складних сучасних програмних систем, заснованих на операційних системах Unix, Windows, мовах програмування C, C++, Java та інших, сучасних CASE-Технологіях, реляційних і об'єктно-орієнтованих системах управління базами даних (СУБД), стандартах відкритих систем і обміну даними в комп'ютерних середовищах.

По-друге, знання основ автоматизації проектування та вміння працювати із засобами САПР потрібно практично будь-якому інженеру-розробнику. Комп'ютерами насичені проектні підрозділи, конструкторські бюро й офіси.

Робота конструктора за звичайним кульманом, розрахунки за допомогою логарифмічної лінійки, або оформлення звіту на друкарській машинці, сьогодні вже стали анахронізмом і назавжди відійшли в минуле.

Підприємства, що ведуть розробки без САПР, або лише з малим ступенем їх використання - виявляються неконкурентоспроможними як внаслідок більших матеріальних і тимчасових витрат на проектування, так і через невисоку якість самих проектів.

Після закінчення вивчення дисципліни "Основи САПР в авто-

мобілебудуванні", студент повинен **знати:**

- склад, структуру й основні принципи побудови САПР;
- методику розробки моделей об'єктів проектування;
- способи представлення графічної інформації на ЕОМ;
- методологію вирішення задач оптимізації на ЕОМ.

вміти:

- спілкуватися з машиною в режимі діалогу;
- користуватися наявними програмними засобами;
- проводити алгоритмізацію розрахунків основних агрегатів автомобіля;
- аналізувати отриману інформацію.

володіти:

- навичками роботи в системах автоматизованого проектування, оформлення й представлення результатів роботи;
- демонструвати здатність і готовність застосовувати отримані знання на практиці.

Матеріал, викладений у даному конспекті лекцій, надає студентам необхідну інформацію з кожного з розділів навчальної програми курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні", і допоможе студентам досягти необхідного рівня знань, практичних навичок та умінь.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 20 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" складається з двох частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" для студентів за напрямом підготовки 6.05050305 – "Машинобудування", спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 19 с.

Нижче наведено назву другого змістового модуля дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні", найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції. Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції.

Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу. Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки.

Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання. / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 62 с.

Змістовий модуль 2. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР. ЧПУ. Швидке виготовлення прототипів. Віртуальна інженерія.

Тема 6. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР (2 год.)

Мови програмування. Мови проектування. Меню й шаблони. Технічне забезпечення САПР. Загальний устрій і основні характеристики ЕОМ. Периферійні пристрої ЕОМ: пристрої вводу-виводу інформації, плоттери, сканери, дисплеї.

Тема 7. Інтеграція CAD і CAM (2 год.)

Виробничий цикл деталі. Технологічна підготовка виробництва. Неавтоматизований підхід. Модифікований підхід. Генеративний підхід. Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва. Групова технологія. Системи керування даними про продукти.

Тема 8. Числове програмне управління (2 год.)

Виникнення ЧПУ. Апаратна конфігурація верстата з ЧПУ. Типи систем ЧПУ. Системи NC, CNC, DNC. Системи координат верстатів. Синтаксис програми обробки. Автоматизоване та ручне складання програм ЧПУ. Програмування обробки по базі CAD.

Тема 9. Швидке виготовлення прототипів(2 год.)

Появлення систем твердотілого моделювання та їх відмінність від ЧПУ. Основні принципи та різновиди сучасних технологій швидкого виготовлення прототипів.

Тема 10. Віртуальна інженерія (2 год.)

Визначення та компоненти віртуальної інженерії. Віртуальне виробництво. Віртуальне проектування. Цифрова імітація. Віртуальне прототипування. Віртуальний завод. Застосування віртуальної інженерії. Дослідницькі проблеми і обмеження віртуальної інженерії.

ЛЕКЦІЯ № 6. ЛІНГВІСТИЧНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

План лекції. Мови програмування. Мови проектування. Меню й шаблони. Технічне забезпечення САПР. Загальний устрій і основні характеристики ЕОМ. Периферійні пристрої ЕОМ: пристрої вводу-виводу інформації, плоттери, сканери, дисплеї.

Література: [1], с.67-89; [2], с.34-50; [3], с. 111-114, 132-175; [5], с.353-386.

Лінгвістичне забезпечення САПР - це набір мов, для представлення інформації, якої обмінюється людина з ЕОМ у процесі автоматизованого проектування. Мови САПР діляться на мови програмування й проектування.

Мови програмування - це мови, призначені для написання програмного забезпечення. Ці мови - засіб розроблювача САПР. До мов програмування висувають вимоги зручності використання, універсальності й ефективності об'єктних програм (тобто програм, отриманих після трансляції на машинну мову).

Зручність використання виражається у витратах часу програміста на освоєння мови й головним чином на написання програм на цій мові. *Універсальність* визначається можливостями мови для опису різноманітних алгоритмів, характерних для програмного забезпечення САПР, а *ефективність об'єктних програм* - властивостями використовуваного транслятора, які, у свою чергу, залежать від властивостей мови. Ефективність оцінюється витратами машинних часу й пам'яті на виконання програм.

З позицій універсальності й ефективності об'єктних програм, найкращі властивості мають машинно-орієнтовані мови. Близькість до машинних мов (мов машинних команд), обумовлює простоту й ефективність трансляторів на машинну мову.

Машинно-орієнтовані мови - це *Асемблер* або *Макроасемблер*. Асемблер - це проста мова програмування, мова низького рівня, у якому команди ЕОМ складаються, хоча й кожна окремо, але в спрощеній формі із символічних слів. Макроасемблер - це модифікація Асемблера, яка забезпечує об'єднання часто використовуваних елемен-

нтарних команд. Однак мова Асемблер незручна для людини, її використання знижує продуктивність праці програмістів. Тому її застосовують для розробки лише тих модулів програмного забезпечення САПР, які вимагають для свого виконання великих обчислювальних ресурсів, що суттєво впливає на загальні витрати машинних часу й пам'яті.

Програми, написані на мовах високого рівня, компілюються на машинну мову. Виконання такої програми на ЕОМ відбувається повільніше, чим програми, написані мовою низького рівня, доступ програміста до специфічних можливостей ЕОМ також обмежений. Зате полегшує й прискорюється складання програм, і вони принципово переносяться на різні типи ЕОМ.

Серед алгоритмічних мов високого рівня, створених на ранніх етапах розвитку обчислювальної техніки (перша версія мови створена в 1954 р.), найбільше поширення одержала мова ФОРТРАН. Її порівняльна простота обумовлює легкість освоєння й достатньо високу ефективність об'єктних програм при розв'язку завдань чисельного аналізу. Мова ФОРТРАН широко використовувалася в САПР, особливо розроблених в 70-і роки ХХ ст., завдяки простоті розробки ефективних трансляторів.

Однак мова ФОРТРАН має обмежені можливості для опису складних алгоритмів логічного характеру, у ній немає засобів для зручного опису різноманітних структур даних, немає строгого опису мови. Тому при створенні таких програм, як монітори або мови високого рівня з більш розвиненими можливостями опису не обчислювальних процедур. До таких мов відносяться ПЛ/1, ПАСКАЛЬ, АДА, С (вимовляється Сі), ЛІСП (LISP), Автолісп (Autolisp).

Мова С є одною з основних мов програмування в САПР. Вона поєднує риси мов високого рівня й мови Асемблер, що робить зручною її застосування при розробці системного програмного забезпечення. Мова С залишається машинно-незалежною і, отже, забезпечує створення мобільних (таких що переносяться) програм.

Мова ПАСКАЛЬ також відноситься до основних мов для написання прикладного програмного забезпечення. Позитивні властивості цієї мови - розвинені засоби для написання добре структурованих програм, для представлення різних типів структур даних, вдала комбінація простоти й строгості в описі мови.

Мова Basic одержала новий розвиток у версії Visual Basic, завдяки цьому її активно використовують не тільки при написанні прикладних програм для інтегрування з різноманітними додатками Windows, але й також використовують у САПР.

Мова ЛІСП - це мова високого рівня, орієнтована на обробку списків. Ця мова обрана в якості базової для Autocad тому, що графічні примітиви, блоки, набори примітивів зручно представляти у вигляді списків.

У складі системи Autocad поставляється інтерпретатор мови Автолісп. Він завантажується в оперативну пам'ять разом із завантаженням Autocada й доступний протягом усього сеансу редагування. Таким чином, графічний редактор Autocad і інтерпретатор Автоліспа являють собою єдину систему. Будь-яка функція Автоліспа може бути викликана із графічного редактора, й будь-яка команда редактора може бути використана в програмі на Автоліспі.

Подальшим кроком у створенні мов є мови користувача, у яких ще глибше розвинені ідеї мов високого рівня, для того, щоб ще в більший мірі орієнтувати їх на певну проблему (предметну область). Швидкодія й гнучкість таких програм невелика. Але при цьому зменшується трудомісткість програмування.

У цей час у зв'язку з бурхливим розвитком мережних технологій у якості однієї з основних мов у САПР використовують мову Java. Перевага цієї мови полягає в тому, що "одного разу написана програма виконується скрізь", уможливило обмін додатками й інженерними моделями між додатками, платформами й операційними системами через Internet. Іншими словами, Java-додаток не потрібно перекомпілювати для різних операційних систем. Крім того, завдяки Java розроблявачі зможуть використовувати стандартні інструменти розробки, а також інтегрувати інженерні додатки з іншими Java-додатками в області корпоративних інформаційних технологій.

Також у цей час спостерігається перехід від використання універсальних мов програмування типу C, Паскаля і т.п., що довели свої можливості при розв'язку математичних завдань, до спеціальних об'єктно-орієнтованих мов. При цьому форма представлення знань у таких мовах, максимально приближена до традиційної мови в прикладній області. Тому запис і розв'язок завдань на таких мовах вже доступний не тільки програмістові, але й фахівцеві прикладної області, здатному працювати із засобами обчислювальної техніки.

Мови проектування. *Мови проектування* – це мови, призначені для опису інформації про об'єкти й завдання проектування. Більшість цих мов відноситься до засобів користувача САПР.

Серед мов проектування виділяють мови вхідні, вихідні, керування, проміжні й внутрішні, командні.

Вхідні мови служать для завдання вихідної інформації про об'єкти й завдання проектування, містять у собі *мови опису об'єктів* і *мови опису завдань*. Перші служать для опису властивостей проєктованих об'єктів, а другі - для опису завдань на виконання проектних операцій і процедур.

Мови опису об'єктів, у свою чергу діляться на мови схемні, графічні й моделювання. Ці мови використовуються для опису вихідної інформації, представлені у вигляді, відповідно, деякої схеми, конструкторського креслення, алгоритму функціонування.

Схемні мови широко застосовують при описі принципів гідравлічних, пневматичних схем при проектуванні пневмогідравлічного встаткування, принципів електричних схем у підсистемах проектування електронних пристроїв, функціональних схем - у підсистемах функціонально-логічного проектування ЕОМ.

Графічні мови - використовують у підсистемах геометричного моделювання й машинної графіки. *Мови моделювання* розвинені в підсистемах імітаційного моделювання.

Вихідні мови використовуються для вираження результатів виконання проектних процедур на ЕОМ.

Мови керування служать для представлення керуючої інформації для програмно-керованого виконавчого устаткування, наприклад, пристроїв документування й технологічних автоматів.

Проміжні й внутрішні мови призначені для представлення інформації на певних стадіях її переробки в ЕОМ. Перевага цих мов у тому, що на відміну від вхідних мов, що характеризуються більшою різноманітністю, вузькою проблемною орієнтацією й мінливістю при адаптації САПР до мінливих умов, вони є уніфікованими й більш універсальними.

Користувач складає опис вхідною мовою, цей опис за допомогою спеціальної транслуючої програми, *називаної конвертором*, переводиться на проміжну мову. Далі працює основний транслятор, що переводить опис завдання із проміжної мови в об'єктну робочу програму. Для включення в систему нової вхідної мови досить розробити

тільки конвертор із цієї мови на проміжну мову.

Командна мова. Командні мови (директивні)- це спеціальні штучні мови, які забезпечують однозначне для ЕОМ введення команд. Ця мова складається зі словника (запасу слів) і граматики. Словниковий запас складений або із природньої мови (німецької, англійської, російської та ін.), або зі скорочень (звичайно із символів або спеціальних знаків).

Приклад:

а) повні слова: ВИКОНАТИ ПРЯМУ МІЖ ТОЧКАМИ;

б) скорочення: У П М Т.

Форма (а) легко засвоюється, форма (б) має малий обсяг використання. Більш важливою, ніж словниковий запас, є граматика мови, яка встановлює порядок проходження командних слів і знаків у реченні.

Командні мови мають наступні недоліки: введення пов'язане з безліччю натискань на клавіші; не виключена ймовірність друкарських помилок (помилкових натискань); комбінаційні можливості язикових елементів, пов'язані з витратою часу на їхнє вивчення, часто забуваються через відносно рідке застосування й залишаються нереалізованими.

Для усунення перерахованих недоліків у САПР до командних мов ухвалюється ряд додаткових заходів, пов'язаних зі збільшенням обсягу обробки, наприклад:

- допускаються скорочення слів у команді;
- допоміжна функція (наприклад, знак питання вказує (підказує) комбінаційні можливості;
- опис команди, який у готовому виді зберігається в пам'яті ЕОМ, виводиться на екран і являє собою необхідні пояснення про можливості застосування.

Меню й шаблони. Меню й шаблони є різновидом командної мови. Дані мови ставляться до найпоширеніших способів діалогової взаємодії із прикладними програмами САПР. За допомогою "меню" користувач управляє виконанням проектної процедури, вибираючи необхідну функцію з перерахованих в "меню".

Розрізняють два типи меню: динамічне, яке по своїй структурі наочним образом веде користувача до команди, і планшетне, яке в більшості випадків являє собою доповнення до вхідної мови або до динамічного меню.

При використанні динамічного меню САПР представляє на екрані дисплея набір можливостей (саме меню). Деякі елементи меню можуть бути виконані у вигляді піктограм. Після вибору однієї з можливостей зображена сторінка зникає з екрана й на її місці з'являється відповідне підменю. Знову здійснюється вибір і так триває доти, поки команда не заповниться всіма даними й не стане здійсненою (рис. 6.1).

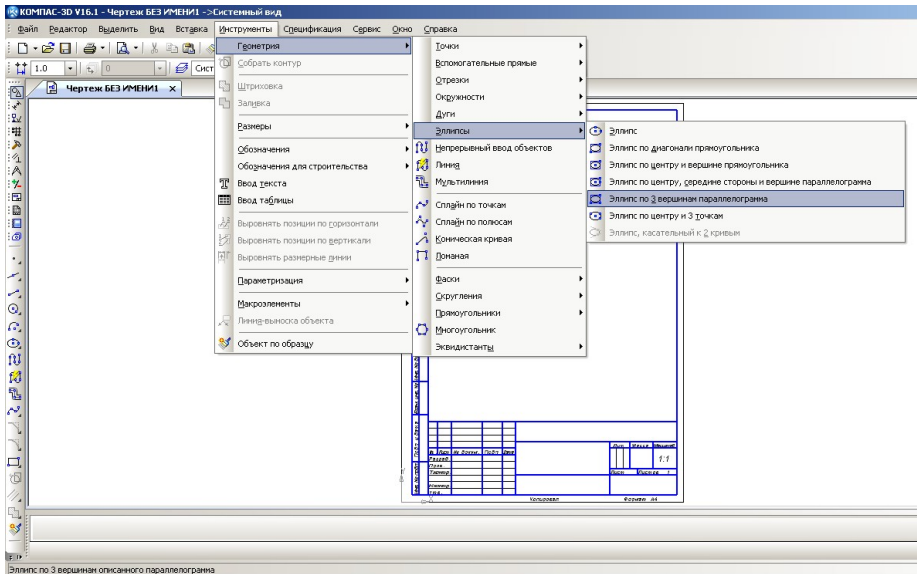


Рисунок 6.1 - Организация креслярско-графического окружения за допомогою динамічного меню, на прикладі системи Компас

Планшетне меню дозволяє виконувати введення цифр, слів або цілих команд допомогою електронного олівця з полів планшета. Планшет розділений на окремі поля, які можуть заповнюватися необхідними складовими частинами вхідної мови, цифрами або відповідно словами динамічного меню.

При створенні креслення елементи типу вирізів, пазів, генеровані в системі, можуть бути представлені в слайдовому меню.

Шаблон називається спеціально організований кадр зображення, виведеного на екран дисплея, що містить тексти запитів до користувача й спеціальні поля й пояснювальні написи до них, призначе-

ні для занесення туди відповідей користувача у вигляді текстів або чисел.

Організація взаємодії тільки з використанням "меню" і "шаблонів" не має достатню гнучкість, тому даний спосіб взаємодії застосовується, як правило, разом з командними мовами. На рис. 6.2 наведений приклад організації інтерфейсу й керування процесом креслення за допомогою динамічного меню. Поряд з меню в цій графічній системі активно застосовується й командна мова, для цього внизу панелі є командний рядок.



Рисунок 6.2 - Використання шаблону для вибору параметрів підшипника

Технічне забезпечення САПР. Загальний устрій і основні характеристики ЕОМ.

Основні технічні параметри ЕОМ. До основних технічних параметрів ЕОМ відносять тактову частоту процесора, розрядність машинного слова, продуктивність, ємність оперативного запам'ятовувального пристрою (ОЗП), ємність накопичувача на жорсткому диску (вінчестера), ємність відеопам'яті, надійність функціонування та ін.

Продуктивність - один з найважливіших показників ЕОМ, вимірюваний кількістю операцій, виконуваних за одиницю часу (звичайно операцій у секунду). Цей показник для різних типів ЕОМ коливається від декількох сотень до сотень мільйонів операцій у секунду.

Продуктивність залежить не тільки від властивостей самої ЕОМ (тактової частоти, ємності відеопам'яті, наявності Кеш пам'яті, типу шини, типу ОЗП), але й від особливостей оброблюваної інформації (розрядності оброблюваних слів), форми представлення чисел - із плаваючою або фіксованою точкою, роботи із графічною інформацією, частоти повторення різних операцій у загальному потоці виконуваних програм та ін. Тому визначення продуктивності здійснюється для деяких тестів наборів завдань.

Значення продуктивності ЕОМ, що приводяться в різній довідковій літературі, можуть використовуватися тільки для орієнтовної оцінки реальної продуктивності при розв'язку конкретних завдань автоматизованого проектування.

Усі апаратні засоби ЕОМ діляться на групи пристроїв: центральні й периферійні (рис. 6.3). До *центральных пристроїв*, що здійснюють безпосередньо обробку даних, відносять центральний процесор, оперативний запам'ятовувальний пристрій і процесор введення-виводу (ПВВ).

До *периферійних пристроїв* відносять пристрої, що виконують функції введення, виводу, підготовки даних і зберігання великих обсягів інформації. Загальним для всіх периферійних пристроїв (ПП) є те, що вони перетворюють дані з однієї форми представлення в іншу, не змінюючи їх змісту.

Зв'язок і керування периферійними пристроями здійснюється за допомогою спеціальних програм драйверів. *Драйвер* – це програма, призначена для обслуговування периферійних пристроїв, звичайно завантажуються в оперативну пам'ять при запуску комп'ютера.

Центральний процесор (ЦП) дешифрує і виконує команди програми, взаємодіє із процесором введення-виводу, ініціюючи й контролюючи його роботу, сприймає й обробляє сигнали, що надходять від різних пристроїв ЕОМ і ПП (запити переривання).

Функціонування процесора – це виконання послідовності команд, обумовлене програмою. Центральний процесор призначений для перетворення інформації відповідно до виконуваної програми, керування обчислювальним процесом і пристроями, що працюють разом із процесором.

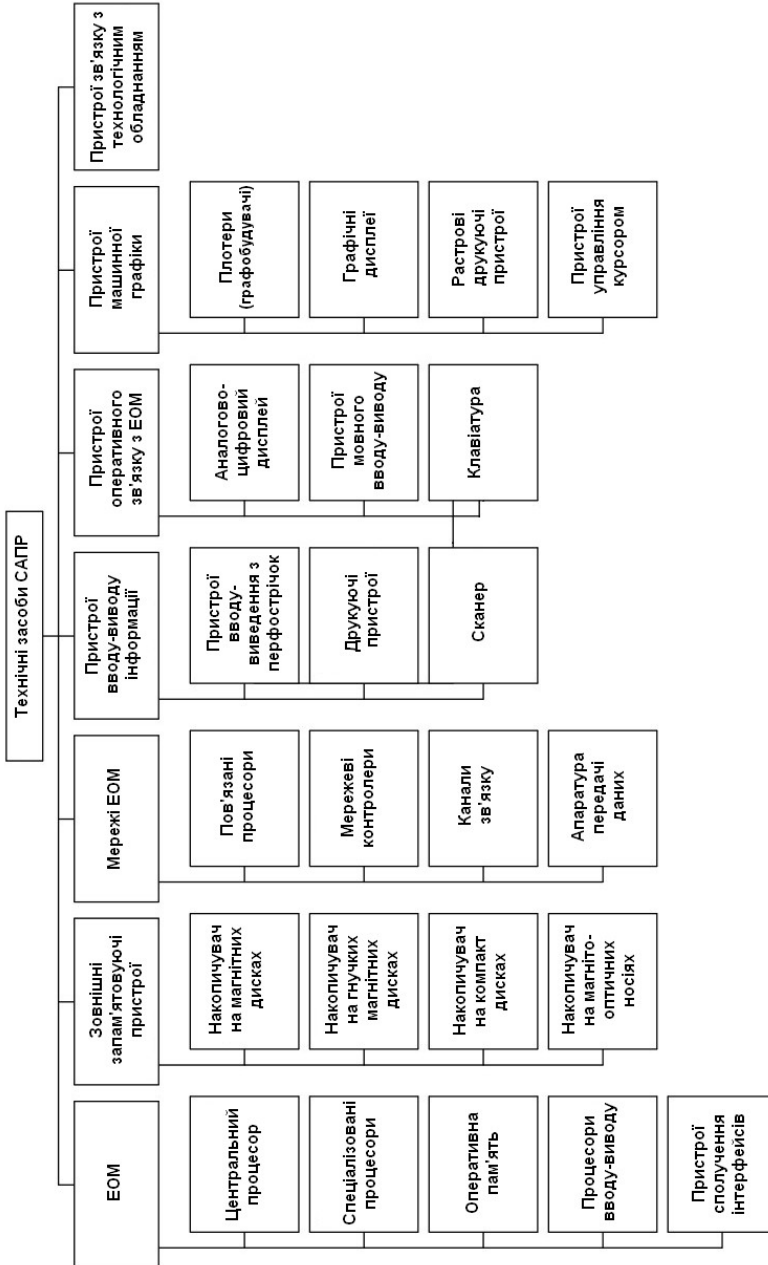


Рисунок 6.3 – Состав технічних засобів САПР

Оперативний запам'ятовувальний пристрій виконує функції зберігання, приймання й видачі даних і програм. Для роботи програми й обробки інформації, що зберігається в зовнішній пам'яті, вони попередньо пересилаються в оперативну пам'ять. Великий *вплив* на продуктивність *ЕОМ* виявляють також характеристика й структура підсистеми пам'яті, реалізованою сукупністю запам'ятовувальних пристроїв.

У складі *ЕОМ* використовується одночасно кілька типів ЗП (кілька типів пам'яті), що відрізняються принципом дії, характеристиками й призначенням. Залежно від реалізованих у пам'яті операцій обігу розрізняють: а) пам'ять із довільним обігом (можливі зчитування й запис даних на згадку); б) пам'ять тільки для зчитування інформації ("постійна" або "однобічна" пам'ять). Ці типи пам'яті відповідають термінам *RAM* (*random — access memory* — пам'ять із довільним обігом) і *ROM* (*read — only memory* — пам'ять тільки для зчитування).

Основними операціями в пам'яті в загальному випадку є занесення інформації на згадку — *запис* і вибірка інформації з пам'яті — *зчитування*. Обидві ці операції називаються *звертанням до пам'яті*.

Кеш-пам'ять - це статичне ОЗП зберігає дані, які найбільше часто запитуються мікропроцесором (МП). Завдяки цьому скорочується число звернень МП до більш повільної оперативної пам'яті, що приводить до підвищення продуктивності системи в цілому.

Процесори введення-виводу (канали) призначені для керування обміном інформацією між ОЗП й ПП без участі центрального процесора, узгодження швидкості роботи ПП й ОЗП, уніфікації програмування введення-виводу й забезпечення можливості підключення нових ПП. З каналами введення-виводу зв'язане поняття *інтерфейсу* - сукупності устаткування, за допомогою якого здійснюється сполучення каналів введення-виводу із пристроями керування ПП, а також уніфікованих сигналів і алгоритмів, що визначають порядок передачі даних між каналом і ПУ.

Пристрої виводу дозволяють представити результати роботи машини у формі, зручній для подальшого використання: у вигляді таблиць, графіків, зображень на екранах, а також на носіях, придатних для наступного введення в *ЕОМ*.

Периферійні пристрої, використовувані в САПР, за обсягом устаткування й вартості в цей час перевищують обсяг і вартість електронних вузлів центрального процесора, тому іноді їх включають у локальну мережу для колективного використання.

У цей час у САПР використовують два типи платформ ЕОМ - це робочі станції, що працюють звичайно під керуванням операційної системи UNIX і персональні комп'ютери (PC - платформа), що використовують Windows. Перші мають високу продуктивність і графічні можливості. Перевага робочих станцій проявляється при розв'язку дуже складних завдань у реальному масштабі часу за рахунок їх великої продуктивності. Їхнім недоліком є більша вартість і відносно мала кількість додаткових програмних продуктів для робочих станцій. До недавня для САПР високого й середнього рівня застосовувалися тільки робочі станції. У цей час можливості персональних комп'ютерів значно зросли, тому вони витісняють робочі станції в системах середнього рівня.

Периферійні пристрої ЕОМ.

Зовнішні запам'ятовувальні пристрої.

У САПР інформація зберігається на різних носіях. Під носієм інформації звичайно розуміють фізичне середовище, використовуване для реєстрації, накопичення й зберігання інформації. У якості носіїв використовуються різні матеріали.

Залежно від можливостей використання в ЕОМ і системах обробки даних носії інформації можна підрозділити на дві групи:

- носії інформації, придатні для використання тільки людиною. Цю групу утворюють різні документи, до них ставляться, у першу чергу, паперові носії інформації. Характерною рисою таких носіїв інформації є їхня велика різноманітність. Можливість безпосереднього використання в ЕОМ можлива тільки послугу сканування й перетворення цієї інформації в "електронну форму".
- носії інформації, придатні для використання тільки в ЕОМ. Цю групу утворюють носії інформації — магнітні стрічки, магнітні диски й барабани, оптичні диски і т.п. Такі носії зручні для використання в різних машинах і системах обробки даних. Для забезпечення можливості сприйняття їх людиною використовують додаткові пристрої перетворення даних у цифрову, алфавітно-цифрову й графічну форми.

Зовнішні запам'ятовувальні пристрої дозволяють збільшувати ємність пам'яті ЕОМ до десятків і сотень Гігабайт, що необхідно для САПР, які оперують великими обсягами довідкової й проектної інфо-

рмації. Найбільш швидкодіючими ВЗУ є накопичувачі на жорстких магнітних дисках. Накопичувачі на магнітних стрічках у сучасних ЕОМ використовуються вкрай рідко.

Пристрої введення-виводу інформації.

Пристрої введення інформації перетворюють інформацію, що вводиться, задану в тій або іншій формі (тексти, графічні зображення і т.п.), в електричні сигнали, що надходять через канали в ОЗП.

Пристрої виводу інформації призначені для перетворення інформації, виведеної ЕОМ, у форму, придатну для сприйняття людиною. Виведена інформація може бути представлена у алфавітно-цифровій формі (тексти на папері або екрані дисплея), графічній (схеми, креслення, графіки на папері або екрані дисплея), звуковій.

Клавіатура. Передача інформації від людини до ЕОМ у більшості випадків здійснюється за допомогою клавіатури. У принципі за допомогою клавіатури можна ввести в машину всю необхідну інформацію. Однак на практиці так не роблять через те, що швидкість роботи на клавіатурі занадто низька. Тому клавіатуру використовують тільки в тих випадках, коли виникає необхідність перервати програму обчислень, проконтролювати хід розв'язку завдання, виявити й виправити помилки в інших непередбачених випадках.

Пристрій введення типу "миша". В ЕОМ з пакетами програм машинної графіки переміщення (курсору) і редагування інформації на екрані можуть здійснюватися за допомогою пристрою типу "миша". За допомогою цього пристрою механічні переміщення перетворюються в електричні сигнали, сприймані ЕОМ.

Світлове перо. Світлове перо використовується в графічних системах. Світлове перо має відносну простоту застосування (особливо при кресленні ліній), що підвищує цінність його використання в більшості графічних пристроїв.

Друкувальні пристрої (ДП) - є основним засобом документованого виводу інформації. По способу одержання відбитка знака на документі ДП класифікують на друкувальні пристрої ударної й безударної дії. По методу реєстрації інформації ДП безударної дії розділяють на термічні, електроерозійні, електроіскрові, струминні, електрофотографічні та ін.

Знакосинтезуючі пристрої. У них зображення знаків на поперхні носія формується за допомогою різних наборів індивідуально ке-

рованих друкуючих голок або стрижнів. За допомогою таких елементів стає можливим одержати на носії синтезоване з окремих точок, відрізків прямих і кривих ліній зображення будь-якого знаку.

Залежно від типу механізму друку має кілька ударних елементів, які дозволяють друкувати одночасно кілька точок. Механізм удару в таких пристроях забезпечує переміщення друкуючого елемента в напрямку друку. У якості ударних елементів використовуються тонкі (діаметром 0,3 мм) рухливі голки (рис. 6.4).



- 1 - матриця друкуючої головки; 2- голка; 3- муфта; 4- пружина;
5- електропривод; 6- електромагніт;
7- магнітний сердечник; 8- барвна стрічка; 9- папір

Рисунок 6.4 - Конструкція знакосинтезуючого механізму з однорядною голкою

Голки переміщуються у відповідних напрямних за допомогою різних електромеханічних приводів. Для електропривода голок широко використовуються електромагніти з утяжним або поворотним якорем, а також різні магнітоелектричні системи. У більшості існуючих конструкцій розглянутих пристроїв в якості електропривода застосовуються електромагніти з утяжним якорем.

Пір'яні плоттери. Пір'яні плоттери (ПП) є електромеханічними пристроями векторного типу й створюють зображення за допомогою пишучих елементів, узагальнено називаних пір'ям. Пишучі елементи бувають одноразові й багаторазові; кулькові, фіброві, пластикові й інші; із чорнилом на водній або масляній основі. Перо кріпиться в тримачі пишучого вузла, який має одну або два ступені волі переміщення. Існують два типи ПП: рулонні й планшетні. В основному застосовуються рулонні плоттери формату A0 і A1. Плоттер малого фо-

рмату А3 - звичайно планшетні. На жаль, швидкість виводу інформації в ПП невисока. Низька надійність пишучого вузла. Порівняно високий рівень шуму.

Струминні плоттери. Струминний друк - це процес одержання зображення, при якому елементи зображення створюються крапельками чорнила, що вилітає із сопла зі швидкістю, достатньою, щоб подолати зазор між соплом і поверхнею, на якій формується зображення.

Друкуючі головки можуть бути кольоровими й мати відповідне число груп сопел. Для створення повнобарвного зображення використовується стандартна для поліграфії кольорова схема СМУК, що використовує чотири базові кольори: Cyan - блакитний, Magenta - пурпурний, Yellow - жовтий і Key - ведучий (чорний).

Складні кольори утворюються змішанням основних, відтінки різних кольорів можуть бути отримані шляхом згущення або розрізнення крапок відповідного кольору у фрагменті зображення (аналогічний спосіб використовується для одержання різних відтінків сірого кольору при виводі монохромних зображень).

Струминні плоттери мають невисоку ціну, широку кольорну палітру, високу продуктивність, мають можливість роботи з растровими й векторними даними. Недоліком струминних плоттерів є можливість вицвітання зображення (для запобігання потрібен папір зі спеціальним покриттям).

Лазерні плоттери. Лазерні плоттери базуються на електрофотографічній технології, в основу якої покладені фізичні процеси внутрішнього фотоефекта у світлочутливих напівпровідникових шарах матеріалів і силова дія електростатичного поля. Лазерні плоттери мають високу швидкодію (аркуш формату А1 виводиться менш ніж за півхвилини). Для підвищення ефективності такі плоттери найчастіше використовуються як мережні пристрої. Їхня перевага в тому, що вони можуть працювати на звичайному папері, що скорочує питомі витрати при експлуатації. До недоліків лазерних плоттерів можна віднести їх відносно високу вартість і монохромне зображення.

Сканери.

До впровадження САПР на багатьох підприємствах була накопичена велика кількість проектів виробів. Як правило, компонент попередніх розробок використовують у нових виробках. Але вся необхідна для САПР інформація існувала тільки на папері - у вигляді архівів

креслень і томів технічної документації. Можна заново відтворити в електронній формі ті креслення, які вже є, але на папері. Такий підхід приведе до необхідності дублювання одного разу вже виконаної роботи, а це знижує ефективність праці.

Більш кращим варіантом розв'язку цього завдання є ланцюжок "креслення - сканер - система векторизації - електронне креслення". У такий же спосіб можна перетворити всі текстові документи.

Сканування - перетворення оригіналів текстових і графічних документів у цифрові дані з метою їх використання на комп'ютерах, тобто одержання електронної версії документа.

Метою сканування документів може бути:

- збереження файлу зображення в стані архівної готовності на магнітному або оптичному диску;
- редагування-чищення зображення, додавання нового матеріалу;
- тиражування твердої копії растрового файлу зображення.

Після сканування документ має растрове зображення, тобто як би "фотографічне" зображення, у вигляді набору точок, що не мають між собою ніяких формальних зв'язків. Тільки, дивлячись на екран, можна визначити, що даний набір точок представляє лінію, окружність тощо.

Зберігання електронної копії документа може здійснюватися безпосередньо в растровому форматі. Графічні документи в растровій формі можуть бути конвертовані за допомогою програмного забезпечення, що розпізнає, у векторну форму, текстові документи - у формат електронного тексту.

У САПР в основному використовують два типи сканерів: рулонні й планшетні. Скануючим елементом у більшості сканерів є прилад із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) (рис. 6.5). Лінійні сканери забезпечують взаємне переміщення носія або лінійного скануючого елемента (ПЗЗ) уздовж однієї осі. Послідовно, смужка за смужкою, вихідне зображення фокусується на лінійці ПЗЗ. Для одержання кольорового зображення використовують три різні скануючі елементи з фільтром для кожного базового кольору - червоного, зеленого, синього.

У рулонних сканерах ПЗЗ нерухливі, переміщається папір. Фокусуються відбиті промені. Рулонні сканери дозволяють працювати із кресленнями великого формату (A1 або A0), як чорно-білих, так і кольорових.

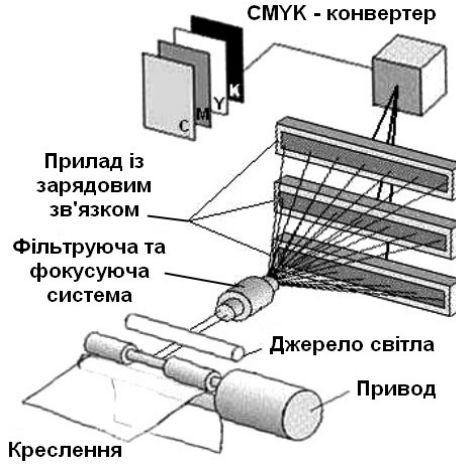


Рисунок 6.5 - Принцип роботи рулонного сканера

Схема планшетного сканера зображена на рис 6.6. У сканері аркуш нерухливий і розташовується лицьовою поверхнею у середину. У цьому випадку переміщається робоча головка із ПЗС, на якому фокушуються відбиті промені. Така конструкція типова для більшості настільних сканерів формату А3 і А4.

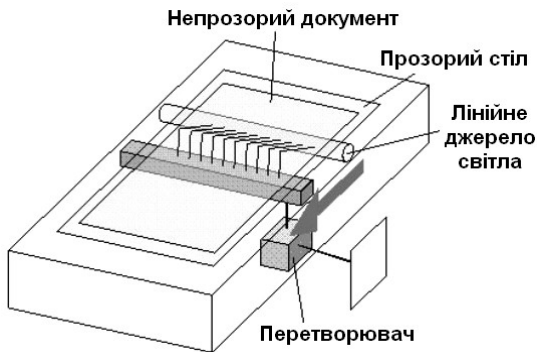


Рисунок 6.6 – Планшетний сканер

Пристрої оперативної взаємодії людини з ЕОМ.

Більша частина часу роботи інженера в САПР проходить у ре-

жимі діалогу з ЕОМ, тобто САПР відноситься до комплексних систем "людина - машина", у яких переробка інформації здійснюється людиною й технічними засобами спільно. Тому при створенні технічних засобів САПР слід урахувати вимоги, пропоновані до таких систем з позицій психофізіологічних особливостей людини.

У процесі взаємодії людини з машиною можна виділити два напрямки передачі інформації: 1) від машини до людини; 2) від людини до машини (керуючий вплив).

Людина може сприймати інформацію різними шляхами, причому найбільший обсяг інформації надходить по зоровому (80 %) і слуховому (10%) каналам. Людина управляє технічними засобами за допомогою мускульних рухів і мови.

Найбільше поширення в САПР у цей час дістали засоби візуального відображення інформації (дисплеї) і ручного керування технічними засобами (клавіатури, планшети, світлове перо й т.п.).

Дисплеї. Їх можна класифікувати по різних ознаках. У САПР знайшли застосування індивідуальні алфавітно-цифрові й графічні дисплеї на електронно-променевих трубках або пласкі на рідких кристалах. Якість відображення інформації - найважливіша комплексна ергономічна характеристика дисплея. Якість відображення інформації визначається розмірами елементів зображення, їх яскравістю й контрастністю, відсутністю мерехтіння зображення і т.п.

Питання для самоперевірки

1. Що таке лінгвістичне забезпечення САПР?
2. Для чого призначенні мови програмування?
3. Яке призначення мов проектування?
4. Що таке командні мови?
5. Навіщо потрібні шаблони в діалоговій взаємодії програм САПР?
6. Що відноситься до технічного забезпечення САПР?
7. Коротко розкажіть про состав технічних засобів САПР.
8. Перелічіть основні периферійні пристрої ЕОМ.
9. Назвіть пристрої вводу-виводу інформації з ЕОМ.
10. Як класифікуються друкувальні пристрої?
11. Навіщо потрібні сканери?

ЛЕКЦІЯ № 7. ІНТЕГРАЦІЯ CAD І CAM СИСТЕМ

План лекції. Виробничий цикл деталі. Технологічна підготовка виробництва. Неавтоматизований підхід. Модифікований підхід. Генеративний підхід. Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва. Групова технологія. Системи керування даними про продукти.

Література: [2], с.300-328.

Спроекована деталь втілюється в готовий продукт засобами виробництва. Автоматизація виробництва забезпечується відповідним програмним забезпеченням (CAM software). Таких програмних продуктів існує досить багато. До складу типового пакета САМ входить система автоматизованої технологічної підготовки виробництва (computer-aided process planning - CAPP), система числового управління (NC software), що дозволяє виготовляти деталь за допомогою верстатів з ЧПУ, програми контролю й програми керування роботами, використовувані, відповідно, на етапах перевірки й складання.

Багато виробників комерційних систем CAD і CAM перебільшують вигоди від їхнього використання. Реальний виграш від цих систем набагато менше рекламованого через низький ступінь їх інтеграції. Для підвищення продуктивності й забезпечення виживання на глобальних ринках з постійно зростаючою конкуренцією необхідне поліпшення інтеграції. Першочерговим завданням є повна автоматизація технологічної підготовки виробництва, тому що ця фаза зв'язує проектування й виробництво.

Саме підготовка виробництва стала основною перешкодою на шляху до інтеграції CAD і CAM. Основні зусилля дослідників були спрямовані на створення систем автоматизованої підготовки виробництва, які повинні були намагатися забезпечити взаємодію інженерів-проектувальників та інженерів-технологів. Розглянемо загальні питання підготовки виробництва й, конкретно, засоби CAPP. Щоб прояснити значення технологічної підготовки, ми почнемо із розгляду виробничого циклу однієї деталі.

Виробничий цикл деталі.

Усе виробництво може бути поділене на дискретне й безперерв-

не. Під дискретним виробництвом розуміється виготовлення продукту, що проходить через кінцеве число технологічних і складальних операцій. Безперервне виробництво має на увазі виготовлення продукту, що перетерплює безперервні зміни, наприклад у ході хімічних реакцій, у результаті яких заготовка перетвориться в готову деталь.

Ми зосередимо увагу на дискретному виробництві, а конкретніше — на механообробці, яка є типовим методом виготовлення деталей. Головні етапи такого процесу наведені в схемі на рис. 7.1.



Рисунок 7.1 - Головні етапи дискретного виробництва

Коли готовий проект передається у виробничий відділ, інженер-технолог перетворить опис деталей і пристроїв у технологічні інструкції. Ці інструкції докладно описують процеси, необхідні для перетворення неопрацьованих заготовок у готові деталі, а також наступні операції складання цих деталей у кінцевий продукт.

Процедура, таким чином, полягає в зіставленні вимог до деталей і наявних виробничих потужностей. Інженер-технолог повинен інтерпретувати інженерно-технічну документацію, ухвалювати рішення щодо того, як розрізати листи металу й збирати деталі, визначати порядок виконання операцій, вибирати інструмент, верстати й кріплення й вирішувати інші подібні завдання.

Це завдання значно спрощується, якщо в інженера уже є готовий план для аналогічного продукту. Тому схожі деталі звичайно групуються в сімейства, що дозволяє використовувати концепцію групової обробки.

Після завершення фази технологічної підготовки починається реальне виробництво деталі відповідно до інструкцій, підготовлених на попередньому етапі. Якщо для обробки деталі використовуються верстати з ЧПУ, оператор верстата повинен написати відповідну програму. Існує безліч програмних засобів, що дозволяють створити програму для верстата з ЧПУ безпосередньо по базі даних системи авто-

матизованого проектування. Готові деталі перевіряються відповідно до розроблених стандартів якості. Минулі перевірку деталі збираються, упаковуються, позначаються й відправляються замовникам.

Таким чином, інтерфейсом між проектуванням і виробництвом виявляється технологічна підготовка. Інтеграція засобів проектування й виробництва не буде завершена доти, поки технологічна підготовка не буде автоматизована.

Технологічна підготовка виробництва (process planning) - полягає у виборі технологічних процесів і їх параметрів, а також устаткування для проведення цих процесів. Завдання полягає в тому, щоб перетворити заготовку в деталь, зображену на технічному кресленні. Альтернативне визначення технологічної підготовки говорить, що під цим терміном мається на увазі підготовка докладних технологічних інструкцій для верстата або збирача агрегату з деталей.

Наприкінці етапу технологічної підготовки виходить план, що описує послідовність технологічних процесів або складальних операцій. План виробництва іноді називається операційною картою, маршрутною картою або зведенням планування операцій.

Крім вибору й упорядкування операцій важливу частину плану становить вибір інструментів і кріплення. Вибір інструмента включає також вибір верстата, на якому цей інструмент буде встановлений. Кріпильні пристрої направляють інструмент або тримають оброблювальну деталь.

План виробництва деталі або агрегату залежить від безлічі факторів. До них відносяться геометрія деталі, необхідна точність і якість поверхні, кількість деталей і використовуваний матеріал.

Наприклад, для виготовлення дуже гладкої поверхні може знадобитися шліфування, тоді як для більш грубої поверхні досить токарської обробки (при тій самій геометрії деталі). Невелику кількість деталей можна виготовити на верстаті, а більші кількості вигідніше штампувати на пресі. Вибір операцій також багато в чому визначається наявними засобами.

Неавтоматизований підхід.

Традиційне планування виробництва завжди виконувалося вручну. Тепер це називається неавтоматизованим підходом. Полягає даний підхід у тому, що досвідчений співробітник, це часто був опера-

тор-верстатник, вивчає креслення деталі й підготовляє інструкції з її виготовлення, тобто план виробництва.

Залежно від цеху, вироблюваний ним план може бути досить складним, а може бути простою сукупністю описів окремих операцій. У дослідному виробництві, де всі оператори мають високу кваліфікацію й можуть працювати з декількома верстатами, а більшість деталей відносяться до одного типу, технологічний план звичайно стає не більш ніж послідовністю операцій обробки, а всі подробиці виконання цих операцій визначаються операторами самостійно.

Однак якщо деталь повинна бути виготовлена на повністю автоматизованій виробничій лінії, технологічний план буде містити докладні відомості про кожну операцію. Незалежно від складності плану його підготовка дуже сильно залежить від знань планувальника, наявних інструментів, матеріалів, стандартних прийомів і характерних масштабів вартості.

На жаль, ці відомості звичайно документуються недостатньо повно, а найчастіше зберігаються винятково в пам'яті технолога. Якщо пам'ять у нього гарна, він може згадати план виробництва аналогічної деталі й видозмінити його під нову деталь. У деяких компаніях плани класифікуються вручну й зберігаються в робочих журналах.

У процесі розробки планів виробництва нових продуктів інженери-технологи найчастіше діють приблизно однаково.

Типова послідовність етапів планування наведено нижче.

1. Вивчення форми деталі в цілому. Технолог вивчає інженерно-технічну документацію, визначає загальну структуру деталі й потенційні труднощі, які можуть виникнути при її виробництві: чи можна затиснути цю деталь у лещата, чи поміститься вона між губками? чи не виявиться, що вона занадто довга й тонка, та її зігне, коли її затиснуть? І так далі.

2. Визначення оптимальної форми заготовки, якщо вона не задана в документації. По кресленню планувальник звичайно з легкістю визначає обрис деталі. Це допомагає йому вибрати форму заготовки, з якої дана деталь може бути виготовлена з мінімальним обсягом відходів. Розміри заготовки звичайно на чверть дюйма перевищують розміри готової деталі.

3. Визначення базових поверхонь і конфігурацій. Інженер-технолог визначає мінімальну кількість конфігурацій, необхідних для

одержання базових поверхонь механічною обробкою. Потім він записує операції для кожної конфігурації.

4. Визначення елементів деталі. Інженер-технолог виділяє елементи деталі, тобто геометричні форми, які повинні бути вирізані на заготовці, з якої буде зроблена деталь. Форма елементів визначає форму інструментів і траєкторію їх переміщення при обробці заготовки. Характерні елементи (і субелементи), одержувані механічною обробкою, зображені на рис. 7.2 і на рис.7.3 відповідно.

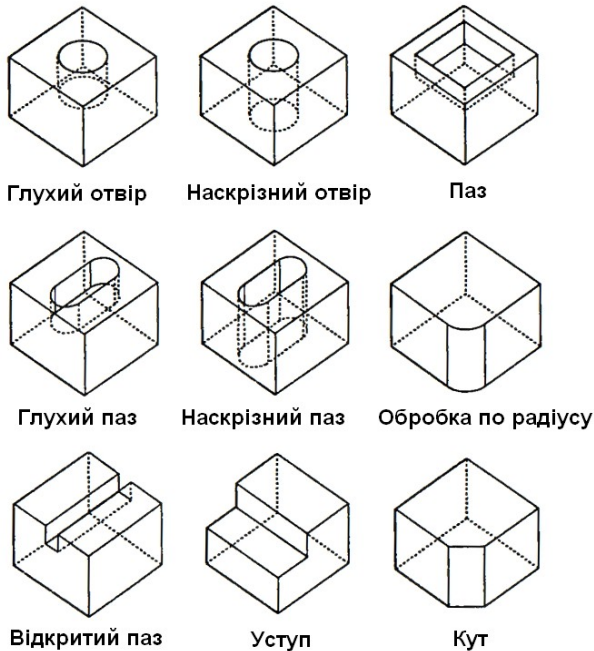


Рисунок 7.2 – Елементи отримані машинною обробкою

5. Угруповання елементів по конфігураціях. Інженер-технолог групує елементи таким чином, що кожна група формується в рамках однієї й тієї ж конфігурації. Деякі деталі можуть бути зроблені в конфігураціях, визначених раніше для базових поверхонь, інші можуть зажадати завдання нових конфігурацій. Потім формується список операцій по виготовленню елементів деталі для кожної конфігурації.

6. Упорядкування операцій. У середині кожної конфігурації по-

рядок операцій по виробництву відповідних базових поверхонь і елементів визначається взаємозалежностями цих операцій та їх взаємним впливом.

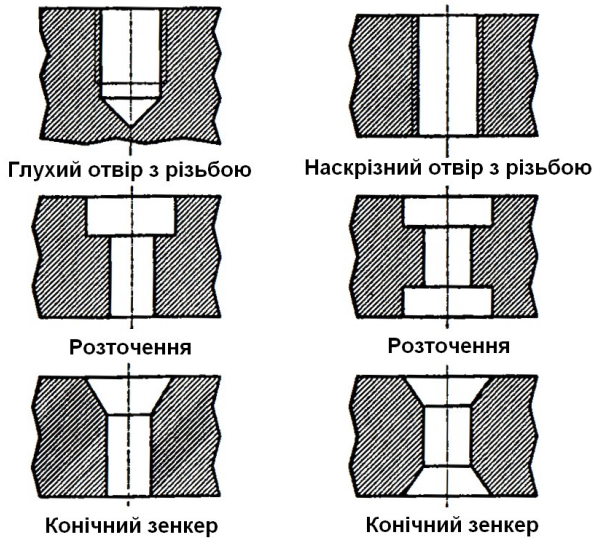


Рисунок 7.3 - Субелементи, одержувані машинною обробкою

7. Вибір інструментів для кожної операції. Технолог намагається по можливості використовувати той самий інструмент для декількох операцій. Йому доводиться враховувати час на зміну інструмента й час на обробку.

8. Вибір або проектування затискачів для кожної конфігурації. Цей етап планування сильно залежить від досвіду технолога, тому що кількість стандартних затискачів і кріпильних пристосувань невелика. Правильний вибір затискачів дуже важливий для досягнення високої якості продукту.

9. Підсумкова перевірка плану. Інженер-технолог перевіряє здійсненність конкретних конфігурацій, імовірність створення перешкод інструментам кріпильними пристосуваннями і т.п.

10. Уточнення плану виробництва. Технолог додає в план подробиці по виготовленню окремих елементів, вибирає швидкість подачі й обробки, оцінює витрати й час виготовлення і т.п.

11. Підготовка документації. Готовий технологічний план ви-

робництва віддається головному технологіві.

Модифікований підхід — це один із двох методів, використовуваних для розробки систем автоматизованої технологічної підготовки. Інший підхід називається генеративним (generative approach).

Модифікований підхід (variant approach) називається так тому, що він є модифікацією неавтоматизованого підходу, суть якого полягає в тому, що технолог користується не тільки своєю пам'яттю, але й пам'яттю комп'ютера.

Інакше кажучи, робочий журнал технолога зберігається в комп'ютерному файлі. Типовий технологічний план виробництва подібної деталі може автоматично вийматися з такого файлу після опису аналізованої деталі відповідно до певної системи кодування.

Обраний план виробництва може редагуватися в інтерактивному режимі; у нього вносяться виправлення, відповідні до специфіки конкретної деталі. Таким чином, модифікований підхід вимагає наявності бази даних зі стандартними планами виробництва для кожного сімейства деталей.

Такий план повинен містити всі інструкції, які будуть входити в план виробництва будь-якої деталі з даного сімейства. Деталі класифікуються по сімействах на підставі концепції групової технології.

Згідно із цією концепцією, кожній деталі привласнюється код, що залежить від її елементів, після чого деталі групуються в сімейства відповідно до привласнених кодів.

Модифікований підхід до розробки плану виробництва виражається в наступному. Технологічна підготовка виробництва нової деталі починається з кодування її особливостей, що еквівалентно опису деталі мовою групової технології. Потім деталь може бути віднесена до якого-небудь сімейства на підставі її коду.

Після цього з бази даних виймається стандартний план виробництва для деталей цього сімейства. У цьому плані втримуються загальні інструкції з виробництва будь-яких деталей сімейства, тому може знадобитися його редагування для одержання плану потрібної деталі.

Редагування здійснюється засобами комп'ютерної системи. Часто зміни виявляються незначними, тому що новий план являє собою лише невелику модифікацію стандартного.

Завдяки цьому на етапі підготовки плану заощаджується маса часу, а готові плани виявляються набагато більш послідовними, ніж розроблювальні вручну. Якщо деталь не може бути віднесена до одно-

го з існуючих сімейств, технолог може розробити новий стандартний план виробництва в інтерактивному режимі.

Генеративний підхід (generative approach) - полягає в тому, що технологічний план виробляється автоматично на підставі технічних вимог до деталі. У технічні вимоги повинні включатися докладні відомості про матеріал, особливості обробки й пропонованих методиках перевірки, а також графічне зображення форми деталі.

На першому етапі розробки плану виробництва нової деталі в генеративному підході технічні вимоги вводяться в комп'ютерну систему. В ідеалі вони повинні зчитуватися безпосередньо з бази даних САПР. Для цього необхідно, щоб автоматизована система технологічної підготовки могла розпізнавати елементи деталі, що вимагають машинної обробки, такі як отвори, пази й вилучення.

Реалізація першого етапу значно спрощується, якщо при моделюванні деталі використовується об'єктно-орієнтований підхід. Однак навіть конструктивні елементи, використовувані в системі об'єктно-орієнтованого моделювання, можуть зажадати перетворення до елементів, які можуть бути виготовлені машинною обробкою.

Деякі конструктивні елементи однозначно зіставляються технологічному процесу, тоді як перетворення інших являє собою не занадто тривіальну процедуру. Крім того, інформації про елементи, загалом кажучи, недостатньо для технологічної підготовки виробництва.

Наприклад, більшість моделей CAD не містять відомостей про допуски й матеріали, і їх доводиться вводити вручну. Це лише частина причин, що затримують розробку повністю автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва дотепер.

Замість цього технічні вимоги до деталі часто кодуються вручну. Схема кодування повинна визначати всі геометричні елементи і їх параметри, зокрема положення, розміри й допуски. Закодовані дані супроводжуються інформацією в текстовому форматі. Нарешті, система повинна мати відомості про форму заготовки.

На другому етапі закодовані дані й текстова інформація перетворюються в докладний технологічний план виробництва деталі. На цьому етапі визначається оптимальна послідовність операцій і умови їх виконання.

До умов відносяться використовувані інструменти, кріплення, вимірювальні прилади, затискачі, схеми подачі й швидкості обробки. Для побудови настільки докладного плану виробництва деталі довіль-

ної складності потрібна велика база даних і складна логічна система. Тому на сьогоднішній день автоматизований підхід обмежується окремими класами деталей з відносно обмеженим набором елементів.

Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва. Більшість існуючих систем автоматизованої технологічної підготовки виробництва (наприклад, CAM-I CAPP, MIPLAN, MITURN, MIAPP, ACUDATA/UNIVATION, CINTURN і COMCAPPV) засновані на альтернативному підході. Однак у літературі вже з'являються згадування про системи, засновані на генеративному підході (CPPP, AUTAP, APPAS, GENPLAN, CAR, Metcapp, ICEM-PART). Докладний опис та порівняння таких систем приводиться в роботі Кунву Лі [2].

Групова технологія.

Об'єднання подібних деталей у сімейство в рамках правильної системи кодування зовсім необхідно для автоматизованої технологічної підготовки виробництва. Концепція групової технології - це те, на чому заснована ця класифікація. Визначення групової технології (group technology — GT) може бути записане в такий спосіб.

Групова технологія — це усвідомлення того, що багато завдань в основі своєї подібні один одному, а угруповання завдань дозволяє знайти загальний розв'язок до них, заощадивши час і зусилля.

Це всеосяжне визначення можна конкретизувати, визначивши область його застосування. Суть групової технології полягає в створенні бази даних подібних деталей, проектів і технологій і використанні цієї бази для впровадження загальної процедури проектування й виробництва таких деталей. Деталі поєднуються в сімейства по конструктивній подібності (наприклад, по схожості форм) і по технологічній подібності (наприклад, по необхідних операціях, таким як фрезерування або свердління).

Групова технологія широко використовується для спрощення просування продуктів на виробництві. Виділення деталей із загальними технологічними параметрами дозволяє розробити ефективні плани виробництва, виділяючи для кожного сімейства одне гніздо плану. У такий спосіб спрощуються технологічні маршрути, скорочуються тимчасові витрати на передачу матеріалів між верстатами й тривалості виробничих циклів.

Більше того, оскільки подібні деталі проводяться на тих самих

верстатах, часто скорочуються й тимчасові витрати на настроювання верстатів. Може використовуватися спеціальне технологічне оснащення. Коди групової технології використовуються для вибору існуючих планів в автоматизованій технологічній підготовці виробництва.

Інженерам-технологам не доводиться розробляти плани з нуля для кожної нової деталі — замість цього вони можуть звертатися до планів виробництва аналогічних деталей і змінювати їх відповідно до технічних вимог до нових деталей.

Концепція групової технології дає переваги й на етапі проектування. З її допомогою часто вдається усунути надлишкову різноманітність деталей, надавши конструкторам можливість здійснювати пошук по сімействах деталей.

Часто конструктори просто не знають про наявність аналогічних проектів серед поточних розробок. Звичайно це буває пов'язано з тим, що система нумерації деталей не дає їм достатньої інформації.

У таких випадках виникає тенденція до дублювання деталей з незначними змінами, що не мають відносини до призначення деталей. Надлишок деталей приводить до швидкого збільшення кількості паперів, а також до витрат заготовок.

Системи керування даними про продукти.

Цикл розробки продукту містить у собі не тільки проектування й виробництво, але й аналіз, контроль якості, упакування, доставку й маркетинг. Ціль комп'ютеризації полягає в тому, щоб інтегрувати всі ці види діяльності за допомогою загальної бази даних, тому існує потреба в механізмі передачі інформації між ними.

Якщо розглядати ситуацію в динаміці, маркетингові концепції повинні передаватися у відділ планування продуктів і в групу проектування. Група проектування взаємодіє з виробничим відділом і групою підтримки. Відомості про виявлені проблеми вертаються у відділи проектування й виробництва.

Відомості про продажі й проекти передаються постачальникам і партнерам. Дані про витрати обробляє бухгалтерія. Усі ці види діяльності тісно зв'язані один з одним, тому зміни в змісті або стані проекту повинні бути доступні всім учасникам щоб уникнути дорогих помилок. Обсяг технічних даних у міру розробки надзвичайно зростає, через що перегляд і пошук по базі даних стають у край неефективними.

На щастя, існують програмні пакети, називані системами керу-

вання даними про продукти (product data management — PDM). Системи PDM спрощують передачу даних між відділами. Використання такої системи поліпшує взаємодію й підвищує ефективність керування проектами.

Системи PDM були розроблені для керування величезними обсягами електронних даних, створюваних системами CAD, CAM і CAE. Інженери страждали від надлишку даних і витрачали занадто багато часу на пошук інформації.

Важливість PDM особливо зросла, коли деталі стали розроблятися в різних CAD. Власна система керування, вбудована в програму CAD, могла досить ефективно працювати із кресленнями й моделями, створеними в цій конкретній програмі, проте найчастіше виявлялася нездатною взаємодіяти з іншими програмами CAD або продуктами третіх фірм. Системи PDM, зв'язані з безліччю різних пакетів додатків, краще справляються з керуванням даними в масштабі підприємства. На додаток PDM полегшують доступ до допоміжних даних: номерам деталей, технічним вимогам, результатам тестів і аналізів.

Потім можливості PDM були розширені. До них додалася підтримка проектування шляхом автоматизованої маршрутизації документації на етапі коректування. Безпаперовий документообіг скоротив тривалість циклу розробки продукту.

З'явилася можливість виділяти важливі дані й відслідковувати історію кожного продукту і його компонентів разом з усіма даними по різних версіях і модифікаціям продуктів. Незабаром область застосування PDM була ще більш розширена, охопивши не тільки проектування й розробку, але й відділи продажів, виробництва й підтримки.

Останнім часом системи PDM стали ще більш популярні завдяки розвитку Інтернету, Web і інтрамереж. Загалом кажучи, практично всі виробники PDM рекламують підтримку роботи з Web, а веб-технології діють як каталізатор впровадження PDM у нові корпорації.

Концепція Web стала популярною завдяки універсальності, дешевині й доступності, а також апаратній незалежності. Самою більшою перешкодою на шляху до широкого визнання PDM були труднощі з доступом у кінцевих користувачів.

Web вирішує цю проблему, надаючи простий і універсальний інтерфейс користувача при дуже низьких витратах на підтримку. Завдяки підтримці веб-технологій PDM стали відігравати ключову роль у забезпеченні доступу до актуальної інформації безлічі груп.

PDM забезпечує погодженість даних і управляє документообігом, гарантуючи доставку інформації адресатові в самий підходящий для прийняття рішень час.

Питання для самоперевірки

1. З яких етапів складається виробничий цикл деталі?
2. В чому полягає технологічна підготовка виробництва?
3. Що таке неавтоматизований підхід у плануванні виробництва?
4. Розкажіть типову послідовність етапів планування виробництва.
5. В чому полягає модифікований підхід планування виробництва?
6. Що таке генеративний підхід планування виробництва?
7. Назвіть основні автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва.
8. В чому полягає сутність групової технології?
9. Розкажіть про системи керування циклом виробництва продукції.
10. Що таке PDM-система?
11. Навіщо потрібні технологічні інструкції?
12. Що таке САМ технологія?
13. Від чого залежить план виробництва деталі?
14. Що в себе включає типовий технологічний план виробництва?

ЛЕКЦІЯ № 8. ЧИСЛОВЕ ПРОГРАМНЕ УПРАВЛІННЯ

План лекції. Виникнення ЧПУ. Апаратна конфігурація верстата з ЧПУ. Типи систем ЧПУ. Системи NC, CNC, DNC. Системи координат верстатів. Синтаксис програми обробки. Автоматизоване та ручне складання програм ЧПУ. Програмування обробки по базі CAD.

Література: [2], с.329-376.

Для інтеграції проектування й виробництва без втручання людини необхідна комп'ютеризація технологічної підготовки. Комп'ютер повинен здійснювати вибір верстатів для виробництва деталей, вибір оптимальної послідовності операцій на цих верстатах, оцінку часу на настроювання й виготовлення, планування виробництва й визначення вимог до устаткування й вихідних матеріалів. Однак однієї автоматизованої технологічної підготовки недостатньо для автоматизації виробництва, якщо комп'ютер не зможе управляти самими верстатами без участі людини. Це реалізується додаванням числового програмного управління до звичайних верстатних систем.

Числовим програмним управлінням (numerical control - NC) називають використання закодованої в числовому виді інформації при автоматичному керуванні позиціонуванням устаткування. Покрокова програма виготовлення деталі зберігається в пам'яті комп'ютера.

Ця програма зчитується системою керування верстата, у результаті чого деталь виготовляється автоматично без участі людини. Числове управління може використовуватися для завдання положення різця або руху деталі щодо обертового диска, а також для заміни різців. Розміщення електронних компонентів і закріплення їх на друкованій платі також може управлятися чисельно.

Історичний зріз.

Наприкінці 40-х рр. минулого століття американець по імені Джон Парсонс придумав метод виготовлення гладких профілів (таких, наприклад, як профілі перетинів крил літаків). Його метод полягав у записі положень центрів великої кількості отворів, що апроксимують потрібну форму, на перфокарти. Перфокарти подавалися у верстат, і

записані на них дані використовувалися для керування різцем. Отриманий з'єднанням безлічі отворів профіль згладжувався до бажаної кривої. До цього винаходу вся металорізальна промисловість США не могла задовольнити потреби навіть одних ВПС США. Військові були так обрадувані ідеєю Парсонса, що уклали контракт із його корпорацією на подальшу розробку керуючих систем.

В 1951 р. корпорація Парсонса уклала субконтракт із лабораторією сервомеханізмів Масачусетського Технологічного інституту (Massachusetts Institute of Technology - MIT).

В 1952 р. модифікований фрезерувальний верстат Cincinnati Hydrotel із трьома ступенями свободи був продемонстрований замовникові, і з тих пір у побут увійшов новий термін — числове програмне управління. Визначення ЧПУ, запропоноване асоціацією електронної промисловості (EIA), звучить так:

У системі із числовим програмним управлінням дії повинні управлятися безпосереднім введенням числових даних. Система повинна автоматично інтерпретувати хоча б частину цих даних.

Числові дані, необхідні для виготовлення деталі, надаються верстату у формі програми, називаною *програмою обробки деталей (part program)*. Ця програма являє собою набір операторів, які можуть інтерпретуватися керуючою системою верстата й перетворюватися в сигнали, що переміщують шпинделі й приводи.

Програма містить геометричну інформацію про деталь і дані про переміщення різця стосовно заготовки. У програмі також вказуються швидкість різання, швидкість подачі й додаткові параметри, такі як стан системи охолодження й напрямок шпинделя. Готова програма повинна давати результат, що відповідає допускам і вимогам до шорсткості поверхонь.

При роботі з типовими верстатами з ЧПУ, тобто автоматизованими верстатами, що використовують технологію числового управління, програма обробки деталей підготовляється програмістами й уводиться в контролер верстата. Розроблювачі програм обробки деталей звичайно користуються відомостями про засоби виробництва, мають знання в областях програмування й геометричного аналізу.

У наш час навантаження на програміста стало набагато меншим, ніж раніше, тому що програма обробки деталей може складатися програмним забезпеченням безпосередньо на підставі бази даних CAD.

Апаратна конфігурація верстата з ЧПУ.

Типова верстатна система із числовим програмним управлінням складається із блоку керування верстатом (*machine-control unit — MCU*) і самого верстата (рис. 8.1). MCU, що виконує функції "мозку" верстатної системи, зчитує програму обробки деталей і управляє роботою верстата. Ці операції виконуються двома окремими модулями MCU: модулем обробки даних (*data processing unit — DPU*) і замкненою системою автоматичного регулювання (*control loop unit — CLU*).

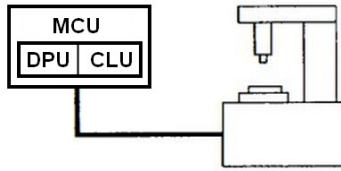


Рисунок 8.1 - Схема верстата з ЧПУ

Модуль DPU зчитує програму обробки деталі зі стрічки або іншого носія, декодує оператори, обробляє декодовану інформацію й передає в модуль CLU відомості про положення по кожній з осей верстата, напрямку руху, подачі й додаткових керуючих сигналах.

Вісь, або *ступінь свободи (axis)* верстата, визначається як напрям відносного руху різального інструменту й заготовки. Осей у верстата може бути кілька. Модуль CLU ухвалює дані від DPU і перетворює їх у керуючі сигнали. Він управляє приводними механізмами верстата, ухвалює сигнали зворотного зв'язку, що несуть інформацію про реальне положення й швидкості по кожній з осей, а також вимагає від DPU вважати наступні інструкції із програми обробки деталі, коли виконання чергової операції завершується.

DPU складається із пристрою введення даних (такого як, наприклад, пристрій зчитування з перфострічки), ланцюги читання даних і декодувальних ланцюгів, що визначають необхідні зсуви по осях. У верстатних системах першого й другого поколінь DPU забезпечувався пристроєм читання з перфокарт (рис. 8.2), на яких тоді записувалися програми.

CLU складається з інтерполятора, ланцюгів контролю положень по всіх осях, ланцюгів контролю швидкостей, ланцюгів гальмування й вибору люфту, а також пристроїв контролю додаткових функцій. Інтерполятор забезпечує виробіток команд для проміжних точок у про-

цесі руху різця. Ланцюги контролю положень управляють положенням різця відповідно до осей. Ланцюги контролю швидкості використовуються в тому випадку, коли потрібне регулювання швидкості подачі. Пристрої контролю додаткових функцій вирішують такі завдання, як включення й вимикання охолодження, зміна передач і подача бабки.

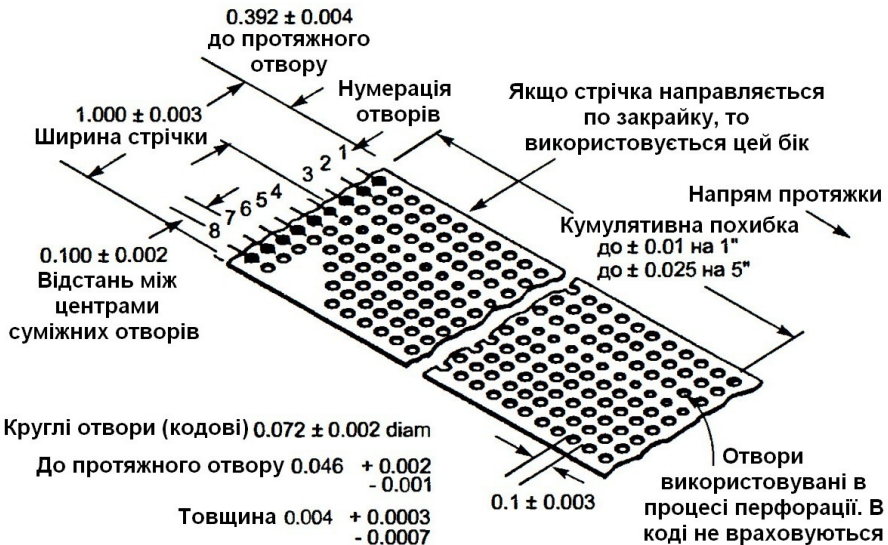


Рисунок 8.2 - Перфострічка

Типи систем ЧПУ.

Контролери ЧПУ діляться на дві основні категорії: *системи позиційного регулювання (point-to-point або FTP)* і *пристрої контурного керування (contouring)*. Контролер типу FTP використовується в тому випадку, коли траєкторія руху інструмента щодо деталі не має значення, наприклад, якщо інструмент не торкається деталі при переміщенні від однієї точки до іншої.

Найчастіше така ситуація має місце при свердлінні, пробиванні, нарізці різьблення й установці компонентів на друкованій платі. Позиційне регулювання реалізується досить просто, а тому верстат з таким контролером коштує недорого. Він може виконувати й прості фрезерувальні операції, якщо постачити його механізмом контролю

швидкості подачі при переміщенні від однієї точки до іншої. Такий верстат можна використовувати для фрезерування пазів.

Пристрій контурного керування використовується в тих випадках, коли важлива траєкторія руху інструмента щодо деталі: на фрезерувальних і токарських верстатах, газових різаків, зварювальних установках і шліфувальних верстатах.

У таких пристроях потрібне одночасне керування по двом і більш осям, причому швидкість по кожній осі може задаватися незалежно. Наприклад, інструмент може рухатися по будь-якій траєкторії в площині xy , якщо система буде управляти співвідношенням компонентів швидкості. Таким чином, контролер ЧПУ може забезпечувати, наприклад, рух по окружності при завданні центру, радіуса й кінцевих точок дуги.

Системи NC, CNC, DNC.

Верстати з ЧПУ першого й другого покоління, що працювали на лампах і твердотільних ланцюгах, зчитували програму винятково з перфострічок. У той час не було можливості зберігати програму в MSU, а обробляти команди цей блок міг тільки по одній. Верстати такого класу називаються *верстатами зі ЧПУ типу NC*, або просто *верстатами з ЧПУ*.

Керуючі ланцюги верстатів третього покоління збиралися на інтегральних схемах, до яких додавалися блоки пам'яті. Технології, що широко використовувалися в комп'ютерній техніці, дозволили в 1970 р. створити контролер у його сучасному вигляді.

Верстат з таким контролером називається *комп'ютеризованим (computer numerical control — CNC)*. Завдяки наявності блоку пам'яті MSU вимагає лише однократного завантаження програми. Збережена в комп'ютері програма може бути викликана для подальшого використання без необхідності повторного зчитування для кожної деталі з партії, як це було в системах зі ЧПУ типу NC.

Наявність комп'ютерного інтерфейсу, крім того, дозволяє обмінюватися даними між блоками інтегрованих систем. Наприклад, CNC може взаємодіяти з іншими модулями: роботами й автоматизованими верстатами.

Пізніше до верстатів були додані індикаторні дисплеї, що забезпечують можливість діагностики й аналізу, що також спрощують редагування програм обробки деталей. Більш складні верстати можуть

наочно відображати траєкторію руху інструмента.

Сучасний контролер CNC нагадує персональний комп'ютер. Насправді він цілком може вважатися спеціалізованим комп'ютером, призначеним для керування верстатами. Крім процесора й ПЗП (ROM) у контролері є ОЗП (RAM), жорсткий диск, комунікаційні порти, клавіатура, дисплей, а іноді й графічний пристрій введення — миша, трекбол або сенсорний екран. Останнім часом стали випускатися контролери на базі персональних комп'ютерів, що відрізняються від звичайних комп'ютерів тільки наявністю спеціальної плати сервоконтролера.

Наявність ПЗП дозволяє використовувати запрограмовані послідовності команд, називані *фіксованими циклами* (*canned cycles*). Вони можуть бути визначені як стандартні підпрограми й зберігатися в бібліотеці верстата. Будь-яка програма може викликати й використовувати будь-яку підпрограму за допомогою спеціального коду.

Слово "фіксований" указує на те, що підпрограма зберігається в постійній пам'яті, а "циклом" вона називається через повторний характер обігів. Типовими прикладами фіксованих циклів є підпрограми свердління, нарізування внутрішнього різьблення, розточення й нарізування зовнішнього різьблення.

ЧПУ туну DNC (Direct Numerical Control) являє собою систему виробництва, що складається із центрального комп'ютера, що управляє декількома верстатами одночасно (рис. 8.3).



Рисунок 8.3 – Схема прямого числового управління

Керуючий комп'ютер одержує дані про оброблювану деталь або із власного пристрою зберігання, або із зовнішнього джерела. Він пересилає блоки команд верстатам, що здійснюють фактичне виробництво.

тво деталі. Ця технологія повністю ґрунтується на взаємодії центрального комп'ютера з верстатами.

Пряме (direct) числове управління згодом було замінено *розподіленим (distributed)*, яке полягає в тому, що центральний комп'ютер повністю завантажує на верстати з ЧПУ типу CNC програми обробки відповідних деталей. Ці верстати можуть зберігати у власній пам'яті одну або навіть кілька програм, і тому не залежать від центрального комп'ютера.

Абревіатура DNC використовувалася для позначення обох типів систем, однак згодом стала мати на увазі саме розподілене керування, оскільки популярність його сильно зросла. До складу деяких систем DNC включаються комп'ютери-сателіти (звичайно робочі станції або персональні комп'ютери), по одному на кожному верстаті.

Це збільшує швидкодію системи в цілому, дозволяє працювати з більшими файлами й поєднувати в мережу більша кількість верстатів (рис. 8.4). На комп'ютери-сателіти часто встановлюється програмне забезпечення для надання звітів про роботу верстатів на центральний комп'ютер, що спрощує керування цехом.

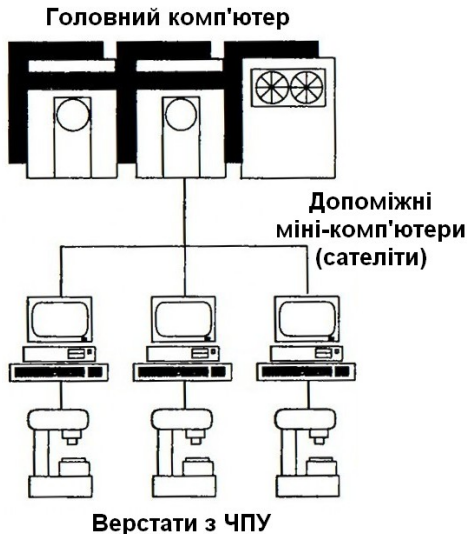


Рисунок 8.4 – Схема розподіленого числового управління

Основи складання програм обробки деталей.

Програма обробки деталей містить відомості про геометричну форму деталі й про переміщення різця щодо заготовки. Отже, програміст повинен якимось чином сформулювати ці відомості й записати їх. Опис геометрії й переміщень вимагає, у першу чергу, завдання системи координат. Якщо система координат програміста відрізняється від основної системи координат верстата, деталь вийде неправильно.

Тому програміст повинен завжди перевіряти орієнтацію системи координат, у якій задається траєкторія руху різця. Якщо траєкторія будується за даними з бази CAD, система координат моделі або креслення повинна бути повністю ідентичною системі координат верстата.

Програма обробки деталі має свій власний синтаксис і семантику, також формат команд або блоків, як їх ще називають, а також синтаксис і значення слів кожного блоку. Блоком називається рядок слів програми обробки деталі. Кожний блок складається з декількох команд.

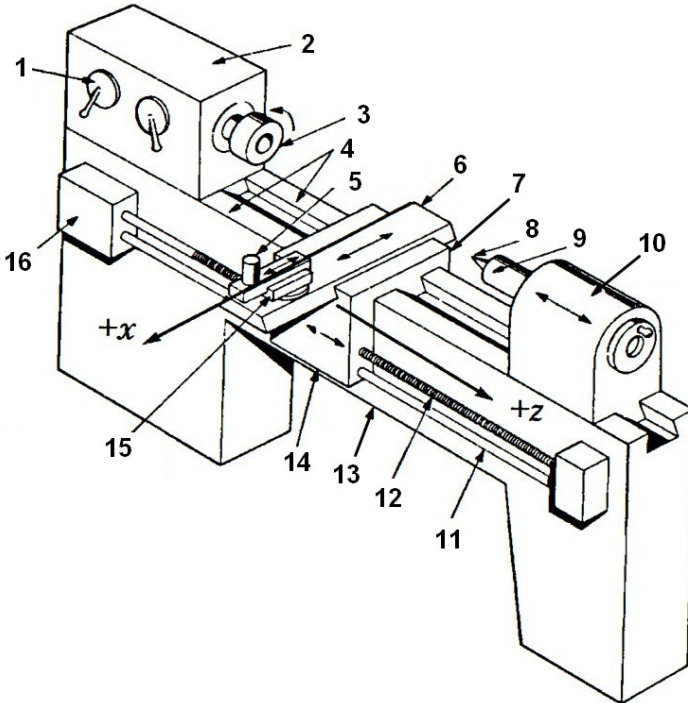
Системи координат.

Відносно переміщення інструмента й заготовки здійснюється за допомогою напрямних верстата. Три основні осі переміщення називаються осями x , y і z і утворюють праву систему координат. Позитивні напрямки осей звичайно визначаються виробником верстата. За загальною згодою позитивний напрямок осі z відповідає віддаленню інструмента від заготовки.

- **Вісь z .** На верстатах, подібних токарському, де деталь обертається під час її обробки, вісь z направляється паралельно шпинделю, а рух уздовж цієї осі в позитивному напрямку видаляє інструмент від заготовки (рис. 8.5). Якщо ж обертається не деталь, а інструмент, як на фрезерувальному, свердлильному й розточувальному верстатах, вісь z вибирається паралельно осі інструмента. Як і у верстатів з обертовою заготовкою, рух уздовж осі z у позитивному напрямку видаляє інструмент від заготовки (рис. 8.6 а, б). В інших верстатах, до яких відносяться преси, стругальний і стригальний верстати, вісь z направляється перпендикулярно набору інструментів.
- **Вісь x .** У верстатах з обертовою деталлю за вісь x ухвалюється напрямок переміщення інструмента (різця), а рух уздовж цієї осі в позитивному напрямку видаляє інструмент від заготовки (рис. 8.5). На вертикальних фрезерувальному й свердлильному верстатах позитивний напрямок осі x відповідає

напрямку правої руки оператора, що коштує особою до верстата (рис. 8.6 а). На горизонтальному фрезерувальному верстаті вісь x направляється паралельно столу (рис. 8.6 б).

- **Вісь y .** Напрямок осі y вибирається виходячи з напрямків осей x і z відповідно до правила правої руки.

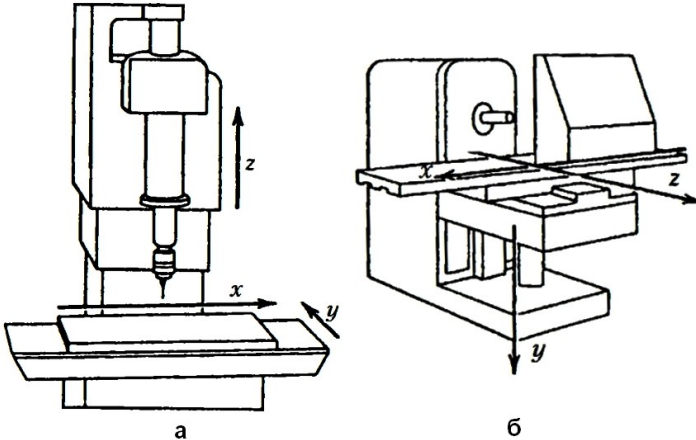


- 1 - швидкість шпинделя, 2 - передня бабка, 3 - шпиндель, 4 - напрямні,
 5 - тримач, 6 - поперечний супорт, 7 - каретка супорта, 8 - центр,
 9 - шпиндель задньої бабки, 10 - задня бабка,
 11 - тяга механізму подачі, 12 - гвинт подачі, 13 - станина,
 14 - фартух, 15 - поворотний тримач різця, 16 - коробка передач

Рисунок 8.5 – Система координат токарного станка

У деяких верстатів ступенів свободи може бути більше трьох; зайві ступені свободи називаються додатковими. Можуть також існувати обертальні осі, паралельні осям x , y і z . За загальною згодою верстати класифікуються відповідно до кількості координат, необхідних

для завдання положення й орієнтації різця. Наприклад, фрезерувальний верстат може мати 2, 3 або 5 осей відповідно з тим, скільки координат можуть одночасно задаватися контролером. Якщо контролер може одночасно переміщати різець лише по двом осям, верстат називається двовісним, або таким що має два ступені свободи.



а - вертикальний свердлувальний; б – горизонтальний фрезерний

Рисунок 8.6 – Система координат верстатів

У цьому випадку інструмент може незалежно переміщатися уздовж третьої осі. Якщо у верстата є три ступені свободи, інструмент може переміщатися по довільній кривій у тривимірному просторі, але не може змінювати орієнтацію. Якщо ж потрібна зміна орієнтації різця одночасно з переміщенням його в просторі, верстат повинен мати більшу кількість ступенів свободи. У продажі зустрічаються верстати, що мають до дев'яти ступенів свободи.

Синтаксис програми обробки.

Для написання програм обробки деталей використовуються різні формати представлення інформації. Сама програма обробки звичайно розробляється відповідно до досить добре визначеного синтаксису, незначні відхилення від якого можуть бути пов'язані з особливостями конкретних контролерів. Контролер зчитує інструкції у вигляді послідовності блоків, що містять команди на установку параметрів,

швидкостей по осях, а також на виконання інших операцій. Блоком називається рядок слів програми обробки. Кожна команда позначається буквою, за якою іде певне число.

Складання програм вручну.

Мається на увазі, що програміст без усякої допомоги з боку комп'ютера записує блоки програми на рукописному бланку. Потім за допомогою флексорайтера (Flexowriter) із цього бланка одночасно одержують набраний текст і перфострічку. Кожний рядок рукописного бланка еквівалентний блоку перфострічки й закінчується символом кінця блоку (EOB).

Складність програмування вручну полягає в тому, що програма описує траєкторію руху інструмента, а не геометрію деталі. У контурному регулюванні це означає, що координати задають положення центру різця, а не положення точок реального контуру деталі.

Програміст може скористатися функцією *корекції на різальний інструмент (cutter compensation)*, що дозволить йому не обчислювати координати положення центру різця. Однак йому однаково прийдеться додати додаткові точки, що з'єднують розрахункові траєкторії.

Автоматизоване складання програм.

Однією з альтернатив складанню програм обробки вручну є використання мов програмування високого рівня замість кодів, незручних для запам'ятовування. Мови високого рівня засновані на звичайних англійських командах і зручних математичних символах. Вони можуть інтерпретуватися персональними комп'ютерами.

Програміст, що працює з такою мовою, повинен вирішувати два завдання. По-перше, він повинен визначити геометрію деталі в термінах базових геометричних елементів, таких як точки, лінії, окружності й т.п. По-друге, він повинен скласти програму обробки деталі по цих елементах. Відступ автоматично обчислюється самою системою, причому робиться це набагато ефективніше, чим у ранніх системах.

Програмування обробки по базі CAD.

Більшу частину програм обробки деталей становлять оператори, що визначають геометрію цих деталей. Якщо деталь вже спроектована в CAD, з погляду програміста цілком природно скористатися даними про її геометрію, що зберігаються в базі даних CAD. Навіть якщо де-

таль не була спроектована в CAD, побудова її креслення в такій системі набагато зручніша опису її спеціальною мовою, особливо якщо деталь має криволінійні границі й поверхні.

Перераховані ідеї лягли в основу інтегрованих систем CAD/CAM. У таких системах геометричні оператори передаються з бази CAD у програму ЧПУ, а в деяких випадках по них автоматично складаються оператори переміщень, що управляють рухом різального інструменту. Раніше всі ці завдання виконувалися програмістом.

Складання програми обробки деталей за допомогою інтегрованої системи CAD/CAM здійснюється в наступній послідовності.

1. Виділяються елементи геометрії деталі, особливо важливі при машинній обробці. Ці елементи можуть бути виділені в окремий шар креслення. Геометрія деталі може зажадати редагування або розширення (з метою включення границь, що визначають рух різального інструменту). Геометричні відомості, необхідні для складання програми обробки, залежать від того, яким методом і на якому верстаті проводиться дана деталь. Наприклад, токарські операції (гостріння, підрізування торця, проточка канавок і нарізка різьблення) вимагають знання двовимірного профілю (рис. 8.7 а).

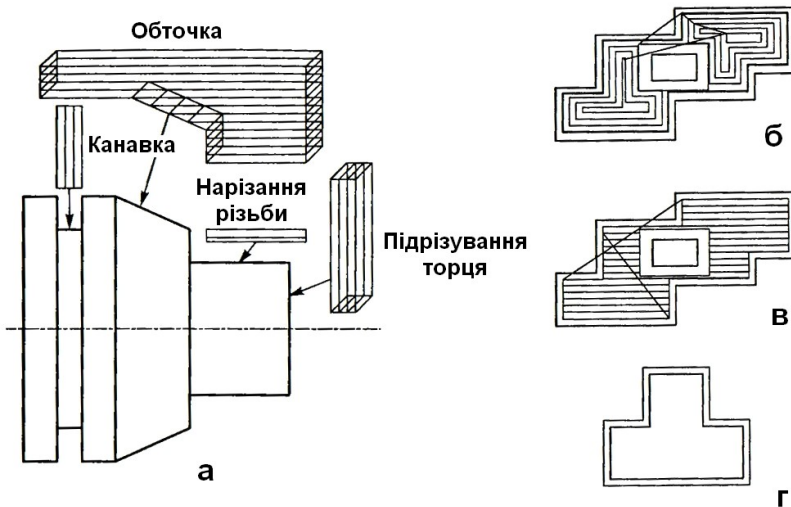


Рисунок 8.7 - Геометрія в токарських операціях

Цей профіль може бути отриманий безпосередньо з бази даних CAD, якщо деталь була спроектована за допомогою системи автоматизованої розробки креслень, вбудованої в інтегровану систему CAD/CAM. Правда, від користувача може знадобитися побудова профілю в окремому шарі, а якщо ні, то програма попросить його ізолювати профіль від інших об'єктів (зокрема, анотацій, які теж можуть перебувати на кресленні).

Якщо деталь була побудована в системі об'ємного моделювання, що входить до складу інтегрованої системи, користувачеві прийдеється проектувати об'ємну модель на площину для одержання її профілю або ж шукати вихідний профіль, по якому ця деталь будувалася. У кожному разі для визначення профілю може знадобитися деяка робота в інтерактивному режимі.

Двовісні операції фрезерування і свердління, подібно токарським, вимагають подачі на вхід двовимірної геометрії деталі. Операції контурної обробки й фрезерування глибоких вилучень (рис. 8.7 б) можуть ґрунтуватися на відомостях із двовимірної або тривимірної бази даних, як і операції токарської обробки. На рис. 8.7, б, в показані глибокі вилучення двох типів, а на рис. 8.7, г - профіль.

Крім згаданих операцій існують також операції різання газовим зварюванням і плазмовим різакон, пресування на револьверному пресі з ЧПУ. Ці операції теж працюють із двовимірною геометрією, відомості про яку, отже, повинні якимось чином вийматися з бази даних деталей. Звичайно користувачеві доводиться вручну вибирати на малюнку елементи, що утворюють необхідну геометрію.

Якщо поверхні деталі повинні оброблятися на три- або п'ятивісному фрезерувальному верстаті в режимі контурного регулювання, для складання програми будуть потрібні геометричні відомості про поверхні. Ці відомості можуть бути перенесені в програму, якщо деталь була спроектована в системі поверхневого або об'ємного моделювання інтегрованої системи, що входить до складу, CAD/CAM.

У цьому випадку користувачеві прийде в інтерактивному режимі вказати поверхні для обробки (визначивши для них роль поверхонь деталі), а також задати сусідні з ними поверхні (які будуть відігравати роль поверхні руху й контрольних поверхонь).

Незважаючи на необхідність виконання деяких дій в інтерактивному режимі, переваги від використання інтегрованих систем дуже істотні, оскільки описати складні криволінійні поверхні спеціальною

мовою, дуже складно, а часто виявляється практично неможливо.

2. Визначається геометрія різального інструменту. Програма не забезпечення звичайно включає бібліотеки інструментів, з яких користувач може вибирати потрібні йому екземпляри.

3. Користувач визначає бажану послідовність операцій обробки й планує необхідні траєкторії руху різального інструменту з відповідними параметрами обробки. Траєкторією різального інструменту називається траєкторія, яку описує інструмент але в міру того, як він наближається зі свого вихідного положення до заготовки, виконує її обробку й знову вертається у вихідне положення.

Траєкторія звичайно повторюється кілька раз, поки різальний інструмент знімає шар усе більшої й більшої товщини. Для простих операцій траєкторія різального інструменту може будуватися системами автоматично.

4. Після планування траєкторії руху координати x , y и z точок на цій траєкторії обчислюються програмою ЧПУ з урахуванням обраного різця й геометрії деталі. Використання безлічі точок на кожній траєкторії (тобто апроксимація більшою кількістю прямих сегментів) дасть більш точну відповідність поверхні очікуваній формі. Однак програма обробки може виявитися довшою, що знизить швидкість її передачі на DNC.

5. Побудована траєкторія руху інструмента може бути перевірена на графічному моніторі. Звичайно при цьому на екран виводиться анімована картинка, що зображує рух різця в процесі обробки деталі. Якщо в програмі виявляються помилки, користувач завжди може змінити її й перевірити знову. Деякі цикли обробки можуть реалізовуватися у вигляді макросів.

6. По скоректованих траєкторіях формується CL-Файл (з координатами точок на цих траєкторіях), який потім обробляється постпроцесором, у результаті чого виходить файл у машинному коді (MCD-Файл). Цей файл і передається контролеру верстата.

Про те, яким чином розраховуються й перевіряються траєкторії руху різального інструменту при обробці поверхонь фрезеруванням – написано у спеціальній літературі по металообробці. Якщо мова йде про обробку двовимірних профілів, як, наприклад, при свердлінні або двовісному фрезеруванні, траєкторії розраховуються за допомогою елементарної аналітичної геометрії, розглядати яку в цьому курсі немає необхідності.

7. Побудова траєкторій.

Обробка поверхні на фрезерувальному верстаті із трьома або п'ятьма ступенями свободи й контурним регулюванням може зажадати побудови декількох траєкторій. Якщо потрібно зняти товстий шар матеріалу, звичайно розраховуються траєкторії двох типів: спочатку робиться чорновий прохід і знімається основна частина матеріалу, а потім здійснюється завершальна тонка обробка (доведення), що дає деталь бажаної форми. У деяких випадках доводиться робити ще й третій, проміжний, прохід.

Питання для самоперевірки

1. Що таке числове програмне управління?
2. Хто винайшов ЧПУ?
3. Розкажіть про апаратну конфігурацію верстата з ЧПУ.
4. Навіщо необхідна перфострічка?
5. Назвіть типи систем ЧПУ.
6. Розшифруйте аббревіатури NC, CNC, DNC.
7. З чого складається сучасний комп'ютеризований верстат CNC?
8. З чого складається розподілене числове управління?
9. Розкажіть про системи координат верстатів.
10. Який основний недолік ручного складання програм ЧПУ?
11. Які основні ідеї лягли в основу автоматичного складання програм для верстатів з ЧПУ?
12. В якій послідовності складають програми обробки деталей за допомогою інтегрованої системи CAD/CAM?

ЛЕКЦІЯ № 9. ШВИДКЕ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОТОТИПІВ

План лекції. Появлення систем твердотілого моделювання та їх відмінність від ЧПУ. Основні принципи та різновиди сучасних технологій швидкого виготовлення прототипів.

Література: [2], с. 378-435.

На попередній лекції ви познайомилися з обробкою на верстаті зі ЧПУ й довідалися, як використовуються геометричні дані з бази даних CAD при обробці деталі. Хоча геометрична модель використовувалася як джерело загальних даних, процеси проектування й виробництва не були безпосередньо інтегровані в процедуру обробки.

Іншими словами, щоб верстат зі ЧПУ міг виконати обробку за даними геометричної моделі, був потрібен ряд проміжних кроків: планування процесів, вибір конструкцій затискачів і кріплень, вибір устаткування.

Існує ще один спосіб використання геометричної моделі у виробництві - це швидке прототипування. Існують різні процеси швидкого прототипування, але всі їх поєднує те, що прототип виготовляється шляхом пошарового накладення композитного матеріалу.

Швидке виготовлення прототипу (Rapid Prototyping - RP) - це нові технології, що активно розвиваються в проектній і виробничій індустрії. Надають можливість одержувати фізичні деталі і моделі без інструментального їхнього виготовлення, шляхом перетворення даних, що надходять безпосередньо з CAD-системи, одержати креслення і проекти в 3D-представленні, тільки натиснувши кнопку.

При завершенні роботи на CAD-робочій станції над ідеєю або проектом, можна дати команду "друк", і протягом декількох годин або днів, у залежності від розміру, одержати фізичну модель виробу.

У порівнянні з іншими методами (виготовлення моделей з пінопласту, дерева, воску вручну або на верстатах із ЧПУ), що існували до середини 80-х років, поява систем швидкого виготовлення прототипів була переверотом у технології.

Замість того, щоб чекати фізичні моделі протягом декількох тижнів, конструктори можуть одержувати їх через кілька днів або годин.

В даний час на ринку існують різні RP-системи, що роблять моделі по різних технологіях і з різних матеріалів. Однак, усі сучасні системи для швидкого виготовлення прототипів, працюють по схожому, пошаровому принципу побудови фізичної моделі, що полягає в наступному:

- зчитування тривимірної геометрії з 3D CAD-систем у форматі STL (звичайні твердотільні моделі або моделі з замкнутими поверхневими контурами). Усі CAD-системи твердотільного моделювання можуть видавати файли STL;
- розбивка тривимірної моделі на поперечні перерізи (шари) за допомогою спеціальної програми, що поставляється з устаткуванням або використовується як додаток;
- побудова перетинів деталі шар за шаром знизу нагору, доти, поки не буде отриманий фізичний прототип моделі. Шари розташовуються знизу нагору, один над іншим, фізично зв'язуються між собою. Побудова прототипу продовжується доти, поки надходять дані про перетини CAD-моделі.

Основна перевага швидкого прототипування полягає в тому, що прототип створюється за один раз, вихідними даними для нього є безпосередньо геометрична модель деталі. Таким чином, відпадає необхідність у плануванні послідовності технологічних процесів, спеціальному устаткуванні для обробки матеріалів, транспортуванні від верстата до верстата і т.п.

Однак у порівнянні з обробкою на верстаті зі ЧПУ цей процес має істотний недолік - обмеженість вибору матеріалів. Оскільки верстати зі ЧПУ здатні обробляти більшу частину доступних промислових матеріалів, включаючи метали, то фізичні об'єкти, виготовлені методом швидкого прототипування, використовуються головним чином у якості прототипів або шаблонів для інших виробничих процесів.

Після появи систем твердотільного моделювання на початку 70-х р. XX ст. робилися спроби генерувати фізичні об'єкти безпосередньо з геометричних даних, не використовуючи традиційні інструменти.

Нова технологія одержала назву швидке прототипування (rapid prototyping), а також пошарове виготовлення (layered manufacturing), тривимірний друк (3D printing), настільне виготовлення (desktop manufacturing) і виготовлення об'ємних деталей довільної форми (solid freeform manufacturing).

Відтоді ця технологія пішла далеко вперед, знайшовши безліч

застосувань на виробництві крім виготовлення прототипів. Виходячи із цього, більш вдалим позначенням для неї в даний момент є термін швидке прототипування й виготовлення (rapid prototyping and manufacturing).

В своїй основі процеси швидкого прототипування й виготовлення складаються із трьох кроків: формування поперечних перерізів об'єкта що виготовляється, пошарове накладення цих перетинів і комбінування шарів. Таким чином, щоб створити фізичний об'єкт, цим процесам потрібні дані лише про поперечні перерізи; крім того, зникають наступні проблеми, що часто виникають у зв'язку з іншими виробничими процесами:

- відпадає необхідність у топологічному проектуванні й розпізнаванні по елементах, оскільки планування процесів, у ході якого використовується ця інформація, не потрібно. Аналогічним образом, не потрібно перетворювати елементи конструкції в елементи виготовлення. Досить мати тривимірну поверхневу або твердотільну модель деталі, на основі якої будуть згенеровані дані поперечних перерізів;
- непотрібно визначати геометрію порожнього простору, оскільки в ході процесів виготовлення, матеріал додається, а не знімається;
- непотрібно визначати кілька наборів устаткування або складні послідовності обробки матеріалу, оскільки деталь виготовляється за один раз.
- немає необхідності розглядати конструкції затискачів і кріплень (деякі процеси можуть вимагати створення разом з деталлю підтримуючих структур);
- непотрібно проектувати й виготовляти форми та штампи, тому що процеси виготовлення є безінструментальними.

Таким чином, оскільки процеси швидкого прототипування дозволяють створити фізичний об'єкт без використання інструментів, вони добре підходять для інтеграції проектування й виготовлення без планування процесів.

Шари поперечних перерізів можуть створюватися й комбінуватися одним з наступних методів:

- полімеризація смол лазером, іншими джерелами світла або лампами;
- вибіркове спікання твердих часток або порошку променем

- лазера;
- зв'язування рідких або твердих часток шляхом склеювання або зварювання;
- різання й ламінування листового матеріалу;
- плавлення й затвердіння.

Розглянемо більш детально **основні типові процеси швидкого прототипування й виготовлення**, засновані на цих методах. Робота деяких RP-систем заснована на фотополімеризації - хімічному процесі, при якому рідка смола (полімер) перетворюється у твердий полімер під впливом на неї ультрафіолетового випромінювання або випромінювання видимої частини спектра. Інші RP-системи працюють з використанням теплових процесів для побудови фізичних моделей.

Стереолітографія. Наприкінці 70-х — початку 80-х рр. XX ст. А. Герберт із корпорації 3М у Мінеаполісі, Х. Кодама з Дослідницького інституту префектури Нагоя в Японії, та К. Халл із корпорації Ultra Violet Products (UVP) у Каліфорнії, незалежно один від іншого працювали над ідеями швидкого прототипування, заснованими на вибіркового затвердінні поверхневого шару фотополімеру й побудові тривимірних об'єктів з послідовно накладених шарів.

Герберт і Кодама припинили роботу через недолік фінансування, так і не зумівши розробити комерційний продукт. Халл завдяки стабільній підтримці від UVP розробив систему, здатну автоматично виготовляти деталі складної форми. Халл увів в обіг термін стереолітографія (stereolithography) і в 1986 р. заснував корпорацію 3D Systems, яка почала робити стереолітографічні апарати (stereolithography apparatus - SLA).

Процес виготовлення деталі зображений на рис. 9.1, і відбувається наступним чином:

- фоточутливий полімер, затвердіваючий на світлі, підтримується в рідкому стані;
- на товщину одного шару нижче поверхні рідкого полімеру розташовується платформа, здатна рухатися у вертикальному напрямку;
- ультрафіолетовий лазер сканує шар полімеру над платформою, призводячи до затвердіння полімеру згідно форми відповідного поперечного перетину. Зверніть увагу, що цей процес починається з нижнього поперечного перетину деталі;

- платформа опускається у ванну з полімером на товщину одного шару, даючи полімеру розтектися по поверхні деталі для початку нового шару;
- кроки 3 і 4 повторюються, поки не буде нарощений верхній шар деталі;
- для повного затвердіння деталі виконується остаточне затвердіння. Цей крок необхідний, оскільки в кожному шарі можуть ще залишатися рідкі ділянки. Тому що лазерний промінь має кінцеві розміри, сканування кожного шару аналогічно зафарбовуванню деякої фігури тонкою кольоровою ручкою.

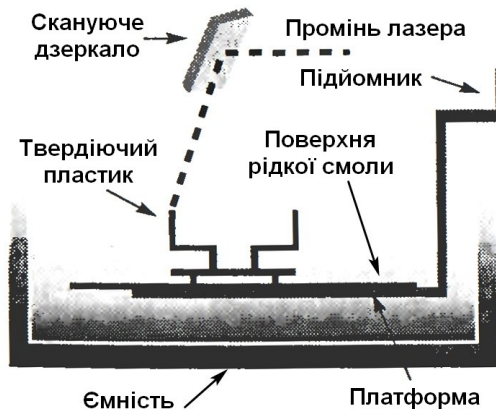


Рисунок 9.1 – Стереолітографія

Стереолітографія найбільш популярна серед процесів швидкого прототипування й виготовлення, та її інтерфейс із твердотільною моделлю став стандартом для інших процесів. Однак вона вимагає створення підтримуючих структур, якщо деталь має вирізи знизу, тобто верхній поперечний переріз деталі має більшу площу, ніж нижній.

Тривимірний друк (рис. 9.2), був розроблений у Масачусетському Технологічному інституті. Цей процес тривимірного друку був названий так через свою схожість із друком на струминному принтері. Проте у тривимірному друці замість чорнила використовується рідка зв'язувальна речовина.

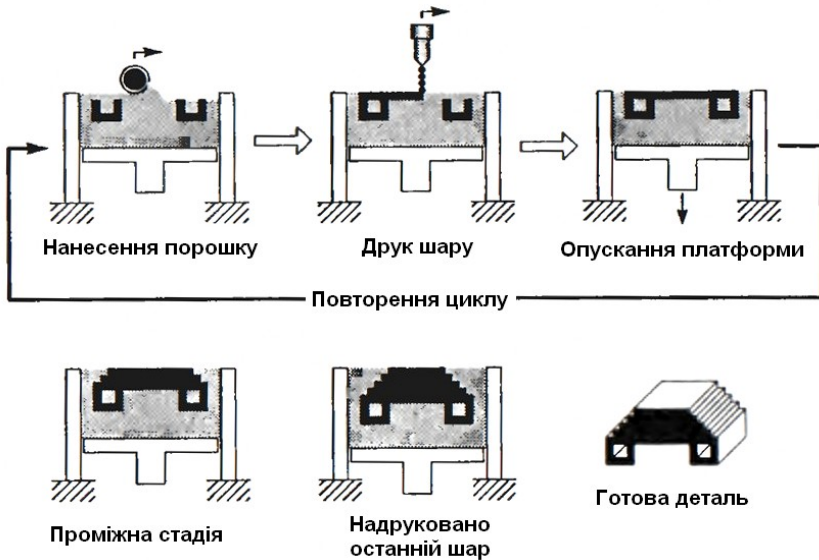


Рисунок 9.2 – Тривимірний друк

Процес тривимірного друку відбувається наступним чином:

- платформа розташовується на висоті, необхідній для того, щоб можна було нанести на неї шар керамічного порошку належної товщини;
- нанесений шар керамічного порошку вибірково сканується друкуючою голівкою, з якої надходить рідка зв'язувальна речовина, що викликає прилипання часток одна до іншої. Скановані друкуючою голівкою частки утворюють необхідну форму поперечного перерізу. Зверніть увагу, що цей крок починається з нижнього поперечного перерізу;
- платформа опускається на одну товщину шару, дозволяючи нанести наступний шар порошку;
- новий шар сканується, утворюючи наступний поперечний переріз і склеюючись із попереднім шаром;
- кроки 3 і 4 повторюються, поки не буде створений верхній шар деталі. Для затвердіння деталі проводиться наступна теплова обробка.

За допомогою тривимірного друку зручно виготовляти форми

для лиття, оскільки форма виготовляється як цільна деталь, що складається з оболонки й порожнин, і положення порожнин щодо оболонки можна задавати точно. Однак форми для лиття, виготовлені шляхом сучасної тривимірного друку, мають невисоку якість поверхні.

Ламінування. У процесі ламінування (laminated object manufacturing - LOM), комерціалізованому фірмою Helisys, деталь виготовляється шляхом ламінування й лазерного різання матеріалів, що надходять у листовому виді (рис. 9.3). Злипання аркушів відбувається за рахунок наявності термоадгезивного покриття.

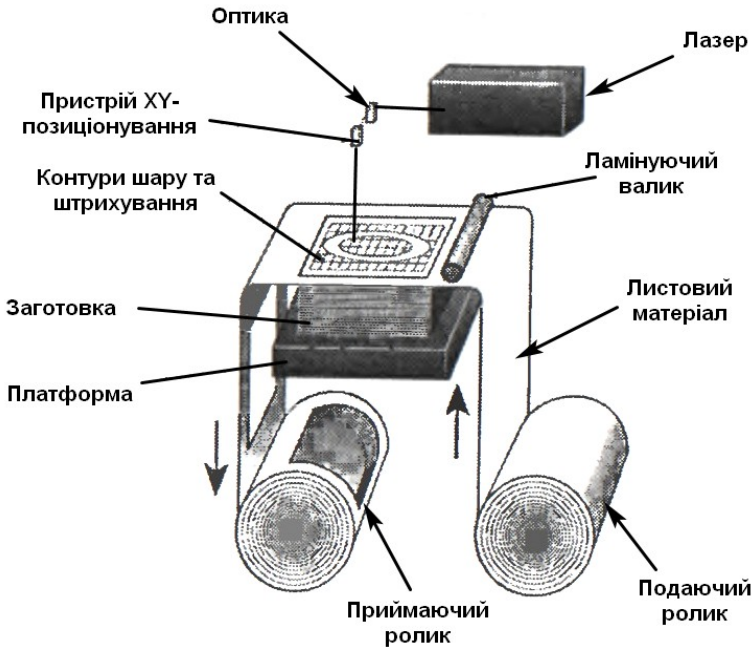


Рисунок 9.3 – Ламінування

Процес ламінування протікає наступним чином:

- кожний аркуш приклеюється до заготовки за допомогою нагрівання й тиску, утворюючи черговий шар. Аркушевий матеріал подається у вигляді безперервного рулону з однієї сторони машини й збирається із протилежної сторони (рис. 9.2). Температуру й тиск, необхідні для ламінування, забезпечує

нагрітий валик. Зверніть увагу, що коли до стопки приклеюється наступний аркуш, платформа опускається на товщину одного аркуша;

- після того як шар (аркуш) приклеєний, він сканується лазером уздовж контурів поточного поперечного перерізу. Звичайно для цієї мети використовується лазер на вуглекислому газі потужністю 25 або 50 Вт. Як і в інших процесах, цей крок починається з нижнього поперечного перерізу. Зверніть увагу, що тут сканування проводиться тільки по контурах. Це робить даний процес більш ефективним, ніж процеси, які вимагають растрового сканування;
- області шару, що виходять за межі контурів, штрихуються лазером (тобто розсікаються на маленькі шматочки, називані черепицями (tiles), для наступного видалення, коли деталь буде закінчена);
- кроки 1-3 повторюються доти, поки не буде наклеєний і вирізаний верхній шар деталі;
- після того як усі шари будуть готові, результатом буде деталь, що перебуває усередині блоку підтримуючого матеріалу. Цей матеріал потім розламується на шматочки уздовж ліній лазерного штрихування;
- готову деталь можна покрити герметиком, щоб охоронити її від вологості.

Наявність підтримуючого матеріалу навколо деталі має свої переваги й недоліки. Насамперед, вона виключає необхідність у зовнішніх підтримуючих структурах. При виготовленні деталі усередині блоку підтримуючого матеріалу, що має певну форму, геометрія всієї структури стабілізована в процесі виготовлення її, відповідно, їй не загрожує перекид під власною вагою.

Більше того, не доводиться турбуватися про ізольовані "острівці", які часто утворюються, коли тверде тіло, спроектоване в CAD-системі, розсікається на шари. Іншими словами, ламінування дозволяє уникнути створення спеціальних підпірок, які точно фіксували б ці "острівці" у просторі, поки в процесі виготовлення не будуть створені "мости" до частин, що залишилися, деталі. Однак видалення зайвого матеріалу по закінченню виготовлення деталі є непростим завданням.

Щоб гарантувати, що будуть вилучені тільки надлишки, а тендітні частини деталі не будуть при цьому зламані, необхідне дбайливе

очищення, виконуване вручну. Крім того, порожню структуру із замкненими поверхнями неможливо виготовити у вигляді єдиної частини, оскільки в цьому випадку надлишки матеріалу неможливо буде витягти зсередини.

Складність видалення непотрібного матеріалу характеризує будь-яку частину з вузькими перемичками, внутрішніми порожнинами з обмеженим доступом, сліпими отворами й т.п. Далі, більша частина матеріалу, що витрачається при ламінуванні, іде не на саму деталь, а залишається невикористаною в рулоні або утворює підтримуючі структури, які будуть вилучені після виготовлення. Це може бути досить марнотратно, якщо застосовуються більш дорогі матеріали, ніж папір.

Процес **моделювання методом наплавлення** (fused-deposition modeling — FDM) - відносно простий але його застосування обмежене термопластичними матеріалами (рис. 9.4). Комерційна реалізація цього методу виконана фірмою Stratasys.

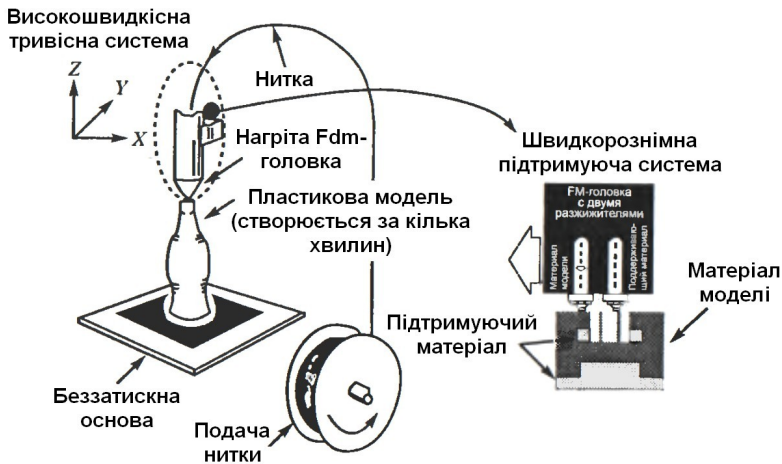


Рисунок 9.4 - Моделювання методом наплавлення (Stratasys Inc.)

У процесі наплавлення, кожний шар формується шляхом видавлювання термопластичного матеріалу, що перебуває в рідкому стані (рис. 9.4), а сама деталь виготовляється шляхом послідовного наплавлення шарів. Температура матеріалу, що видавлюється, незначно перевищує його температуру затвердіння: це аналогічно створенню на-

писів на торті шоколадним кремом.

Вартість. Розроблювачі RP-систем останнім часом орієнтуються на випуск недорогих і швидкодіючих машин, знижуючи вартість і збільшуючи обсяг робочої камери. Таким чином, нові технології виготовлення прототипів дозволяють значно скоротити терміни виготовлення моделей для візуалізації, припасування, виготовлення оснащення й інших застосувань, що забезпечує: скорочення циклу розробки; поліпшення дизайну; підвищення якості; зменшення ціни продукту і виробництва; прискорення внесення змін у конструкцію.

Швидке виготовлення прототипів стало найважливішою частиною CAD/CAM – процесу. RP-технології дозволяють користувачам за короткий час перевірити дані CAD-систем.

Усе збільшуване використання твердотільного моделювання, забезпечує поширення технологій швидкого одержання прототипів. Підвищується якість матеріалів і точність прототипів.

Усе це говорить про те, що технології і системи швидкого одержання прототипів будуть займати усе більше місце в автоматизованому проектуванні. У недалекому майбутньому RP-системи будуть доступні будь-якому користувачеві і стануть звичним інструментом конструктора, підвищуючи якість проектування і скорочуючи час випуску нової продукції.

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає відмінність між виготовленням деталі за допомогою ЧПУ та швидкого прототипування?
2. Розкрийте основний принцип побудови фізичної моделі при швидкому виготовленні прототипу.
3. В чому полягає основна перевага технологій швидкого прототипування?
4. Назвіть основні типові процеси швидкого прототипування й виготовлення.
5. Коротко розкажіть про технологію ламінування.
6. Які перспективи використання технологій швидкого прототипування?
7. Коротко розкажіть про технологію тривимірного друку.
8. Який основний недолік технологій швидкого прототипування?
9. Розкажіть про технологію стереолітографії.

ЛЕКЦІЯ № 10. ВІРТУАЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

План лекції. Визначення та компоненти віртуальної інженерії. Віртуальне виробництво. Віртуальне проектування. Цифрова імітація. Віртуальне прототипування. Віртуальний завод. Застосування віртуальної інженерії. Дослідницькі проблеми і обмеження віртуальної інженерії.

Література: [2], с.436-461.

Стрімко мінливий і диверсифікований ринок вимагає зменшення життєвого циклу для багатьох товарів. Швидкість розробки продукту є ключовим фактором для задоволення цих вимог ринку. Однак традиційна розробка продукту ґрунтувалася на ітераціях процесу проектування й побудові дорогих і трудомістких фізичних прототипів, коли постало завдання скорочення цього процесу, неминучим стала поява методів розробки, заснованих на комп'ютерному моделюванні.

Прогрес автоматизованої розробки також привніс нову парадигму в проектування й аналіз. Насамперед, системи геометричного моделювання настільки просунулися вперед за останнє десятиліття, що сучасні CAD-системи здатні обробляти моделі деталей і агрегатів самої складної геометрії та конструкції. Агрегат можна відображати, оцінювати й модифікувати як єдине ціле, а його рух можна імітувати так само, як це робиться з фізичним прототипом.

Ще одне досягнення — це аналіз по методом кінцевих елементів. Він міг би стати засобом віртуальної оцінки надійності й технічних характеристик продукту, якби його обчислювальну ефективність можна було поліпшити настільки, щоб виводити результати в реальному часі. З його допомогою можна було б передбачати механічні властивості й характеристики (напруга, прогин, вібрація, температура, тиск у складних деталях) так, ніби вони вимірялися за допомогою різних експериментів.

Більше того, виробники CAD-систем у даний час намагаються об'єднати геометричне моделювання з методом кінцевих елементів. Така інтеграція забезпечила б безперервний плин циклу проектування й аналізу. Метод кінцевих елементів використовувався б первісно в процесі проектування для прийняття конструкторських рішень, що дозволило б заощадити дорогоцінний час і витрати, пов'язані з перепроєктуванням.

Ці тенденції в інженерній науці сходяться в новому понятті - *віртуальна інженерія (virtual engineering)*. По суті, віртуальна інженерія — це розробка, заснована на імітації. Прогрес сучасної імітаційної технології уможливив розв'язок таких завдань, як чисельне моделювання більшості механічних властивостей систем й виявлення зіткнень між геометричними об'єктами в реальному часі.

Імітаційні технології дозволили успішно застосувати віртуальну інженерію в промисловості для покращення витрат часу й засобів на розробку. Область застосування віртуальної інженерії розширюється, і досягши зрілості, вона стане головною складовою процесу розробки.

Віртуальна інженерія (virtual engineering) - це імітаційний метод, що допомагає інженерам у прийнятті рішень та управлінні. Віртуальне середовище являє собою обчислювальну структуру, що дозволяє точно імітувати геометричні й фізичні властивості реальних систем.



Рисунок 10.1 - Віртуальна інженерія

Віртуальна інженерія включає імітацію різних видів інженерної діяльності, таких як машинна обробка, складання, управління виробничими лініями, огляд і оцінка (рис. 10.2), а також процес проектування.

Таким чином, віртуальна інженерія може охоплювати весь цикл розробки й виробництва продукту. Після того як змодельована деталь, імітується її машинна обробка й складання. Потім, також за допомогою імітації, зібраний прототип тестується, і в його конструкцію вносяться необхідні зміни.



Рисунок 10.2 – Оцінка зручності салону автомобіля Ford

Коли прототип схвалений, імітується виробнича система і її функціонування. Прогнозуються також собівартість і графік поставок. У результаті цих імітацій виходить оптимізований кінцевий прототип і виробничі процедури, на основі яких потім реалізується фізична система.

Віртуальна інженерія дає зовсім новий підхід до інженерних завдань. Використання імітації усуне необхідність у дорогих фізичних прототипах і фізичних експериментах. Час розробки докорінно скоротиться, з'явиться можливість перевірити більшу кількість альтернативних варіантів конструкції, підвищиться якість кінцевого продукту.

Віртуальна інженерія забезпечить також чудовий інтерфейс для клієнта, дозволяючи йому заздалегідь побачити тривимірну модель продукту й запросити конструктивні зміни. Можна буде побудувати прототип продукту, який недоступний, занадто небезпечний або за-

надто дорогий для того, щоб створювати його в реальності (рис. 10.3). Така можливість буде неоціненна в автомобільній і авіаційній промисловості, де фізичні макети коштують дорого, час розробки великий, продукти вкрай складні й потрібен глибокий зворотний зв'язок від клієнтів

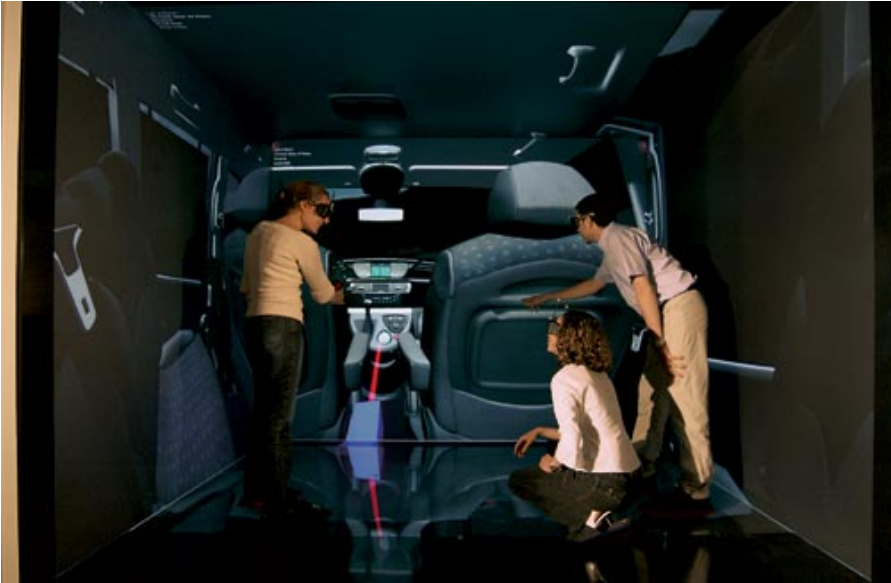


Рисунок 10.3 - Віртуальна оцінка планування салону майбутнього автомобіля

Компоненти віртуальної інженерії.

До віртуальної інженерії існують різні підходи. Оскільки віртуальна інженерія - це відносно нова технологія, її термінологія й визначення ще не до кінця встоялися. У виробництві основним компонентом віртуальної інженерії є віртуальне виробництво.

Віртуальне виробництво (*virtual manufacturing*) - визначається як інтегроване синтетичне виробниче середовище, використовуване для розширення всіх рівнів прийняття рішень і керування. Воно може бути класифіковане як проектно-орієнтоване, виробничо-орієнтоване та управлінськи-орієнтоване.

Проектно-орієнтоване віртуальне виробництво - це імітаційне середовище для проектування продукту й оцінки можливості його ви-

робництва. Виробничо-орієнтоване віртуальне виробництво - це імітаційне середовище для планування технологічних процесів і виробництва.

Управлінськи-орієнтоване віртуальне виробництво - це імітаційне середовище для моделювання функціонування виробничого цеху. Віртуальне виробництво можна також класифікувати в термінах життєвого циклу продукту як віртуальне проектування, цифрову імітацію, віртуальне прототипування й віртуальний завод.

Віртуальне проектування виконується за допомогою пристроїв віртуальної реальності. Цифрова імітація дозволяє перевіряти й оцінювати роботу продукту без використання фізичних прототипів. У процесі віртуального прототипування будується комп'ютерний прототип, що має ту ж геометрію й фізичну поведінку, що й реальний продукт. Віртуальний завод — це імітація заводської виробничої лінії.

Віртуальне проектування виконується у віртуальному середовищі з використанням технологій віртуальної реальності (рис. 10.4).



Рисунок 10.4 - "Віртуальне компонування" моторного відсіку автомобіля "Пежо-206"

Віртуальне проектування зосереджується на альтернативному користувацькому інтерфейсі для процесу проектування. Використовуючи технології віртуальної реальності, конструктори можуть поринути у віртуальне середовище, створювати компоненти, модифікувати їх, управляти різними пристроями й взаємодіяти віртуальними об'єктами в процесі конструкторської діяльності. Конструктори можуть бачити стереоскопічне зображення віртуальних об'єктів і чути просторовий реалістичний звук.

Ці зображення й звук виникають, коли рука конструктора рухає віртуальною рукою й пальцем. Дотик до віртуального об'єкта відчувається конструктором у вигляді образного зв'язку. Тим самим задум конструктора ефективно втілюється в проєкті й перевіряється функціональна поведінка конструкторії (рис. 10.5).



Рисунок 10.5 - "Віртуальна перевірка" зовнішньої оглядовості з місця водія

Основна мета віртуального проектування - дозволити конструкторові діяти інтуїтивно і природно. У системах геометричного моделювання, навіть притім, що сучасні CAD-системи надають витончені засоби моделювання, взаємодія конструктора з моделлю обмежена.

Можливості огляду обмежуються зображенням, спроектованим на монітор, а можливості введення інформації від конструктора - точковими маніпуляціями з мишею.

Таким чином, у рамках CAD-технології сьогоdnішнього дня інженер-конструктор є "однооким та однопалим". Більш природня взаємодія, забезпечувана технологіями віртуальної реальності, дала б конструктору більшу волю і дозволила б йому підвищити креативність при створенні моделі.

Друга мета віртуального проектування - на ранніх стадіях проектування врахувати точку зору потенційного користувача продукту.

У процесі проектування можуть бути повною мірою оцінені такі якості, як доступність і керованість (рис. 10.6).



Рисунок 10.6 - Ергономічна оцінка компоновки робочого місця водія з використанням технології віртуальної реальності

Третя мета - урахувати при проектуванні досвід експертів у

складанні або маніпулюванні деталями. Цей досвід складний і важко формалізується, але система віртуального проектування може пролити світло на положення користувача, його взаємодію з об'єктами й послідовність операцій складання.

Віртуальне проектування вимагає зовсім іншого підходу до моделювання тривимірної геометрії. Наприклад, меню й кнопки можна замінити технологією розпізнавання мови або жестів. Якщо конструктор захоче змінити розміри моделі, то замість того щоб указати на неї, конструктор зможе узяти її в руки й розтягти. У зв'язку із процесом віртуального проектування неодмінно виникнуть нові методи проектування й схеми моделювання.

Цифрова імітація.

Перевірка процесу - одна з найбільш важливих цілей цифрової імітації. Машинні операції необхідно ретельно перевірити, перш ніж починати реальну роботу. Якщо в керуючому коді є помилка, це може привести до серйозної поломки верстата. Використовуючи цифрову імітацію, користувач перед початком роботи може перевірити траєкторію переміщення інструмента верстата з ЧПУ, шупа координатно-вимірювальної машини або руки робота.

Наприклад, процесом машинної обробки можна управляти графічно, як це робилося б на реальному верстаті (рис. 10.7). Віртуальний верстат з ЧПУ, читаючи стандартні інструкції, буде виконувати всю обробку в реальному часі, включаючи переміщення інструментів, приналежностей, укладальників і деталей, безперервний контроль над зняттям матеріалу дозволяє користувачеві виявити ситуації, що призводять до вібрації й зламу інструмента, появи вибоїн та зарубувань. За допомогою імітації користувач може також спрогнозувати зіткнення між інструментом і пристосуванням або деталлю.

Візуалізація також допомагає інженерам краще зрозуміти систему. Вона дозволяє легко усвідомити ідею конструкції й заздалегідь перевірити її експлуатаційні якості. У цей час для цієї мети використовується головним чином кінематична імітація твердих тіл.

Імітація моделей більш високого рівня - ємностей, людських істот і складних середовищ - вимагає моделювання фізичних ефектів, включаючи ефекти динаміки, вібрації, акустики й деформації. Однак складні імітації з використанням віртуальних прототипів допоможуть здійснити перевірку робочих характеристик системи швидше з мен-

шими витратами.

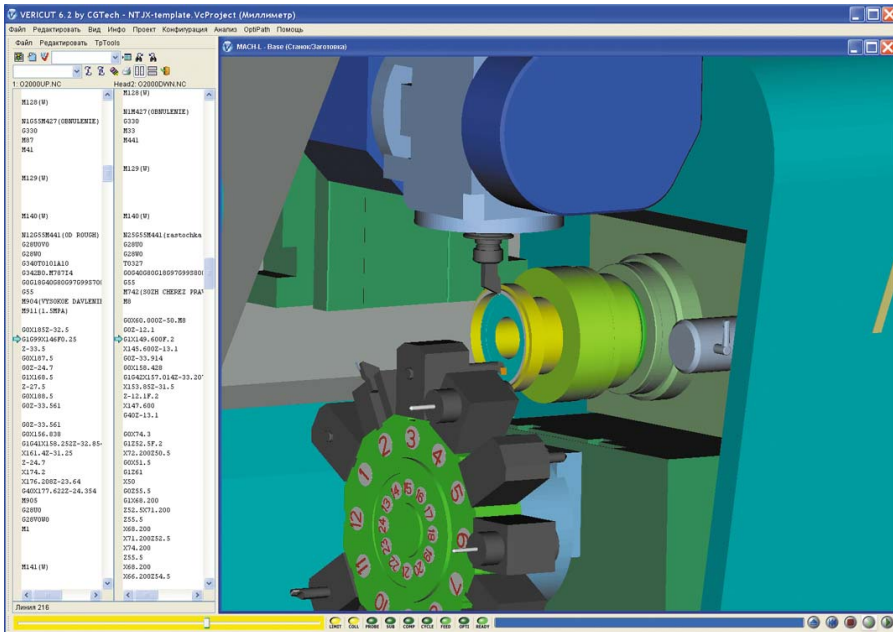


Рисунок 10.7 – Візуалізація процесу обробки деталі

Віртуальним прототипуванням (virtual prototyping) - називають побудову прототипу агрегату з геометричних моделей його окремих частин (рис. 10.8).

Віртуальний прототип називають іноді цифровим макетом (digital mockup), або попереднім цифровим складанням (digital preassembly). Системи цифрового прототипування дозволяють візуалізувати процес складання й перевіряти можливість вироблення пропонуванних агрегатів у рамках наявних виробничих обмежень.

Шляхом складання віртуального прототипу можна виявити конструктивні прорахунки й внести зміни в проект, щоб реальне складання можна було виконати з першої спроби.

Основна функція віртуального прототипування полягає в перевірці здійсненності операції складання. Система перевіряє сполучення деталей у контексті складальних обмежень і вимог до допусків.

Функції виявлення зіткнень вказують на те, чи заважають деталі

одна одній. Перевіряється також послідовність складання й траєкторії руху деталей.



Рисунок 10.8 - Загальна оцінка "наживо" салону майбутнього автомобіля за допомогою технологій віртуальної реальності

Крім того, можна визначити оптимальні траєкторії складання. Передові системи дозволяють також проводити структурний і функціональний аналіз віртуального прототипу, використовуючи вбудоване аналітичне програмне забезпечення. Часто виконується кінематична й динамічна імітація прототипу.

Інженери зможуть засновувати конструкторські рішення на віртуальних прототипах. Оптимізація конструкції буде досягатися шляхом послідовного уточнення віртуального прототипу. Зі збільшенням ступеня детальності віртуального прототипування стане можливою більш точна структурна й функціональна імітація. Ідеальна ситуація буде досягнута тоді, коли віртуальний прототип буде мати всю сукупність характеристик фізичного прототипу. Таким чином, зрештою віртуальне прототипування усуне необхідність у дорогих і трудомістких фізичних прототипах.

Віртуальний завод (virtual factory) - це змодельована на комп'ютері повна виробнича система (рис. 10.9). Віртуальний завод імітує конструкції виробничих ділянок, виробничі процеси й складські сис-

теми.



Рисунок 10.9 – Віртуальний завод

Крім того, для нього можна програмувати автоматизоване заводське устаткування - роботи, конвеєри й верстати. Система моделює й імітує такі компоненти, як конвеєри, накопичувачі, доки, виробничі ділянки і процеси. Крім того, система моделює процедури - маршрути, послідовності й злиття. Після цього модель виробництва аналізується в термінах витрат на робочу силу, інвентаризації, експлуатаційних витрат, затрат на обробку й тривалості циклу.

Ці можливості дозволяють використовувати віртуальний завод для планування виробництва, включаючи оцінку проектів виробничих систем і порівняння альтернативних способів виробництва. Коли ця технологія досягне зрілості, за допомогою віртуального заводу можна буде імітувати весь ланцюг поставок, що дозволить оцінювати й оптимізувати весь процес управління ресурсами й виробництва.

Застосування віртуальної інженерії.

Процес віртуальної інженерії починається з геометричних моделей, потім імітуються виробничі системи й наприкінці виготовляється віртуальний прототип або віртуальний продукт. Оскільки на виході цей процес немає ніяких фізичних об'єктів, може здатися, що дії, виконувані в його рамках, фіктивні. Однак віртуальна інженерія є ефективним засобом проектування. Вона дозволяє випробувати різні варіанти конструкції й вибрати з них оптимальний до того, як почнеться реальне виробництво. Крім використання як засобу проектування, віртуа-

льна інженерія має ряд застосувань у реальній виробничій діяльності.

Засіб проектування.

Віртуальна інженерія пропонує зовсім новий підхід до процесу проектування. Її принципово інший користувацький інтерфейс створює середовище проектування, що стимулює більшу інтерактивність і занурення в процес. Вона допомагає конструкторам краще зрозуміти особливості розроблюваного об'єкта й бути більш креативними. Крім того, вона дозволяє вже на ранніх стадіях урахувати в конструкції людські фактори.

У перевірці й оптимізації можуть допомогти цифрова імітація й віртуальне прототипування. Експлуатаційні характеристики однієї з потенційно можливих конструкцій можна оцінити за допомогою віртуального прототипування й цифрової імітації.

Можливість виробництва конструкції можна оцінити шляхом імітації процесу виробництва на віртуальному заводі. Маючи віртуальний прототип, можна зробити тонке корегування конструкції, аналізуючи його методом кінцевих елементів та іншими методами.

Повна імітація функціональності продукту може виявити конструктивні недогляди й можливі вдосконалення. Імітація експлуатаційних характеристик продукту і можливості його виробництва дає інженерам можливість ухвалювати правильні рішення в процесі проектування. Ітеративна процедура віртуального прототипування дозволяє досягти більш повної оптимізації проекту.

Ще один аспект процесу, який спрощує віртуальна інженерія, - це проектування "зверху вниз". Замість нинішнього підходу до проектування, при якому спочатку розробляються всі компоненти окремо, а потім вони з'єднуються, проектування "зверху вниз" починається із глобальних функціональних вимог, на основі яких потім розробляється деталізована конструкція.

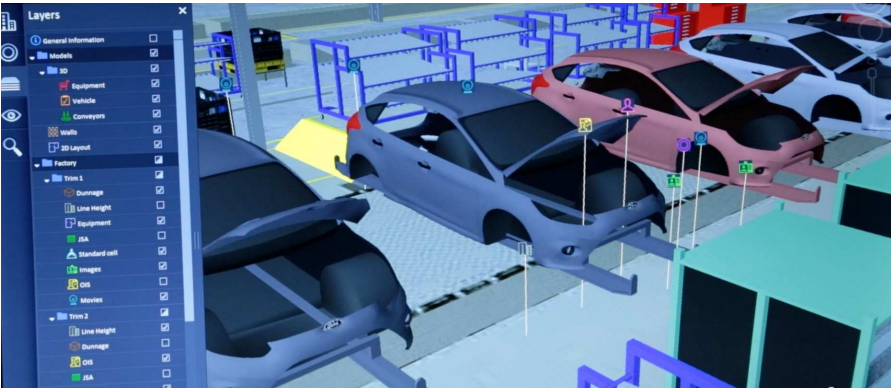
Таким чином, за відправну точку при проектуванні береться концептуальний проект, а на виході виходять детальні конструкції компонентів. На відміну від реальних прототипів, віртуальний прототип може бути зібраний навіть у тому випадку, коли немає пророблених у всіх подробицях компонентів.

Після оцінки проекту по віртуальному прототипу можна розробити докладні конструкції деталей на базі структури, заданої віртуальним прототипом. Такий підхід забезпечує більш інтуїтивний процес

проектування на ранніх стадіях.

Оцінка можливості виробництва.

Віртуальна інженерія дозволяє оцінювати можливість виробництва різних варіантів конструкції. Така оцінка подає інформацію про тривалість обробки, час циклу, витрати та якість продукту. Вона дозволяє також прогнозувати час підготовки до роботи, час виконання й витрати на робочу силу. Зрозуміло для такого роду оцінок потрібні вичерпні моделі виробничого процесу (рис. 10.10 а,б).



а



б

Рисунок 10.10 – Моделювання виробничого процесу

Потрібно ухвалити рішення, чи підходить дана конструкція для виробництва. Можна зробити також якісну оцінку можливості виробництва, що дозволяє охарактеризувати простоту виробництва. Якщо дана конструкція не підходить для виробництва, можна виявити й необхідним образом змінити атрибути конструкції, що є причиною утруднень.

Оцінка й контроль якості.

Імітація тестування й процесу експлуатації дозволяє оцінити складання або експлуатаційні характеристики продукту. Імітація процесу експлуатації дозволяє виконати ряд статистичних тестів на моделі для визначення її чутливості до конструктивних і виробничих змін. Потім визначити індекс якості стосовно можливості виконання певного процесу або конструктивному допуску. Це дає оцінку якості до початку реального виробництва.

В процесі оцінки якості визначаються також основні фактори, що впливають на нього. Маючи цю інформацію, можна вдосконалити конструкцію, модифікуючи ті фактори, які були ідентифіковані, як ті що погіршують якість. Крім того, якість продукту можна підвищити, поліпшивши виробниче устаткування.

Тому що ітеративний процес проектування є менш дорогим при використанні віртуальної системи, можна досліджувати весь спектр альтернативних варіантів конструкції для знаходження оптимуму.

Оцінка можливості виробництва й оптимізація конструкції дозволяють організовувати реальний виробничий процес найбільш ефективним способом. Ці процедури приводять до створення краще спроектованого й виготовленого продукту з мінімальною кількістю дефектів.

Оцінка й оптимізація виробничого процесу.

Цифрова імітація дозволяє перевіряти операції обробки на верстаті з ЧПУ, дії роботів і траєкторії вимірів за допомогою координатно-вимірної машини до початку реального виробництва. Траєкторія руху інструмента, руки робота або щупа, задані в плані процесу, візуалізуються й оцінюються за результатами імітації.

При імітації можна виявити й запобігти потенційні зіткнення й інші помилки. У якості альтернативи можна автоматично визначити траєкторію руху без зіткнень, тим самим уникнувши дорогих ушкоджень, які можуть виникнути в реальному процесі.

Крім загальної оцінки процесу, оцінка ключових його елементів дозволяє оптимально спланувати процес. До ключових елементів відносяться закріплення деталі, подача деталей, обробка компонентів і переміщення в процесі обробки.

Планування виробництва й продуктів.

Імітація виробничої діяльності здійснюється шляхом моделювання окремих подій. Це дозволяє оцінити продуктивність, використовуваність устаткування, експлуатаційні витрати й потік матеріалів.

Можна також аналізувати статичні характеристики: час циклу, робочі зони механізмів, розміщення механізмів, доступність для керування й обслуговування, а також ефекти й взаємодію варіацій допуску. Імітаційне планування краще підходить для виробничих ліній, на яких увесь виробничий процес складається з подібних послідовностей дій.

Для імітації цехів, що випускають дрібні серії продукції різних типів з режимів технологічними маршрутами, необхідні більш просунуті системи.

Ще одне застосування віртуальної інженерії - планування продуктів. Сьогодні швидко мінливі ринки вимагають коротких періодів планування й швидкої доставки продуктів. Моделювання дозволяє миттєво оцінити витрати, цикл виробництва й графік доставки, не прибігаючи до фізичної реалізації. Використання імітаційного планування продуктів дозволить компанії ефективно реагувати на зміни ринку.

Інтерфейс для замовника.

Віртуальна інженерія дозволяє легко підбудовувати продукт під вимоги замовника й точно оцінювати час доставки. Розробивши віртуальний продукт, можна продемонструвати клієнтові його тривимірну модель і зімітувати роботу прототипу.

Після цього в прототип можна внести зміни в інтерактивному режимі відповідно до вимог замовника, передати його прямо в інженерний відділ, а звідти в цех, тим самим прискорюючи виробництво.

Таким чином, побажання замовника виступають у якості безпосереднього зворотного зв'язка в процесі розробки продукту. Віртуальна інженерія надає інтерфейс, що дозволяє швидко й точно схоплювати бажання клієнта, завдяки чому виробник здатний більш ефективно реагувати на потреби клієнтів, як у термінах витрат, так і в сенсі своєчасності.

База знань.

Коли віртуальна інженерія стане повсякденною реальністю, можна буде систематично одержувати й аналізувати інформацію про виробничий процес. Керування виробничою інформацією має своїм завданням обробку всеосяжної інформації про безперервний оберт моделей та інструкцій з обробки на всьому протязі циклу розробки.

У сьогоdnішньому фізичному середовищі експертні знання важко зафіксувати, крім того, відсутня чітка система обробки інформації про виробництво й розробку, тому попередній конструкторський досвід, не повністю відбивається в наступних поколіннях продуктів.

Віртуальна інженерія дозволяє ефективно накопичувати велику базу даних по експертних знаннях, зберігаючи й обробляючи всю наявну інженерну інформацію. Згодом дані із цієї бази знань і результати їх візуалізації можуть послужити керівництвом для інженерних аналітиків, що працюють у групах по проектуванню й модифікації продукту.

Колективна розробка.

Віртуальна інженерія забезпечує основу для колективної розробки. Інженери й конструктори, що працюють над тим самим проектом, можуть легко ділитися один з одним даними про продукт у цифровому виді. Використовуючи загальні віртуальні середовища, інженери, що перебувають далеко один від іншого, можуть спільно й одночасно вивчати цифровий прототип.

Вони можуть працювати паралельно в контексті загальних виробничих вимог. Крім того, ці середовища дозволяють інженерам і конструкторам одержати більш глибоку уяву про продукт, підвищити його якість, скоротити інтервал до виходу продукту на ринок і із самого початку забезпечити правильність конструкції, знизивши потребу в дорогих переробках на більш пізніх стадіях процесу.

Рамки спільної роботи можна розширити за межі компанії, організувавши обмін інформацією про віртуальний продукт із постачальниками й партнерами, що дозволить встановити більш тісні зв'язки при розробці продукту.

Дослідницькі проблеми і обмеження віртуальної інженерії.

Віртуальна інженерія це досить нова технологія. Вона має достатній потенціал для того, щоб стати значною складовою діяльності інженера, однак на сьогоднішній день функціональність і можливості

застосування систем віртуальної інженерії обмежені.

Віртуальна інженерія - чисто програмна технологія, і тому сама по собі не вимагає якого-небудь спеціального устаткування. Однак для взаємодії з користувачем необхідне устаткування віртуальної реальності. Це устаткування містить у собі як пристрої введення, так і пристрою виводу. Пристрою виводу дають користувачеві відчуття від віртуального середовища.

Оскільки найефективніший спосіб сенсорного сприйняття - це зір, головними компонентами систем віртуальної реальності є пристрої відображення. Ці пристрої повинні забезпечувати користувачеві стереоскопічний огляд.

Доступне в даний момент устаткування включає головні дисплеї, бінокулярні всеспрямовані монітори, дисплеї просторового занурення й спеціальні окуляри. Звук і дотик збагачують відчуття від віртуальної реальності, коли вони використовуються в сукупності із зоровою системою.

Типовим прикладом звукової апаратури можуть служити навушники із просторово розширеною звуковою системою. Апаратура дотику - це прилади із силовим зворотним зв'язком. Популярними пристроями введення є системи розпізнавання мови, відслідковуєчі системи та інформаційні рукавички.

Щоб віртуальна інженерія перетворилася в розвинену технологію, необхідно одержати можливість повністю відтворити функціональну поведінку фізичних систем за допомогою комп'ютерної імітації.

Розглянемо деякі пов'язані із цим проблеми:

- **нові засоби проектування.** Віртуальне проектування надає принципово інше середовище для розробки. У ній зір є стереоскопічним, а взаємодія з моделлю конструкції здійснюється за допомогою декількох органів почуттів. Це нове середовище відкриває можливості для появи нових методів проектування й підходів до моделювання. У найближчому майбутньому конструктор буде мати можливість брати об'єкт у руки й розтягти його або створити й змінити модель за допомогою одного тільки голосу. Новий підхід до моделювання забезпечить більш природні й інтуїтивні способи створення моделей;
- **моделювання процесів і фізичних об'єктів.** У цей час можливості імітації зводяться головним чином до кінематики.

Моделювання динамічних систем, деформованих систем і рідких систем звичайно вимагає аналізу методом кінцевих елементів, що віднімає велику кількість обчислювальних ресурсів. Щоб це мало якусь цінність як засіб віртуального проектування, даний аналіз необхідно робити в реальному часі. Щоб стала можливою імітація в реальному часі, необхідно компактне й точне моделювання. Більше того, моделі повинні містити в собі інформацію про свої фізичні властивості й експериментальні дані, що демонструють їхню фізичну поведінку;

- **можливості виробництва.** Виробничі процеси різні, кожний процес має свої власні унікальні характеристики. Таким чином, знайти якусь загальну метрику, що визначає можливість виробництва різних продуктів, представляється важким завданням. Необхідні дослідження визначень можливості виробництва й методології її оцінки. Крім простого рішення типу "так/ні" необхідно визначити кількісний захід можливості виробництва. Крім того, оцінку можливості виробництва необхідно трансформувати в оцінку тривалості виробничих процесів і витрат;
- **швидкодія системи.** У даний момент якість візуалізації й імітації сильно обмежується швидкодією системи. Завдяки експонентному росту швидкості обробки й прогресу технології розподілених обчислень якість імітації поліпшується. Однак швидкодія системи залишається все ще занадто низькою для повноцінного віртуального проектування. Для візуалізації потрібно деталізоване тривимірне відображення й анімація з високою частотою кадрів. Оцінка проекту включає аналіз динамічних систем і оптимізації, що вимагають більших обчислювальних ресурсів. Крім того, для забезпечення колективної розробки необхідно підвищити швидкість роботи мереж, розширити смугу пропускання й збільшити число каналів;
- **стандарт інтерфейсу даних.** Віртуальне проектування містить у собі взаємодію різних пакетів прикладних програм. Моделювання деталі звичайно проводиться в CAD-системі, аналіз - у програмі аналізу по методу кінцевих елементів, а комп'ютерна імітація - в інтерактивній системі імітації виро-

бництва. Для колективної розробки необхідно, щоб ці різні системи працювали разом. Стандартні інтерфейси баз даних і програмного забезпечення є ключем до віртуального проектування;

- **відкрита архітектура.** Відкрита архітектура надає системі масштабованість. Системи віртуального проектування необхідно поєднувати з наявними в даний момент інженерними системами для одержання додаткової функціональності або розв'язку різнотипних завдань. Відкрита архітектура дозволяє системі задіяти великий резерв інженерних ресурсів і знаходити різноманітні форми застосування.

Питання для самоперевірки

1. Що таке віртуальна інженерія
2. Що розуміють під віртуальною оцінкою продукту?
3. Назвіть переваги віртуальної інженерії стосовно процесу розробки продукту.
4. З яких компонентів складається віртуальна інженерія?
5. Яке найбільш поширене використання цифрових макетів в розробці продуктів?
6. Поясніть яким чином віртуальна інженерія стимулює колективну розробку.
7. Що таке віртуальне виробництво?
8. Розкажіть як здійснюється віртуальне проектування.
9. Для чого використовується цифрова імітація?
10. Що розуміють під віртуальним прототипуванням?
11. Що таке віртуальний завод?
12. Назвіть напрямки застосування віртуальної інженерії.
13. Які проблеми і обмеження застосування віртуальної інженерії ви можете назвати?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Петров А. П. Основы САПР в машиностроении : Учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2001. 139 с.
2. Ли Кунву Основы САПР (CAD / CAM / CAE). Спб. : Питер, 2004. 560 с.
3. Дементьев Ю. В. САПР в автомобиле- и тракторостроении : Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М : Академия, 2004. 224 с.
4. Яблочников Е. И., Фомина Ю. Н., Саломатина А. А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия : Учебное пособие. Спб. : СПбГУ ИТМО, 2010. 188 с.
5. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.

Додаткова

6. Пестрецов С. И. CALS-технологии в машиностроении : основы работы в CAD / CAE- системах : учебное пособие. Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 104 с.
7. Колчин А. Ф., Овсянников М. В. Управление жизненным циклом изделия. Москва : Анахарсис, 2003. 356 с.
8. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др. Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
9. Берлинер Э. М. САПР в машиностроении : учебник для вузов. Москва : ФОРУМ, 2008. 448 с.
10. Плешаков В. В. САПР процессов изготовления и ремонта колесных и гусеничных машин : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190201 - 'Автомобиле- и тракторостроение'. Москва : МГУПИ, 2007. 256 с.
11. Проектирование и конструирование в машиностроении : учебное пособие для вузов : в 2 частях / В. П. Бахарев и др. ; под ред. А. Г. Схиртладзе. - 2-е изд., перераб. и доп. Старый Оскол : ТНТ, 2009. - Ч. 1 : Общие методы проектирования и расчёта. Надёжность техники. 248 с.
12. Таратынов О. В. Технология машиностроения. Основы проектирования на ЭВМ : учебное пособие. Москва : ФОРУМ, 2011. 608 с.

13. Федотова Е. Л. Информационные технологии и системы : учебное пособие. Москва: ФОРУМ, 2014. 352 с.
14. Бунаков П. Ю., Рудин Ю. И., Стариков А. В. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов. Учебник по дисциплине "Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов" для студентов специальности 250303. Москва : МГУЛ, 2007. 194 с.

Інформаційні ресурси

15. Описание САПР. URL: <http://seniga.ru/sapr.html> (дата звернення: 10.12.2018)
16. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. URL: <https://ascon.ru/products/7/review/>. (дата звернення: 23.09.2018)
17. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (дата звернення: 23.09.2018)
18. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 23.09.2018)
19. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 23.09.2018)
20. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 23.09.2018)
21. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology Corporation). URL: <https://www.ptc.com/en/industries/automotive>. (дата звернення: 23.09.2018)
22. Система T-FLEX. URL: <http://www.tflex.ru/>. (дата звернення: 23.09.2018)
23. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 23.09.2018)
24. Система AutoCAD URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>. (дата звернення: 23.09.2018)
25. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 23.09.2018)