

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

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

2019

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.

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

Рецензент: О.С. Слюсаров, доцент, канд.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	4
1 Робоча програма дисципліни	5
2 Методичні вказівки	7
2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни	7
2.2 Задачі вивчення дисципліни	7
2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни	8
2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни (модуля)	8
2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні"	10
2.4.2 Тема 2. Принципи автоматизованого проектування	16
2.4.3 Тема 3. CALS-технології - поняття про життєвий цикл виробу	20
2.4.4 Тема 4. Математичне забезпечення САПР	22
2.4.5 Тема 5. Програмне та інформаційне забезпечення САПР	26
2.4.6 Тема 6. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР	28
2.4.7 Тема 7. Інтеграція CAD і CAM систем	31
2.4.8 Тема 8. Числове програмне управління	34
2.4.9 Тема 9. Швидке виготовлення прототипів	38
2.4.10 Тема 10. Віртуальна інженерія	40
3 Завдання на контрольні роботи	54
3.1 Список варіантів контрольних робіт	55
4 Контрольні заходи з перевірки якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни	59
5 Рекомендована література	60
Основна	60
Додаткова	61
Інформаційні ресурси	61

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, сьогодні 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 – сьогодні вже виявляються неконкурентоспроможними, як внаслідок більших матеріальних і тимчасових витрат на проектування, так і через невисоку якість самих проектів.

Окремі положення і спільні питання дисципліни викладаються в одній темі лекції, що об'єднує в цьому випадку дві і навіть три теми із близькою по змісту тематикою. Така побудова тем лекційних занять

допомагає усебічно показати можливості практичного застосування систем САПР для вирішення виробничих задач у різних технологічних схемах.

Методичні вказівки мають ціль допомогти студентам отримати теоретичні знання, а також дають відповідне розуміння і широке роз'яснення складу і структури системи автоматизованого проектування, основних принципів її побудови, формування і використання необхідних баз даних, інформаційно-пошукових систем, редагування графічної інформації на екрані монітора за допомогою наявних програмних засобів.

1 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Наведені назви змістових модулів та найменування тем дисципліни для самостійного вивчення. Навчальним планом дисципліни, для самостійного вивчення тем лекцій, передбачено час для студентів денної форми навчання - 90 годин, заочної – 123 години.

Далі для кожної теми вказано час самостійної роботи студентів денної форми навчання. Також наведений перелік питань, які повинні бути самостійно розглянуті студентом при вивченні обраної теми.

Змістовий модуль 1.. Принципи автоматизованого проектування. Життєвий цикл виробу. Математичне, програмне та інформаційне забезпечення САПР.

Тема 1. Вступ до курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні" (2 год.)

Значення автоматизованого проектування. Основні відомості про автоматизоване проектування. Структура САПР. Основні принципи створення САПР. Спеціалізовані САПР. Види і типи САПР. Вимоги до САПР. Системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.

Тема 2. Принципи автоматизованого проектування (2 год.)

Принципи і мета створення САПР. Процес і завдання проектування. Аспекти описів проектованих об'єктів. Етапи і режими проек-

тування в САПР. Інтелектуальні системи автоматизованого проектування: поняття і принципи їх створення, штучний інтелект.

Тема 3. CALS-технології – поняття про життєвий цикл виробу (2 год.)

Виникнення концепції CALS та її еволюція. Стандарти CALS-технологій. Структура інтегрованого інформаційного середовища. Концепція впровадження CALS-технологій. Основа CALS-технологій. Життєвий цикл промислових виробів.

Тема 4. Математичне забезпечення САПР (2 год.)

Математичні моделі. Вимоги до математичних моделей. Класифікація математичних моделей. Методи одержання математичних моделей. Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу. Використання методу кінцевих елементів у САПР.

Тема 5. Програмне та інформаційне забезпечення САПР (2 год.)

Програмне забезпечення САПР. Властивості програмного забезпечення (ПЗ) САПР. Структура ПЗ САПР. Загальносистемне ПЗ. Прикладне ПЗ. Відкриті системи й об'єктно-орієнтований підхід. Класифікація банків даних. Користувачі банку даних і рівні доступу. Забезпечення захисту даних у базі. Особливості баз даних САПР.

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 твердотільного 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.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни

Метою викладання дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" є освоєння студентами методів і засобів автоматизованого проектування автотракторної техніки, розробка моделюючих алгоритмів проектування.

2.2 Задачі вивчення дисципліни

Задача викладання дисципліни полягає в тому, щоб навчити студентів загальним принципам побудови систем автоматизованого проектування, принципам класифікації, структури та функціональним можливостям САПР.

У результаті вивчення курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні" студент повинний **знати**:

- склад, структуру і 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.

2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" базується на знаннях наступних курсів: "Автомобілі. Основи конструкції", "Основи конструкції трактора", "Основи технічної творчості", "Вища математика", "Фізика", "Обчислювальна техніка і програмування", "Робочі процеси автомобіля".

В процесі викладання дисципліни, в якості технічних засобів, використовується клас, обладнаний персональними комп'ютерами типу IBM PC. Успішне вивчення дисципліни передбачає також використання сучасних інформаційних технологій (Internet).

В якості технічних засобів, використовуваних у процесі викладання дисципліни, можуть використовуватися: мірально-фрезерний комплекс "Lambda" ЗАТ "ЗАЗ"; клас обладнаний персональними ЕОМ типу IBM PC.

2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни (модуля)

Викладання дисципліни передбачає наступні форми організації навчального процесу: лекції, лабораторні заняття, самостійну роботу

студента, консультації.

Робота на лабораторних заняттях передбачає активну участь студента в освоєнні поставлених завдань. Для підготовки до занять рекомендується звертати увагу на проблемні питання, що піднімаються викладачем у лекції, і групувати інформацію навколо них.

Бажано виділяти у використовуваній літературі постановки питань, на які різними авторами можуть бути дані різні оцінки. На підставі постановки таких питань слід обирати аргументи на користь різних варіантів вирішення поставлених проблем.

У текстах авторів, таким чином, слід виділяти наступні компоненти:

- постановка проблеми;
- варіанти рішень;
- аргументи на користь тих або інших варіантів рішень.

На основі виділення цих елементів простіше становити власну аргументовану позицію по розглянутому питанню. При роботі з невідомими термінами необхідно звертатися до словників, у тому числі доступних в Інтернеті.

При написанні рефератів (контрольних робіт), у матеріалі слід виділити невелику кількість (не більш 5) проблем, що зацікавили Вас, і згрупувати матеріал навколо них. Слід домагатися чіткого розмежування окремих проблем і виділення їх часткових моментів.

При підготовці до лабораторних занять Вам може знадобитися матеріал, що вивчався раніше, тому варто звертатися до відповідних джерел (підручників, монографій, статей). Письмова домашня робота й завдання можуть бути індивідуальними й загальними.

При підготовці до іспиту необхідно опиратися насамперед на лекційні заняття, а також на джерела, які розбиралися на заняттях протягом семестру.

Самостійна робота студента виконується за завданням і при методичному керівництві викладача, але без його особистої участі. Самостійна робота підрозділяється на самостійну роботу на аудиторних заняттях і на позааудиторну самостійну роботу.

Самостійна робота студента включає як повністю самостійне освоєння окремих тем (розділів) дисципліни, так і пророблення тем (розділів), освоюваних під час аудиторної роботи. Під час самостійної роботи, студенти читають і конспектують навчальну, наукову й довідкову літературу, виконують завдання, спрямовані на закріплення

знань і відпрацьовування вмінь і навичок, готуються до поточного й проміжного контролю по дисципліні.

При вивченні тем курсу наведених нижче, студентів необхідно повторити лекційний навчальний матеріал, вивчити рекомендовану літературу, а також навчальний матеріал, наявний в зазначених інформаційних ресурсах.

На завершальному етапі вивчення кожного модуля необхідно, скориставшись запропонованими питаннями для самоконтролю, перевірити якість засвоєння навчального матеріалу. У випадку утруднення у відповідях на поставлені питання рекомендується повторити навчальний матеріал.

Після вивчення всіх модулів приступити до виконання контрольної роботи, керуючись методичними рекомендаціями з її виконання.

По завершенню вивчення навчальної дисципліни в семестрі студент зобов'язаний пройти проміжну атестацію. Вид проміжної атестації визначається робочим навчальним планом. До проміжної атестації допускаються студенти, що виконали вимоги робочого навчального плану.

2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні"

Література: [1], с.3-7; [2], с.13-33; [3], с.6-24; [4], с.37-53; [5], с.12-30.

При розгляді питань цієї лекції слід враховувати те, що вимоги, висувані сьогодні до якості проектів, термінів їх виконання, виявляються усе більш жорсткими в міру збільшення складності проєктованих об'єктів і підвищення важливості виконуваних ними функцій.

Задовольнити ці вимоги за допомогою простого зростання чисельності проєктувальників не можна, тому що можливість паралельного проведення проєктних робіт обмежена, і чисельність інженерно-технічних працівників у проєктних організаціях не може бути помітно збільшена. Розв'язати проблему можна на основі автоматизації проєктування - широкого застосування обчислювальної техніки.

Метою автоматизації проєктування – є підвищення якості, зниження матеріальних витрат, скорочення термінів проєктування й ліквідація тенденції до росту числа інженерно-технічних працівників,

зайнятих проектуванням, підвищення продуктивності їх праці.

На думку провідних світових аналітиків, основними факторами успіху в сучасному промисловому виробництві є: скорочення строку виходу продукції на ринок, зниження її собівартості й підвищення якості. До числа найбільш ефективних технологій, що дозволяють виконати ці вимоги, належать так звані CAD/CAM/CAE - системи автоматизованого проектування, технологічної підготовки виробництва й інженерного аналізу.

Свій початок термін **САПР** (Система Автоматизованого Проектування) бере в 1970-х роках. САПР або CAD (Computer-Aided Design) звичайно використовуються разом із системами автоматизації інженерних розрахунків і аналізу CAE (Computer-aided engineering).

Дані з CAD-систем передаються в CAM (Computer-aided manufacturing) - систему автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів з ЧПУ або ГАВС (Гнучких Автоматизованих Виробничих Систем).

Під терміном "**САПР для машинобудування**" у нашій країні звичайно мають на увазі пакети, що виконують функції CAD/ CAM/ CAE/ PDM, тобто автоматизованого проектування, підготовки виробництва й конструювання, а також керування інженерними даними.

Існує **формальне визначення САПР, що визначає її головні особливості**: САПР - це людино-машинна система, що використовує сучасні математичні методи, засоби електронно-обчислювальної техніки й зв'язки, а також нові організаційні принципи проектування для знаходження й практичної реалізації найбільш ефективного проектного розв'язку існуючого об'єкта.

Історично ринок САПР розділився на кілька сегментів. **Важкі системи** - повнофункціональні системи автоматизації проектно-конструкторської і технологічної підготовки виробництва (в англомовній термінології CAD/CAM), призначені для креслення, двовимірного й тривимірного геометричного, твердотільного й поверхневого моделювання (включаючи моделювання складних поверхонь); поелементного проектування й проектування з комплексним ув'язуванням параметрів.

На сьогодні, у підсумку недавніх змін, пов'язаних зі злиттями й поглинаннями, важких систем залишилося всього три: NX компанії Siemens PLM Software (2.1), CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) французької фірми Dassault Systemes яка про-

сувас її разом з IBM, та PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/Engineer) від компанії PTC (Parametric Technology Corp.), приклад якої наведено на рис. 2.2.

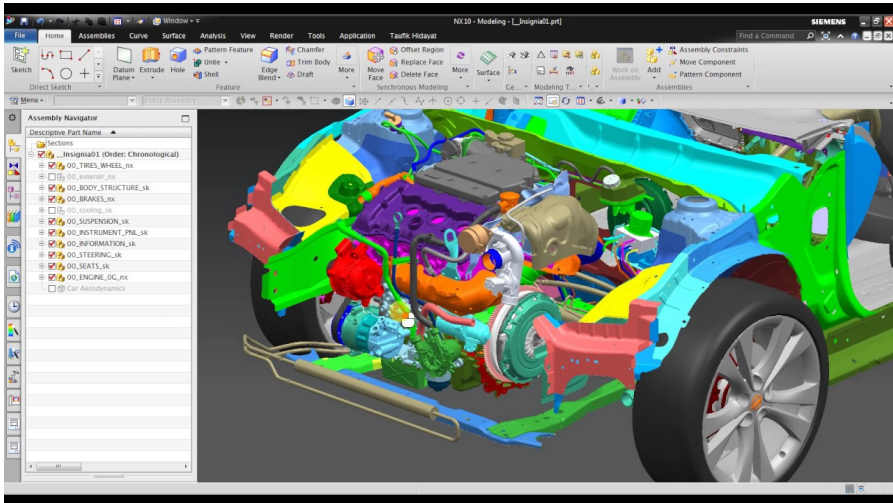


Рисунок 2.1 – Розробка автомобіля в системі NX (колишня Unigraphics)

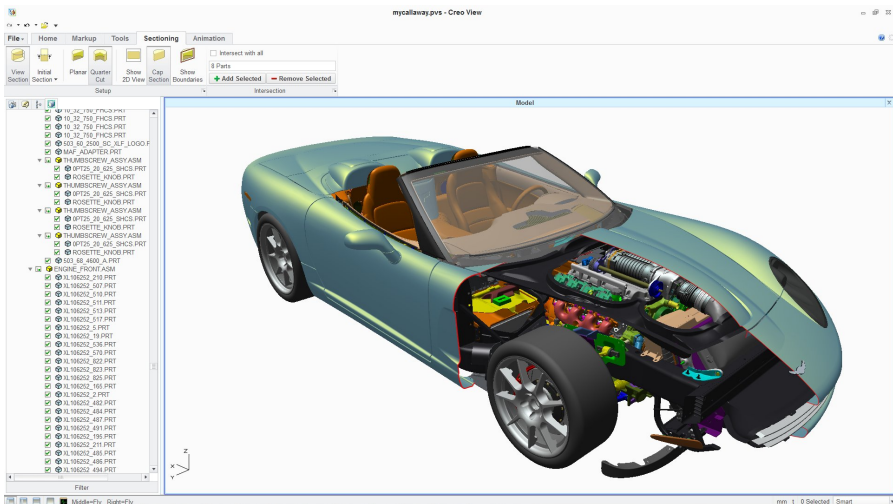


Рисунок 2.2 – Розробка автомобіля в системі PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER)

Ці компанії - лідери в області САПР, а їх продукти займають особливе положення: на них доводиться ледова частина обсягу ринку в грошовому вираженні.

Системи середнього класу - надійні й багатofункціональні продукти, які містять багато компонентів своїх важких побратимів, за винятком засобів моделювання складних поверхонь, вбудованих підсистем інженерного аналізу (CAE), підготовки виробництва (CAM) і спеціалізованих додатків - багато яких із них можна купити в незалежних розроблювачів. Це не просто програми, а програмні комплекси, зокрема, Solidworks, Solidedge, Cimatron, Form-Z, Autodesk Inventor (рис. 2.3), CAD Solidmaster, Mechanical Desktop, Designspace.

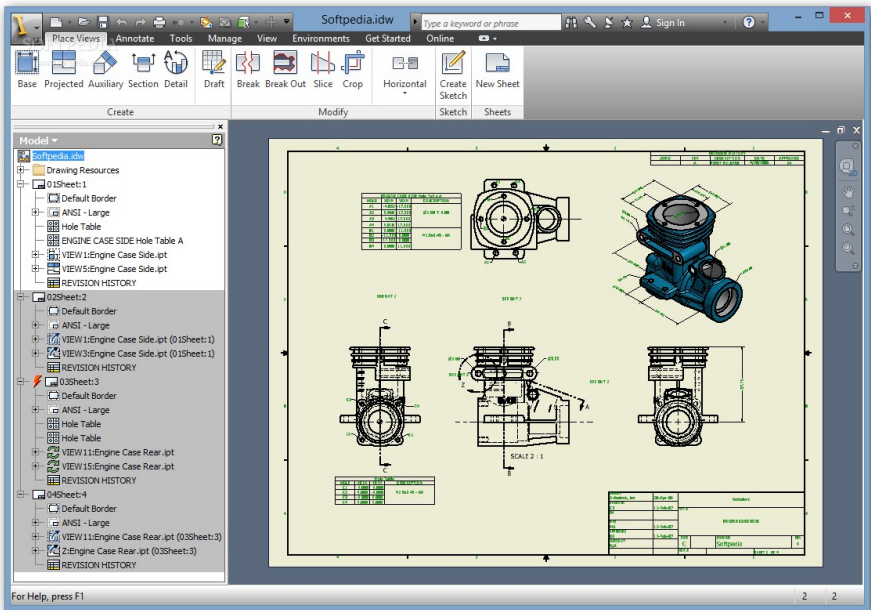


Рисунок 2.3 – Приклад креслення розробленого у Autodesk Inventor

Легкі системи - призначені для креслення, а також для двовимірного й тривимірного геометричного каркасного моделювання. Звичайно вони не включають додатки й не мають вбудованих засобів керування інженерними даними. Характерними представниками таких

легких САПР: CADdy, CADMECH Desktop, Mastercam, T-flexCAD, OmniCAD, Компас-Графік (2.4).

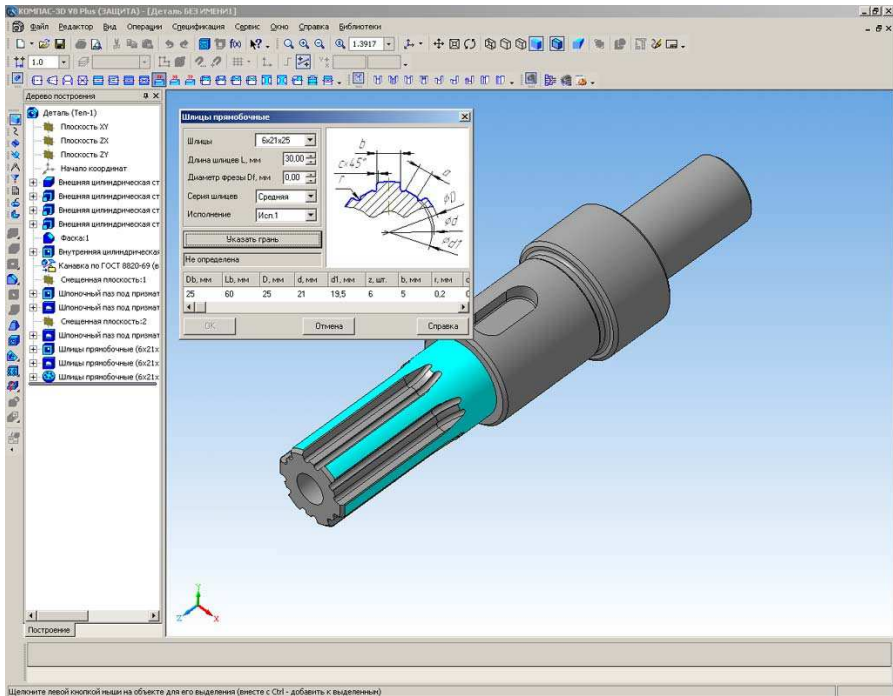


Рисунок 2.4 – Система Компас - приклад "легкої" САПР

Значення автоматизованого проектування. Широке впровадження комп'ютеризації в умовах науково-технічного прогресу забезпечує ріст продуктивності праці в різних областях суспільного виробництва. Головна увага при цьому звертається на ті області, де ріст продуктивності праці до застосування ЕОМ проходив украй повільно.

Це, у першу чергу, області, пов'язані з додатком розумової праці людини, тобто керування виробництвом, проектування й дослідження об'єктів і процесів. Якщо продуктивність праці в сфері виробництва з початку століття зросла в сотні раз, то в області проектування тільки в 1,5-2 рази. Це обумовлює більші строки проектування нових об'єктів, що не відповідає потребам розвитку економіки.

Очевидність того факту, що розвиток нової техніки в сучасних

умовах уповільнюється не стільки відсутністю наукових досягнень і інженерних ідей, скільки строками й не завжди задовільною якістю їх реалізації при конструкторсько-технологічній розробці, ні в кого не викликає сумніву. Одним з напрямків розв'язку цієї проблеми є створення й розвиток **систем автоматизованого проектування (САПР)**.

Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм при прийнятті розв'язків, підвищити точність розрахунків, вибрати найкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних і економічних характеристик виробництва й експлуатації проєктованого об'єкта, значно підвищити якість конструкторської документації, суттєво скоротити строки проектування й передачі конструкторської документації у виробництво, ефективніше використовувати технологічне встаткування із програмним керуванням.

Автоматизація проектування сприяє більш повному використанню уніфікованих виробів як стандартних компонентів проєктованого об'єкта. Застосування ЕОМ при проектуванні різних об'єктів із часом перетерплює значні зміни.

З появою обчислювальної техніки був зроблений перехід від традиційних - "ручних" методів проектування, до реалізації окремих завдань проектування на ЕОМ, намітився новий системний підхід до організації процесу проектування на ЕОМ, що полягає в створенні великих програмних комплексів у вигляді пакетів програм (ПП) і САПР, орієнтованих на певний клас завдань.

Такі комплекси будуються по модульному принципу з універсальними інформаційними й керуючими зв'язками між модулями, при розв'язанні завдань даного класу використовуються єдині інформаційні масиви, організовані в банки даних.

Питання для самоперевірки

1. Що таке САПР?
2. У яких цілях застосовується автоматизоване проектування?
3. Що входить у структуру САПР?
4. Перелічіть основні принципи проектування САПР.
5. Перелічіть спеціалізовані САПР. Охарактеризуйте їх.
6. Які вимоги пред'являються до САПР?
7. Перелічіть види САПР. Охарактеризуйте один вид.

8. Перелічіть типи САПР. Охарактеризуйте один тип.
9. Перелічіть вимоги до САПР.
10. Розкажіть про системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.
11. Які найпоширеніші типи САПР для автоматизованого проектування в машинобудуванні?
12. Які найбільш поширені "важкі" системи САПР?
13. Що визначає якість автоматизованого проектування?

2.4.2 Тема 2. Принципи автоматизованого проектування

Література: [1], с.7-21; [3], с.11-23; [5], с.12-17.

Слід враховувати що **проекткування** – це процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об'єкта, на основі первинного опису цього об'єкта й (або) алгоритму його функціонування.

Проекткування містить у собі комплекс робіт з теоретичного й експериментального дослідження, розрахунків і конструювання, які мають метою одержання опису предмета проектування, необхідного й достатнього для створення нового виробу або реалізації нового процесу, що задовольняє заданим вимогам. Об'єктами проектування можуть бути вироби (наприклад, підвіска, коробка передач) або процеси (наприклад, технологічні).

Проекткування - це складний специфічний вид творчої діяльності людини, заснований на глибоких наукових знаннях і творчому пошуку, використанні накопиченого досвіду й навичок у певній сфері, не позбавлений, однак, необхідності виконання трудомістких рутинних робіт.

Проекткування починається при наявності завдання на проект, що відбиває потреби, в одержанні деякого технічного виробу. Результатом проектування, як правило, служить повний комплект документації, що містить достатні відомості для виготовлення об'єкта в заданих умовах.

Основна функція САПР полягає в здійсненні автоматизованого проектування на всіх або на окремих стадіях проектування об'єктів та їх складових частин на основі застосування розробленої логічної

схеми проектування, системи моделей об'єкта проектування, автоматизованих проектних процедур і використання засобів обчислювальної техніки.

Метою функціонування САПР у проектній організації є одержання проектного рішення, тобто проміжного або кінцевого опису об'єкта проектування, необхідного й достатнього для розгляду або закінчення проектування, виконаного в заданій формі й у встановлений термін. Результатом проектування в САПР є сукупність закінчених проектних рішень, що задовольняють заданим вимогам. Ця сукупність містить усю необхідну інформацію для створення технології будівлі й експлуатації об'єкта проектування.

Аспекти описів проектованих об'єктів. Крім розчленовування описів по ступеню деталізації відбиття властивостей об'єкта, що породжує ієрархічні рівні, використовують декомпозицію описів по характеру відображуваних властивостей об'єкта. Така декомпозиція призводить до появи ряду аспектів описів: функціональний, конструкторський і технологічний аспекти.

Найбільш великими є функціональний, конструкторський і технологічний аспекти. Розв'язок завдань, пов'язаних з перетворенням або одержанням описів, що ставляться до цих аспектів, називають відповідно функціональним, конструкторським і технологічним проектуванням.

Етапи проектування. Етап проектування – це частина процесу проектування, що включає в себе формування всіх необхідних описів об'єкта, які відносяться до одного або декількох ієрархічних рівнів і аспектів. Часто назви етапів збігаються з назвами відповідних ієрархічних рівнів і аспектів.

Проектні процедури. Складові частини етапу проектування називають проектними процедурами. Проектна процедура - це частина етапу, виконання якої закінчується одержанням проектного рішення. Кожній проектній процедурі відповідає деяке завдання проектування, розв'язуване в рамках даної процедури. Прикладами проектних процедур можуть служити: вибір типової конструкції для побудови підсилювача рульового керування, розрахунки параметрів підсилювача, оформлення креслення виробу.

Проектна операція. Більш дрібні складові частини процесу проектування, що входять до складу проектних процедур, називають проектними операціями. Прикладами проектних операцій можуть

служити: креслення типового графічного зображення (шліцевого з'єднання, підшипника тощо), розв'язок системи алгебраїчних рівнянь, що описують статичний стан підсилювача, розрахунки показників ефективності чергового варіанта побудови підсилювача.

Маршрутом проектування називається послідовність проектних процедур, що веде до одержання необхідних проектних рішень. **Приклад типового маршруту проектування:** синтез принципової схеми пристрою - складання матем.

Режими проектування в САПР. По характеру й ступеню участі людини у використанні ЕОМ, при виконанні деякого маршруту, розрізняють кілька режимів проектування.

Автоматичний режим - має місце при виконанні маршруту проектування по формальних алгоритмах на ЕОМ без втручання людини в хід розв'язку.

Ручний (неавтоматизований) режим - характеризується виконанням маршруту без допомоги ЕОМ.

Штучний інтелект — це здатність комп'ютерної системи виконувати функції, звичайно асоційовані з інтелектуальною діяльністю людини (аналіз даних, навчання, прийняття рішень та ін.).

У порівнянні зі звичайними програмними системами, системи обробки знань відрізняються такими гідностями, як можливість порівняно простої реалізації, легкої адаптованості до змін навколишнього середовища, простотою освоєння. Тому при належному виборі проблеми, що укладається в концепції систем обробки знань, можна сподіватися на одержання гарних результатів.

Принципова відмінність інтелектуальних систем автоматизованого проектування полягає в тому, що в якості вихідної інформації виступають технічні вимоги до виробу й знання про методи його проектування, засновані на його функціональному призначенні й досвіді експерта. Поняття інтелектуальної САПР говорить про присутність у системі знань, тобто можливості на якому-небудь рівні ухвалювати розв'язки без участі проектувальника.

Така можливість може бути забезпечена шляхом переходу від побудови системи проектування з алгоритмічного принципу роботи САПР, до методики об'єктно-орієнтованого підходу. При такому підході об'єкт (точніше, його інформаційна модель) у міру проектування безупинно змінює стан аж до закінчення процесу.

В основі інтелектуальної САПР лежить банк знань. Формування

банку знань - основне завдання побудови інтелектуальному САПР. На цій стадії знання експерта формалізуються відповідно до закладених методик.

Банк знань, по конкретній прикладній області, після формування містить ієрархічну структуру об'єктів проектування, бази знань по структурно-параметричному синтезу й бази даних із установленими між ними зв'язками.

Після завершення процесу формування банку знань експерт у прикладній області не ухвалює активної участі в роботі інтелектуальної САПР на подальших стадіях роботи системи, його роль полягає в можливій корекції окремих складових банку знань. Після формування банку знань наступним етапом розробки інтелектуальної САПР є побудова оболонки - посередника між сформованим банком знань і користувачем системи.

За допомогою спеціальної інструментальної підсистеми формується прикладний інтерфейс конкретного банку знань до внутрішньої уніфікованої форми банку знань. Функціонування інтелектуальної системи починається із процесу взаємодії з користувачем.

Питання для самоперевірки

1. Що таке процес проектування?
2. Який комплекс робіт містить у собі проектування?
3. Яка мета створення систем САПР?
4. Яким шляхом досягаються поставлені цілі при створенні САПР?
5. Яку основну функцію виконує САПР?
6. Які аспекти виникають в процесі проектування об'єкту?
7. Назвіть основні етапи проектної роботи.
8. Які існують режими проектування в САПР?
9. Що таке "штучний інтелект"?
10. Розкрийте поняття інтелектуальної САПР.
11. Перелічіть принципи створення інтелектуальної САПР.
12. Що таке "паралельний інжинірінг"?
13. Що таке "проектна процедура"?
14. В якому вигляді представляється опис проектного об'єкта?
15. Назвіть основні компоненти системи штучного інтелекту.

2.4.3 Тема 3. CALS-технології - поняття про життєвий цикл виробу

Література: [2] с.17-21; [4] с.5-36; [5] с.31-34; [6] с. 3-15.

Технології комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва, ціль яких - уніфікація й стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу, називають CALS-технологіями.

Основні специфікації представлені проектною, технологічною, виробничою, маркетинговою, експлуатаційною документацією. В CALS-системах передбачені зберігання, обробка й передача інформації в комп'ютерних середовищах, оперативний доступ до даних у потрібний час і в потрібному місці.

Застосування CALS-технологій дозволяє суттєво скоротити обсяги проектних робіт, тому що описи багатьох складених частин устаткування, раніше проєктованих машин і систем - зберігаються в уніфікованих форматах даних мережних серверів, доступних будь-якому користувачеві технологій CALS. Це суттєво полегшує вирішення проблем ремонтпридатності, інтеграції продукції в різного роду системи й середовища, адаптації до мінливих умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій і т.п.

CALS-технології мають на увазі використання різних CAD/CAM/CAE/PDM-систем. Окремі модулі цих систем у рамках одного підприємства дозволяють здійснювати керування проектом (PDM-системи), інженерні розрахунки, аналіз, моделювання й оптимізацію проектних рішень (CAE-системи), двох- і тривимірне проектування деталей і складальних одиниць (CAD-системи), розробку технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного устаткування з ЧПУ, моделювання процесів обробки, у тому числі побудови траєкторій відносного руху інструмента й заготовки в процесі обробки, розрахунки норм часу обробки (CAM-системи).

Комп'ютерні системи автоматизації проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, конструкторської й технологічної підготовки виробництва часто ще називають автоматизованими інформаційними системами (AIC).

Життєвий цикл промислових виробів (рис. 2.5), включає ряд

етапів, починаючи від зародження ідеї нового продукту, до утилізації по закінченню строку його використання.

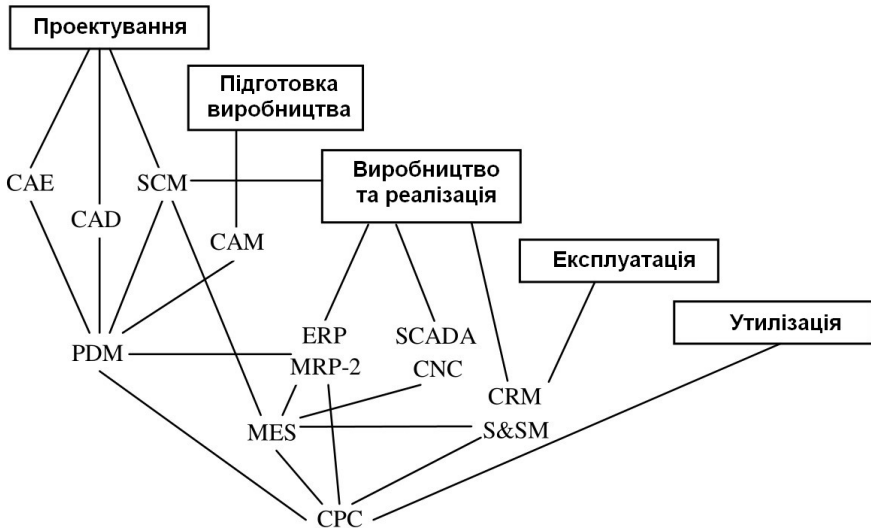


Рисунок 2.5 - Етапи життєвого циклу промислових виробів

До основних етапів життєвого циклу виробу відносяться етапи проектування, технологічної підготовки виробництва, власне виробництва, реалізації продукції, експлуатації, й нарешті, утилізації.

На всіх етапах життєвого циклу виробів, є свої цільові настанови. При цьому учасники життєвого циклу прагнуть досягти поставлених цілей з максимальною ефективністю.

Питання для самоперевірки

1. Що таке концепція CALS?
2. Що стало передумовою виникнення концепції CALS?
3. Які нормативні бази забезпечує CALS-технологія?
4. Наведіть кількісні оцінки ефективності впровадження CALS-технологій у промисловості на прикладі США.
5. Фахівці яких сфер діяльності необхідні для впровадження CALS-технологій на підприємстві?
6. Що входить до складу автоматизованих інформаційних систем (AIC)?
7. Які функції виконують системи підтримки рішень?

8. Як розподіляються забезпечуючі системи?
9. Які етапи включає в себе життєвий цикл промислових виробів?
10. Які функції виконує система керування ланками поставок (SCM - Supply Chain Management)?
11. За рахунок чого здійснюється інформаційна підтримка етапу виробництва продукції?
12. Для чого необхідна система керування проектними даними PDM (Product Data Management)?
13. Як здійснюється безпосереднє програмне керування технологічним устаткуванням на підприємстві?

2.4.4 Тема 4. Математичне забезпечення САПР

Література: [1] с.25-52; [2] с.225-267; [3] с.44-86; [5], с.91-153.

Рекомендується взяти до уваги що знання можливостей технічних і мовних засобів та вміння ними користуватися, є необхідною умовою успішної роботи інженера в САПР. Однак для ефективного використання цих засобів він повинен добре орієнтуватися в питаннях математичного забезпечення САПР, яке визначає внутрішній зміст процедур взаємодії інженера з ЕОМ.

Знання особливостей математичних моделей, методів і алгоритмів розв'язку проектних завдань необхідно інженерові для постановки завдань і правильного формулювання вихідних даних, інтерпретації одержуваних результатів, при ухваленні рішення про використання тих або інших компонентів математичного забезпечення в процесі вирішення проектних завдань.

Математичною моделлю (ММ) називають сукупність математичних об'єктів (чисел, змінних, матриць і т.п.) і зв'язків між ними, що відображають найважливіші для проектування властивості технічного об'єкта. Виконання проектних операцій і процедур у САПР засноване на оперуванні ММ. З їхньою допомогою прогнозуються характеристики й оцінюються можливості запропонованих варіантів схем і конструкцій, перевіряється їхня відповідність пропонованим вимогам, проводиться оптимізація параметрів, розробляється технічна документація тощо.

При автоматизації проектування, специфіка проектуваних об'єктів знаходить своє відбиття насамперед у їх ММ. При проектуванні

таких складних об'єктів, як автомобіль або трактор, доводиться мати справу з безліччю ММ окремих агрегатів, вузлів, деталей, причому кожний з елементів конструкції вимагає, як правило, розробки декількох ММ, що описують обмежене коло властивостей елемента.

Так, відносно простий, на перший погляд, елемент конструкції, як пневматичне колесо, має окремі ММ для опису його складу, форми, тягових, пружних властивостей, амортизуючих властивостей, що визначають його вантажопідйомність, вплив на керуваність і стійкість руху машини та ін.

Незважаючи на різноманіття ММ, застосовуваних у САПР автомобіля й трактора, вони мають багато загального; зокрема, це відноситься до класифікації, вимог, принципів і методів створення ММ і використання їх у процесі моделювання.

Параметр — це величина, що характеризує властивості або режим роботи об'єкта. Серед параметрів об'єкта проектування слід виділити показники ефективності, що є кількісною оцінкою ступеня відповідності об'єкта його цільовому призначенню.

Показники ефективності ділять на показники надійності, вартості, маси, габаритних розмірів, точності. Залежно від конкретних умов і типів об'єктів ті або інші з показників мають вирішальне значення. Термін "показник ефективності" найчастіше використовується на вищих ієрархічних рівнях проектування стосовно до складних систем.

Розрізняють вихідні, вхідні й внутрішні параметри.

Вихідні параметри - це показники якості, по яких можна судити про правильність функціонування системи, тобто це поняття аналогічне поняттю "показник ефективності", але застосовується до систем на будь-якому ієрархічному рівні. Вихідні параметри залежать як від властивостей елементів, так і від особливостей зв'язку елементів один з одним, обумовленою структурою (конфігурацією) системи. Кожний новий спосіб зв'язку задає нову структуру й призводить до якісних змін у роботі системи. До таких же змін приводить і зміна типу якого-небудь елемента, якщо новий тип якісно відрізняється від попереднього. Якщо структура системи визначена, її вихідні параметри залежать тільки від параметрів елементів і параметрів зовнішніх умов.

Внутрішні параметри - параметри елементів.

Зовнішні параметри - параметри зовнішнього середовища стосовно об'єкта, що виявляють вплив на його функціонування. Іншими словами, на кожному ієрархічному рівні вихідні параметри характери-

зують властивості системи, а внутрішні - властивості елементів. Слід зазначити, що при переході до нового рівня розгляду, внутрішні параметри можуть стати вихідними й навпаки.

Наприклад, геометричні розміри пружного елемента підвіски автомобіля або трактора є внутрішніми параметрами підвіски, а її жорсткість - вихідним параметром. У свою чергу жорсткість підвіски - внутрішній параметр усієї коливальної системи. Типовими прикладами зовнішніх параметрів можуть служити параметри навантаження, вологість і температура навколишнього середовища й т.п.

Рівняння, розв'язок яких потрібно для визначення вихідних параметрів, звичайно є математичним описом функціонування проєктованого об'єкта. У цих рівняннях незалежними змінними можуть бути час, частота, просторові координати, а залежними змінними - **фазові змінні** (величини, що характеризують стан об'єкта й тому називані також **змінними стану**).

Прикладами фазових змінних можуть служити швидкості, сили, напруги й деформації в механічних системах, тиску й витрати в гідравлічних системах, напруги, струми й заряди в електричних системах і т.п. Вектор фазових змінних задає точку в просторі, названому **фазовим простором**. Основними вимогами, висуваними до ММ, є вимоги адекватності, універсальності й економічності.

Одержання моделей елементів (моделювання елементів) у загальному випадку - процедура неформалізована. Основні рішення, що стосуються вибору виду математичних співвідношень, характеру використовуваних змінних і параметрів, ухвалює розроблювач моделі.

У той же час такі операції, як розрахунки чисельних значень параметрів моделі, визначення областей адекватності та ін., алгоритмізовані й вирішуються на ЕОМ. Тому моделювання елементів звичайно виконується фахівцями конкретних технічних областей за допомогою традиційних засобів експериментальних досліджень і засобів САПР.

Методи одержання функціональних моделей елементів ділять на теоретичні й експериментальні.

Метод кінцевих елементів (МКЕ) в автоматизованому проєктуванні займає особливе місце. Немає області проєктування, де б цей метод не застосовувався. Метод кінцевих елементів є чисельним методом розв'язку диференціальних рівнянь, що зустрічаються в різних галузях техніки.

За допомогою методу кінцевих елементів вирішуються завдання

поширення тепла, завдання пружних деформацій (рис. 2.6), завданням гідромеханіки, зокрема, завдання плинності рідини - усі ті завдання, коли можна суцільне середовище замінити еквівалентною шарнірною системою.

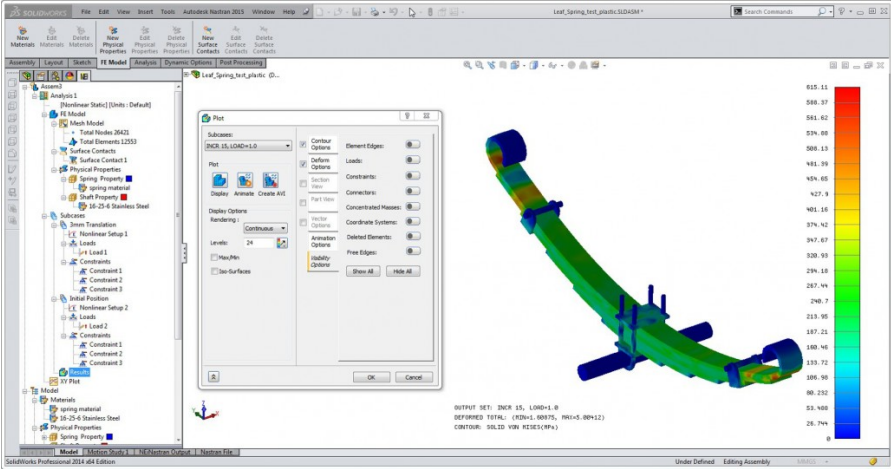


Рисунок 2.6 – Кінцево-елементний аналіз підвіски автомобіля безпосередньо під час моделювання в системі SolidWorks

Основна ідея методу кінцевих елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну величину, таку, як температура, тиск і переміщення, можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі кусочно-безперервних функцій, визначених на кінцевому числі підобластей.

Питання для самоперевірки

1. Що таке математична модель і навіщо вона потрібна?
2. Що таке параметр?
3. Які існують параметри?
4. Наведіть типові приклади зовнішніх параметрів.
5. Як класифікують математичні моделі?
6. Розкажіть про аналітичну форму запису математичної моделі.
7. Які вимоги висувають до математичних моделей?
8. Коли математична модель вважається адекватною?
9. Що таке універсальність математичної моделі?
10. Чим характеризується економічність математичної моделі?

11. Назвіть методи одержання математичних моделей.
12. Перелічіть загальні етапи розробки математичних моделей.
13. В чому полягає реалізація математичної моделі на ЕОМ?
14. Розкажіть про використання методу кінцевих елементів у САПР.
15. Коротко розкажіть про перетворення математичних моделей для одержання робочих програм аналізу на ЕОМ.

2.4.5 Тема 5. Програмне та інформаційне забезпечення САПР

Література: [1], с.52-67; [2], с.51-95; [3], с.87-131; [5], с.271-275.

При розгляді цієї теми слід звернути увагу на те, що розробка програмного забезпечення (ПЗ) є найбільш тривалою й дорогою частиною проектування САПР. Від властивостей ПЗ значною мірою залежать можливості й показники ефективності САПР.

До ПЗ САПР пред'являються вимоги економічності, зручності використання, надійності, універсальності, відкритості й мобільності. Програмне забезпечення САПР ділиться на загальносистемне, базове й прикладне.

При структуруванні ПЗ використовують поняття пакети прикладних програм, програмних систем, комплексів і компонентів. **Пакет прикладних програм** – це сукупність програм, об'єднаних спільністю застосування, тобто можливістю спільного виконання або орієнтацією на певний клас завдань. **Компоненти** – це складові частини програм, що мають своє функціональне призначення.

Основу інформаційного забезпечення САПР становлять дані, якими користуються проектувальники в процесі проектування безпосередньо для виробітку проектних рішень. Ці дані можуть бути представлені у вигляді тих або інших документів на різних носіях, що містять відомості довідкового характеру про матеріали виробів, комплектуючі, відомості із ДСТУ і нормалей, типові проектні рішення, параметри елементів, відомості про стан поточних розробок у вигляді проміжних і остаточних проектних рішень, структур і параметрів проєктованих об'єктів і т.п.

База даних (БД) – це сукупність взаємозалежних даних, що зберігаються спільно в зовнішній пам'яті ЕОМ. База даних являє собою прямокутну таблицю, рядки якої називаються записами, а стовпці

представляють поля записів.

Система керування базами даних (СУБД) - сукупність програмних засобів, що забезпечують функціонування БД. За допомогою СУБД проводиться запис даних у БД, їх вибірка по запитах користувачів і прикладних програм, забезпечується захист даних від викривлень і від несанкціонованого доступу й т.п.

Бази знань (БЗ), будучи логічним продовженням БД, підтримують і моделюють деякі елементи інтелектуальної діяльності людини, при цьому активно використовуються механізми змістовної інтерпретації. В існуючих САПР функції цих механізмів виконуються спеціально розроблювальними програмами. Разом з тим бази даних пов'язані з базами знань і в тому плані, що БД є компонентом БЗ і відображають певний рівень представлення знань.

База знань - формалізована сукупність відомостей про деяку предметну область, що містить дані про властивості об'єктів, закономірності процесів і явищ і правила використання в заданих ситуаціях цих даних для прийняття нових рішень.

Перехід від даних до знань — логічний наслідок розвитку й ускладнення інформаційних структур, оброблюваних на ЕОМ. Потрібно підкреслити, що база знань не відкидає й не заміняє базу даних. База знань і база даних розглядаються як різні рівні представлення інформації, що зберігається в банку даних.

Різноманітність проектних процедур у САПР обумовлює різноманітність типів і структур даних, якими обмінюються користувачі й прикладні програми через БД. База даних САПР повинна бути пристосована для зберігання: відомостей довідкового характеру про використовувані матеріали комплектуючих деталей, які спочатку мають форму таблиць; інформації про креслення й схеми, що вимагають для свого представлення в ЕОМ спеціального кодування; текстових документів типу пояснювальних записок, інструкцій із проектування, описів програм тощо.

Головна особливість інформації, збереженої в БД, полягає в її структурованості. Відомості про структуру й взаємозв'язки даних у БД, виражаються не тільки впорядкованим розташуванням даних, але й за допомогою додаткових масивів показників, індексів, імен (ключів) і т.п. Структурованість даних дозволяє розробити уніфіковані алгоритми, відповідно до яких відбуваються інформаційні обміни між БД і кожним з модулів програмної системи. Ці уніфіковані алгоритми

є основою системи керування базами даних.

У міру розвитку проекту інформація про нього суттєво змінюється, збільшується обсяг проектної документації, обновляються масиви даних через ітераційний характер процесу проектування, з'являються альтернативні варіанти й т.п.

Питання для самоперевірки

1. Які функції виконує програмне забезпечення (ПЗ) САПР?
2. Які вимоги висуваються до ПЗ САПР?
3. Назвіть основні функції загальносистемного ПЗ.
4. Що таке пакет прикладних програм?
5. В чому полягає об'єктно-орієнтований підхід в програмуванні?
6. Що складає основу інформаційного забезпечення САПР?
7. Що таке база даних?
8. Як класифікуються банки даних?
9. Як класифікують користувачів банку даних?
10. Які вимоги висувають до банку даних?
11. Які переваги має централізоване керування даними?
12. Яким чином забезпечується захист даних у базі?
13. Коротко розкажіть про особливості баз даних САПР.

2.4.6 Тема 6. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР

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.

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.

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.

Периферійні пристрої ЕОМ.

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.

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.

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.

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.

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?

2.4.7 Тема 7. Інтеграція CAD і CAM систем

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 ви-

робничого циклу однієї деталі.

Усе виробництво може бути поділене на дискретне й безперервне. 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.

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.

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].

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 украй неефективними.

На щастя, існують програмні пакети, називані системами керування 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.

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?

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

2.4.8 Тема 8. Числове програмне управління

Література: [2], с.329-376.

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.

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 МСУ, 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 MCU 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 muny DNC (Direct Numerical Control) являє собою систе-

му виробництва, що складається із центрального комп'ютера, що управляє декількома верстатами одночасно (рис. 2.7).

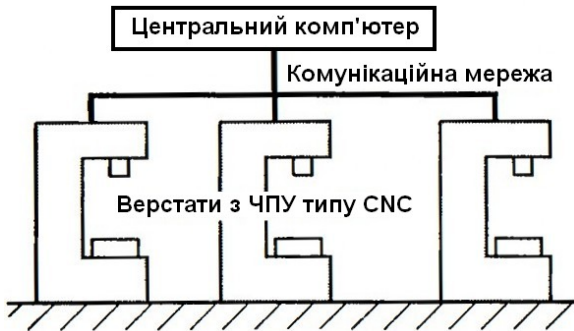


Рисунок 2.7 – Схема прямого числового управління

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 деталей. 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 кожний верстат.

Це збільшує швидкодію системи в цілому, дозволяє працювати з більшими файлами й поєднувати в мережу більша кількість верстатів (рис. 2.8). На комп'ютери-сателіти часто встановлюється програмне забезпечення для надання звітів про роботу верстатів на центральний комп'ютер, що спрощує керування цехом.

Автоматизоване складання програм.

Однією з альтернатив складанню програм обробки вручну є ви-

користання мов програмування високого рівня замість кодів, незручних для запам'ятовування. Мови високого рівня засновані на звичайних англomовних командах і зручних математичних символах. Вони можуть інтерпретуватися персональними комп'ютерами.

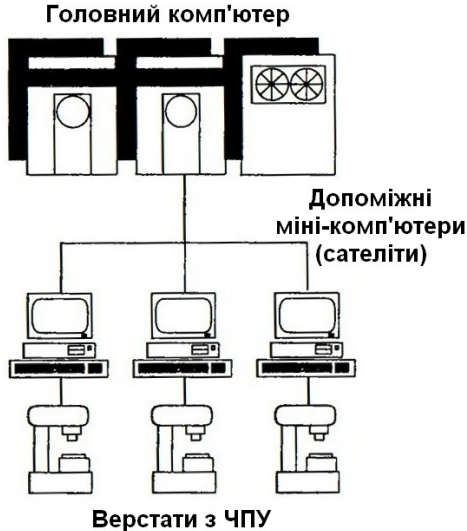


Рисунок 2.8 – Схема розподіленого числового управління

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 деталь 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.

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?

2.4.9 Тема 9. Швидке виготовлення прототипів

Література: [2], с. 378-435.

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 переворотом у технології. Замість того, щоб чекати фізичні мо-

делі протягом декількох тижнів, конструктори можуть одержувати їх через кілька днів або годин.

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.

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. Заснована на вибіркового затвердінні поверхневого шару фотополімеру й побудові тривимірних об'єктів з послідовно накладених шарів (рис. 2.9).

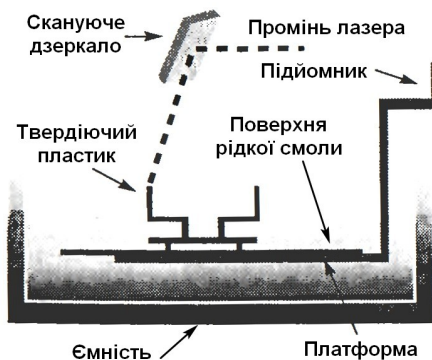


Рисунок 2.9 – Стереолітографія

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 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.

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.

2.4.10 Тема 10. Віртуальна інженерія

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

гму 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 (рис.2.10). Віртуальна інженерія включає імітацію різних видів інженерної діяльності, таких як машинна обробка, складання, управ-

ління виробничими лініями, огляд і оцінка, а також процес проектування.

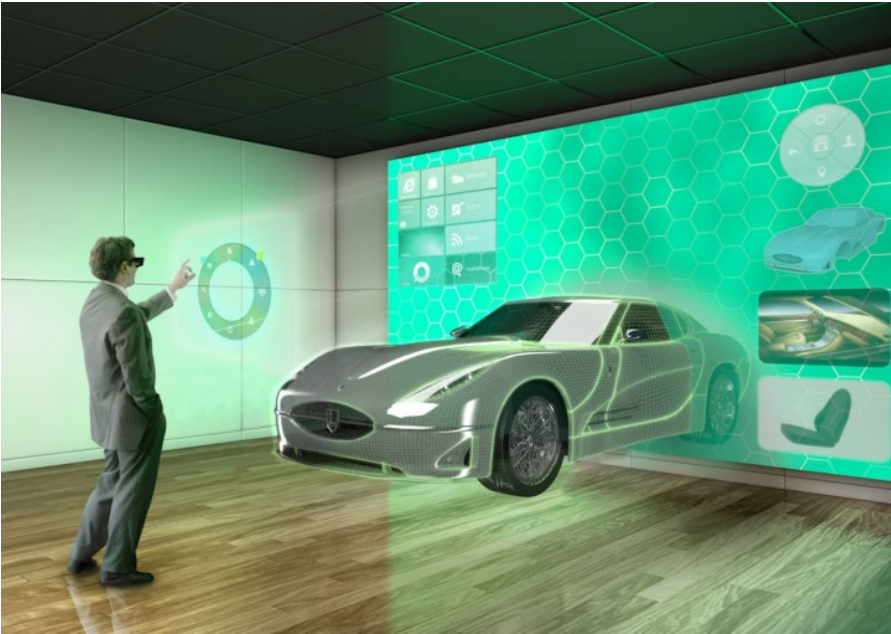


Рисунок 2.10 – Використання технологій віртуальної реальності

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.

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 альтернати-

вних 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 занадто дорогий для того, щоб створювати його в реальності. 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.

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 (рис. 2.11). Воно може бути класифіковане як проектно-орієнтоване, виробничо-орієнтоване та управлінськи-орієнтоване.

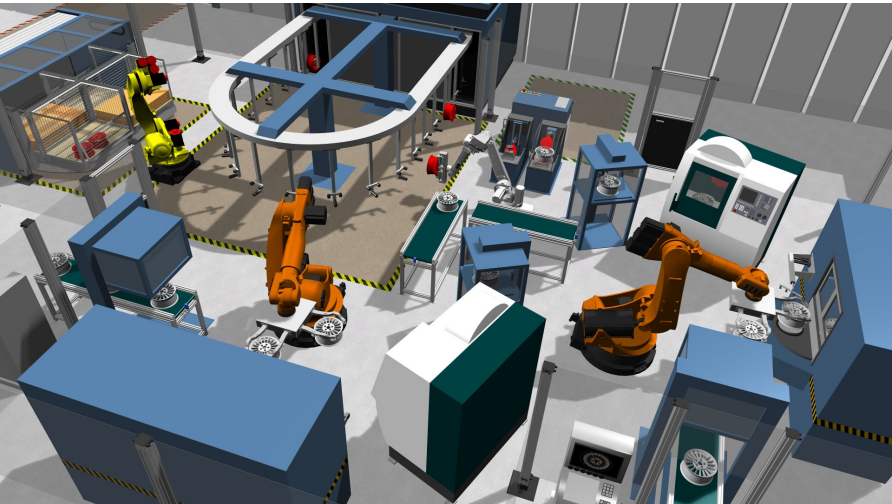


Рисунок 2.11 – Віртуальний виробництво

Проектно-орієнтоване віртуальне виробництво - це імітаційне середовище для проектування продукту й оцінки можливості його виробництва. 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. 2.12).



Рисунок 2.12 - "Віртуальна перевірка" зовнішньої оглядовості з місця водія

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 конструкції.

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 "однооком 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.

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-виміральної машини або руки робота.

Наприклад, процесом машинної обробки можна управляти графічно, як це робилося б на реальному верстаті (рис. 2.13).

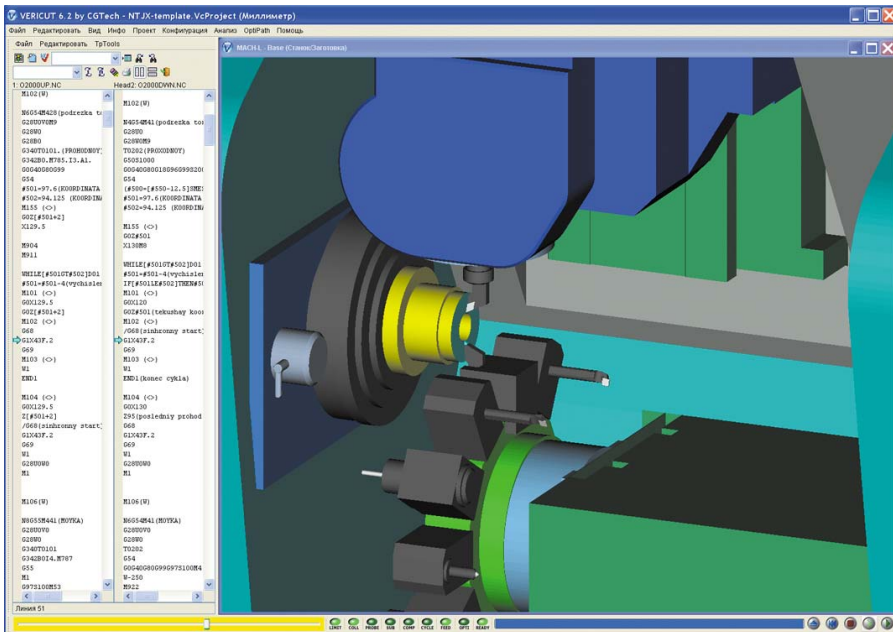


Рисунок 2.13 – Візуалізація процесу обробки деталі

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 приводять 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 меншими витратами.

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

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 пропонувананих 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.

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. 2.14). Віртуальний завод імітує конструкції виробничих ділянок, виробничі процеси й складські системи.

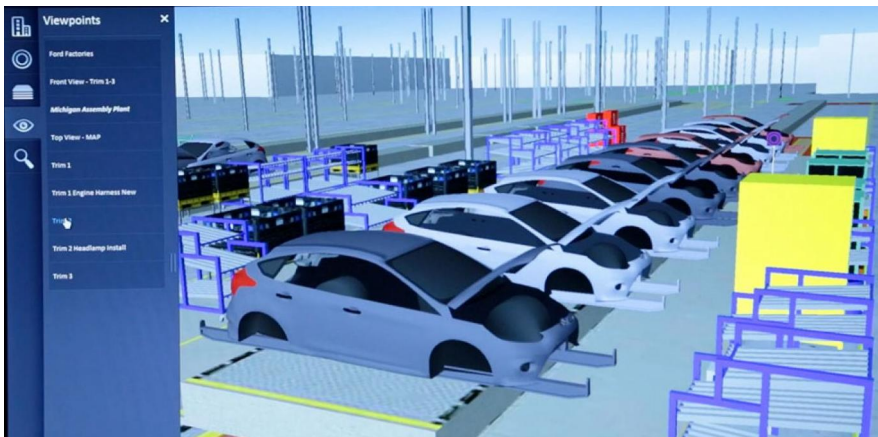


Рисунок 2.14 – Моделювання виробничого процесу

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, віртуальна 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.

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 по-

чатку 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 деталей, 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'язку 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 сьогоднішньому 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 аналі-

тиків, 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.

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?

3 ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Студенти заочної форми навчання відповідно до програми курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні" самостійно вивчають літературу, що рекомендується, і виконують одну контрольну роботу, яка складається з трьох питань.

Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем. Оформляти роботу рекомендується на аркушах формату А4 (210х297), зброшурованих і закріплених у швидкозшивачі.

При оформленні роботи слід керуватися вимогами ДСТУ 3008-95 - "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" і СТП 15-96 "Пояснювальна записка до курсових і дипломних проєктів. Вимоги і правила оформлення".

При виконанні контрольної роботи необхідно пояснювати текст схемами і рисунками в масштабі. На обкладинці роботи треба вказати: назву предмета; прізвище, ім'я, по батькові студента; шифр; спеціальність; номер залікової книжки; домашню адресу (для іногородніх) з поштовим індексом; дату виконання. Контрольна робота повинна бути підписана студентом.

Матеріал контрольної роботи розташовується в наступному порядку:

- титульний лист;
- теоретична частина;
- графічна частина;
- висновки;
- перелік посилань.

Наприкінці роботи обов'язково необхідно привести список використаної літератури та електронних джерел, на які наведені посилання в контрольній роботі, з обов'язковим зазначенням по кожному літературному джерелу прізвища та ініціалів автора, назви книги, місця видання, видавництва і року видання, URL електронного ресурсу.

Контрольна робота повинна бути особисто підписана студентом. Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем.

3.1 Список варіантів контрольних робіт

ВАРІАНТ 1

1. Основні поняття про системи САПР.
2. Архітектура сучасного комп'ютера.
3. Вимірально-фрезерні комплекси САПР кузовів.

ВАРІАНТ 2

1. Загальна схема процесу проектування автомобіля за допомогою САПР.
2. Призначення і класифікація пристроїв введення інформації.
3. Склад і функції центрального процесора.

ВАРІАНТ 3

1. Роль САПР в автомобілебудуванні.
2. Класифікація мов програмування.
3. Сучасні пакети прикладних програм для автоматизації проектування агрегатів, вузлів і деталей автомобіля.

ВАРІАНТ 4

1. Структура програмного забезпечення САПР.
2. Роль інженера-конструктора в САПР.
3. Математичні і матеріальні моделі. Поняття процесу моделювання.

ВАРІАНТ 5

1. Основні поняття про структуру САПР.
2. Класифікація пристроїв виводу і їхні основні характеристики.
3. Структура операційної системи. Ядро операційної системи і програми-утиліти.

ВАРІАНТ 6

1. Моделювання систем, механізмів і агрегатів автомобілів у САПР.
2. Типи і функціональні можливості клавіатур. Способи введення

команд. Електронний командний планшет.

3. Призначення і склад інформаційного забезпечення.

ВАРІАНТ 7

1. Види і типи САПР.
2. Числове програмне управління
3. Основні типи пристроїв введення інформації, що одержали поширення в системах САПР.

ВАРІАНТ 8

1. Універсальні алгоритмічні мови програмування: призначення, вимоги, класифікація.
2. Способи представлення геометричної інформації в ЕОМ.
3. Типи принтерів, їх характеристики та області застосування.

ВАРІАНТ 9

1. Принципи передачі даних використовуваних у САПР.
2. Призначення і склад загальносистемного, базового і прикладного програмного забезпечення.
3. Типи графобудівників, особливості їхньої роботи, характеристики та області застосування.

ВАРІАНТ 10

1. Основні поняття про системи САПР.
2. Спеціалізовані мови програмування.
3. Вимоги до пристроїв пам'яті. Загальні принципи запису, збереження і пошуку інформації на пристроях пам'яті.

ВАРІАНТ 11

1. Класифікація комплексу технічних засобів по функціональних і структурних ознаках.
2. Основні об'єкти опису САПР.
3. Швидке виготовлення прототипів

ВАРІАНТ 12

1. Функції операційної системи САПР.
2. Методи побудови обчислювальних мереж.
3. Стандарти CALS-технологій.

ВАРІАНТ 13

1. Призначення і склад технічного, математичного, програмного, лінгвістичного та інформаційного забезпечення САПР.
2. Методи опису геометрії об'єктів проектування - координатний, структурно-символьний, аналітичний.
3. Основні поняття про системи САПР.

ВАРІАНТ 14

1. Форми представлення вихідної інформації при побудові математичних моделей.
2. Призначення, основні характеристики і типи запам'ятовуючих пристроїв.
3. Устрій і принцип дії матричних, лазерних і струминних принтерів.

ВАРІАНТ 15

1. Основні відомості про автоматизоване проектування.
2. Призначення технічних засобів підготовки і введення даних, програмної обробки даних.
3. Виникнення концепції CALS та її еволюція.

ВАРІАНТ 16

1. Застосування технічних засобів відображення і документування інформації.
2. Оперативні і зовнішні запам'ятовуючі пристрої.
3. Призначення математичних моделей та галузі їх застосування.

ВАРІАНТ 17

1. Принципи і мета створення САПР.

2. Концепція впровадження CALS-технологій.
3. Особливості баз даних САПР.

ВАРІАНТ 18

1. Основні поняття про системи САПР.
2. Методика побудови математичних моделей.
3. Життєвий цикл промислових виробів.

ВАРІАНТ 19

1. Етапи і режими проектування в САПР.
2. Технічні засоби створення твердих копій.
3. Числове програмне управління.

ВАРІАНТ 20

1. Основні поняття про системи САПР.
2. Віртуальна інженерія.
3. Вимоги до математичних моделей.

ВАРІАНТ 21

1. Інтеграція CAD і CAM систем.
2. Класифікація математичних моделей по структурній і функціональній ознаках.
3. Швидке виготовлення прототипів.

ВАРІАНТ 22

1. Принципи автоматизованого проектування.
2. Класифікація банків даних.
3. Способи організації та опису даних в інформаційному забезпеченні САПР.

ВАРІАНТ 23

1. Основні поняття про системи САПР.
2. Виникнення концепції CALS та її еволюція.
3. Призначення та основні типи пристроїв візуального відображення.

Особливості пристрою і роботи моніторів ЕОМ.

ВАРІАНТ 24

1. Основні поняття про системи САПР.
2. Вимоги до пристроїв виводу інформації в системах САПР.
3. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР.

ВАРІАНТ 25

1. Інтелектуальні системи автоматизованого проектування: поняття і принципи їх створення, штучний інтелект.
2. Типи персональних ЕОМ і особливості їхньої роботи.
3. Використання методу кінцевих елементів у САПР.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

На підставі робочої програми дисципліни та вимог організації навчального процесу, кафедра розробляє контрольні заходи з перевірки якості засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни. Контрольні заходи з дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" передбачають наступне:

- опитування за окремими темами лекційного курсу;
- виконання тестових письмових робіт на рубіжному контролі;
- виконання та захист лабораторних робіт;
- виконання та захист контрольних робіт;
- складання іспиту.

Для закріплення поточних знань протягом семестру, до проведення підсумкового модульного контролю, проводяться контрольні заходи (письмове опитування студентів за матеріалами лекцій, що були прочитані), на підставі яких студент отримує загальну оцінку.

При виконанні письмової роботи, студенти одержують завдання по висвітленню певних теоретичних питань або розв'язку завдань. Робота виконується студентом письмово й здається викладачеві. При цьому оцінюються володіння матеріалом по темі роботи, аналітичні здатності студента, його володіння методами, уміння й навички, необ-

хідні для виконання завдань.

Іспит націлений на комплексну перевірку освоєння дисципліни. Іспит проводиться в усній або письмовій формі по білетах, у яких наводяться питання (завдання) по всіх темах курсу. Студенту дається час на підготовку. Оцінюється володіння матеріалом, його системне освоєння, здатність застосовувати потрібні знання, навички й уміння при аналізі проблемних ситуацій і розв'язку практичних завдань.

Слід зазначити, що всі заплановані заходи мають бути складені позитивно. Негативна оцінка з будь якого контрольного заходу свідчить про незасвоєння студентом навчального матеріалу.

Студент, який одержав за результатами модульного контролю позитивні оцінки, виконав всі завдання, що передбачені робочим навчальним планом дисципліни допускається до складання іспиту.

Студент, який отримав на модульному контролі незадовільну оцінку або не з'явився на нього, має можливість повторного складання протягом одного-двох тижнів.

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Надається перелік навчальної та довідникової літератури, що рекомендується при вивченні дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні". Слід мати на увазі, що джерела, які можуть бути використані, не обмежуються тільки цим переліком.

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)