

Змістовий модуль (тема 5)

Інструментальні засоби САПР ДВЗ.

Призначення CAD/CAE/CAM-систем. Розподіл CAD/CAE/CAM-систем за етапами проектування. Рівні CAD/CAE/CAM-систем. Інтеграція у CAD/CAE/CAM-системах.

19.03, 02.04 – лекції

26.03 – лабораторна робота.

5.1. Призначення CAD/CAE/CAM-систем

У даний час ситуація в галузі САПР технічних систем склалася таким чином, що утворився очевидний розрив між спеціалізованим інформаційним і програмним забезпеченням, яке реалізує проектний розрахунок виробів на різних етапах проектування (спеціалізовані САПР), та інструментальними засобами проектування на ЕОМ. Якщо в першому випадку вітчизняна наука має незаперечні пріоритети як у сфері математичного моделювання технічних систем, побудови інформаційного і програмного забезпечення, так і у сфері розробки процедур ухвалення рішень, то в галузі побудови просторових геометричних моделей деталей і вузлів є істотне відставання від зарубіжних розробок. Інструментальні засоби – це CAD/CAE/CAM-системи, за останній час у двигунобудуванні набули значного поширення.

CAD/CAE/CAM-системи призначені для комплексної автоматизації проектування, конструювання і виготовлення продукції машинобудування. В них фактично з'єднано три системи різного призначення, розроблені на єдиній базі, аббревіатури яких розшифровуються таким чином:

CAD – Computer Aided Design – комп'ютерна підтримка конструювання;

CAE – Computer Aided Engineering – комп'ютерна підтримка інженерного аналізу;

CAM – Computer Aided Manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення;

PDM – Product Data Management – системи управління проектни-

ми даними.

5.2. Розподіл CAD/CAE/CAM-систем за етапами

Етап конструювання (CAD, CAE) передбачає об'ємне і плоске геометричне моделювання, інженерний аналіз на розрахункових моделях високого рівня, оцінку проектних рішень, отримання креслень.

Етап технологічної підготовки виробництва (АСТПП) – на Заході називають CAPP (Computer Automated Process Planing) – передбачає розробку технологічних процесів, технологічного оснащення, керувальних програм (КП) для устаткування з ЧПУ. Сюди входить задача САПР ТП – розробка технологічної документації (маршрутної, операційної), що доводиться до робочих місць і регламентує процес виготовлення деталі.

Конкретний опис обробки на устаткуванні з ЧПУ у вигляді керувальних програм вводиться в систему автоматизованого управління виробничим устаткуванням (АСУПР), яку на Заході називають CAM.

Системи, що використовуються для аналізу й оцінки функціональних властивостей проєктованих двигунів, їх систем, вузлів і деталей, охоплюють широке коло задач моделювання пружно-напруженого, деформованого, теплового стану, коливань конструкції, стаціонарного і нестаціонарного газодинамічного і теплового моделювання з урахуванням в'язкості, турбулентних явищ, прикордонного шару тощо. Найбільш поширені CAE-системи, що використовують розв'язання систем диференціальних рівнянь у частинних похідних методом скінченних елементів (МСЕ). Вони поділяються на універсальні системи аналізу з використанням МСЕ та спеціалізовані. У двигунобудуванні найбільш відомими є такі універсальні системи, як *Nastran*, *Ansys*, російські ИСПА, КОСМОС та інші, що дозволяють виконувати різні види аналізу на розподіленому рівні. Спеціалізовані системи МСЕ орієнтовані на конкретні види аналізу. Прикладами таких систем можуть слугувати пакети *Flotran*, *Fluid*, призначені для моделювання гідрогазодинамічних процесів, *OPTRIS* – для моделювання деформацій тощо.

PDM-системи використовуються на всіх етапах проєктування, дозволяючи здійснювати режим колективного проєктування, автоматизуючи функції управління, пов'язані з цим режимом:

призначення і забезпечення якості відповідальності, прав доступу, ведення бази даних проекту тощо.

5.3. Рівні CAD/CAE/CAM-систем

Залежно від функціональних можливостей, набору і структурної організації CAD/CAE/CAM-системи можна умовно розподілити на три групи: легкі, середні і важкі системи.

Легкі системи. Це перший в історичному розвитку, що склався, клас систем. До цієї категорії можна віднести такі системи, як *AutoCAD*, *CAD-KEY*, *Personal Designer*, *ADEM*, *КОМПАС*. Вони, як правило, використовуються на персональних комп'ютерах окремими користувачами. Такі системи призначені в основному для якісного виконання креслень. Також вони можуть використовуватися для двомірного (2D) моделювання і нескладних тривимірних побудов.

Ці системи досягли останнім часом високого рівня досконалості. Вони прості у використанні, містять безліч бібліотек стандартних елементів, підтримують різні стандарти оформлення графічної документації.

Системи середнього класу. Клас, що порівняно недавно з'явився, відносно недорогих тривимірних CAD-систем. До нього належать системи *AMD*, *Solid Edge*, *Solid Works* і т.д. Їх поява пов'язана зі збільшенням потужності персональних комп'ютерів і розвитком операційної системи. За їх допомогою можна розв'язувати до 80% типових машинобудівних задач, не залучаючи потужні і дорогі CAD/CAM-системи важкого класу.

Більшість систем середнього класу ґрунтується на тривимірному твердотільному моделюванні. Вони дозволяють проектувати більшість деталей загального машинобудування, складальні одиниці середнього рівня складності, виконувати спільну роботу групам конструкторів. У цих системах можливо проводити аналіз перетинів і зазорів у складаннях.

Системи важкого класу. Такі системи надають повний набір інтегрованих засобів проектування, виробництва, аналізу виробів. До цієї категорії систем потрапляють *CATIA*, *Unigraphics*, *Pro/ENGINEER*, *CADDS5*, *EUCLID*, *Cimatron*. Вони використовують

gіne; уs апаратні засоби, як правило, робочі станції з операційною системою *UNIX*.

Системи важкого класу дозволяють розв'язувати широкий спектр конструкторсько-технологічних задач. Окрім функцій, доступних системам середнього класу, важким CAD/CAM-системи доступно:

- проектування деталей найскладнішого типу, що містять дуже складні поверхні;
- виконання побудови поверхонь за наслідками обміру реальної деталі, виконання згладжування поверхонь і складних сполучень;
- проектування масивних складок, що вимагають ретельної компоновки і містять елементи інфраструктури (кабельні джгути, трубопроводи);

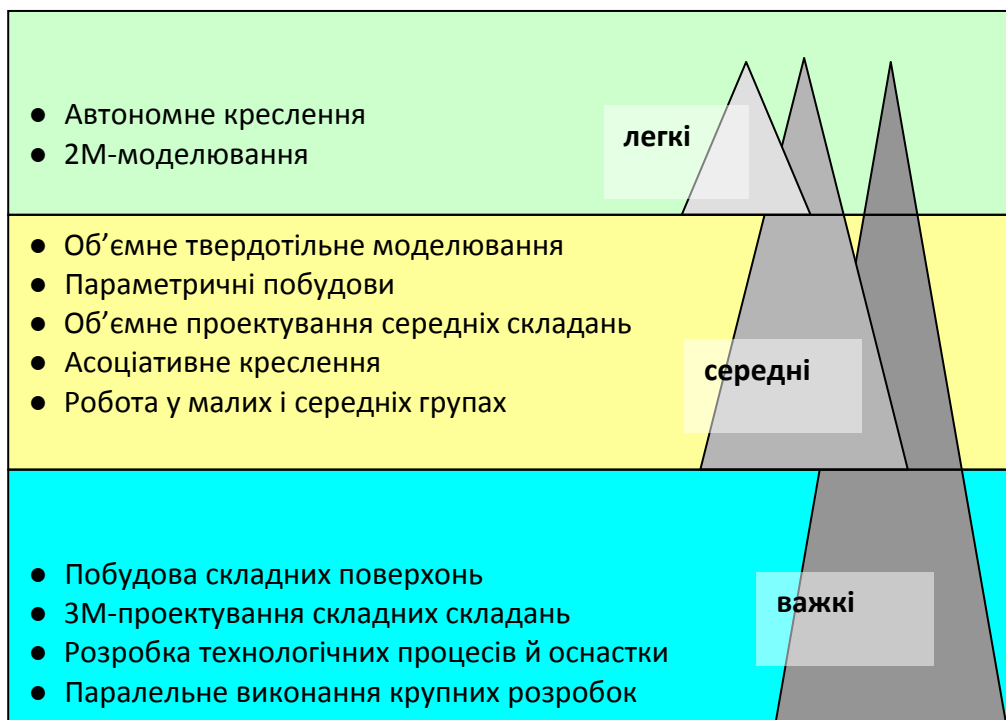


Рис. 5.1. Класи CAD/CAM-систем і обсяги виконуваних функцій

Можна стверджувати, що в майбутньому для автоматизованої розробки двигунів переважно використовуватимуться важкі системи у взаємодії зі спеціалізованими САПР, оскільки вони значно знижують трудомісткість проектування і конструювання.

CAD/CAE/CAM-системи і системи класу PDM дозволяють організувати паралельне проектування – колективний режим роботи над проектом, коли одночасно велика кількість фахівців

працює над різними частинами і стадіями проекту виробу як в рамках ОКБ, так і в рамках віртуальної корпорації (з розподіленими суміжниками). Усе це дає нову якість – проектування і виготовлення перетворюється на віртуальну технологію виготовлення комп'ютерного макета виробу.

Для сучасних CAD/CAM-систем характерним є модульний принцип побудови. Нижче наведено склад базових модулів для CAD-, CAM- і PDM-систем.

Модулі CAD систем:

- створення об'ємної моделі деталі і вузлів із статичним аналізом складальності виробів;
- проектування поверхонь будь-якої складності;
- параметризація розмірів деталей;
- оформлення складальних і моделювальних креслень по об'ємних моделях відповідно до стандартів;
- фотореалістичне відображення виробу з урахуванням текстури матеріалу, кольору і шорсткості поверхні;
- виведення зображення на плоттер;
- імпорт-експорт моделі між різними CAD через інтерфейси.

Модулі CAM-систем:

- проектування технологічних процесів виготовлення продукції та оснащення;
- динамічний контроль процесу збирання;
- вибір параметрів холодного штампування (імітується весь процес штампування, у тому числі «накладення» штампувальних пристроїв на поверхню деталі);
- створення і відладка програм для верстатів з ЧПУ (моделюється кінематика верстата, його робоча зона, стійка управління, заготівка, її кріплення й інструмент; на екрані детально відображається процес обробки);
- оптимізація параметрів процесів литва деталей з пластмас;
- модулі програмування для верстатів з ЧПУ;
- створення, редагування і моделювання програм вимірювання і контролю відповідності деталі її об'ємній моделі за допомогою координатно-вимірювальної машини.

Модулі PDM систем:

- управління загальною для розробників базою даних;
- інформаційно-пошукова система документування;
- автоматизований розподіл задач між розробниками;

- задавання статусу кожного розробника;
- визначення структури інформаційних потоків;
- визначення комплексу документації;
- контроль змін;
- контроль виконання мережного плана-графіка проекту;
- контроль повноти різномірної інформації про виріб:
 - про геометричні дані (модель з розмірами і допусками);
 - про креслення;
 - про характеристики матеріалів;
 - про специфікації;
 - про результати міцнісних розрахунків;
 - про технологічні процеси виготовлення;
 - про програми для верстатів з ЧПУ;
 - про вартості компонентів;
 - про фотореалістичні зображення та ін.;
- автоматизоване створення звітів про проекти за цими даними.

Електронна модель виробу, що складається із зазначених даних, проходить у процесі створення три рівні архівації:

- 1) архів розробника;
- 2) архів групи розробників;
- 3) загальний архів готових проектів.

Переміщення інформації на більш високий рівень відбувається у результаті «електронного підпису» особи, що ухвалює рішення.

5.4. Інтеграція у CAD/CAE/CAM-системах

Сутність інтеграції полягає у здатності створювати дані для одного додатка і за умови малих змін використовувати їх для іншого додатка. CAD/CAE/CAM є інтегрованими системами. Інтеграція в них здійснюється через геометричні моделі об'єктів, які зазнають відповідних перетворень. Комп'ютерні геометричні моделі – це спосіб подання даних про проєктований об'єкт, його форму, розмір, орієнтації в просторі, зв'язки з іншими деталями тощо.

Інтеграція CAD- і CAE-систем полягає в тому, що кінцевоелементна модель, необхідна для інженерного розрахунку в CAE-системі, будується за геометричною моделлю в CAD-системі. Для такої побудови в CAD-системах використовується додаток

FEM (Finit Element Modeling – кінцево-елементне моделювання). При перетворенні геометричної моделі в модель кінцевих елементів користувач наносить на геометричну модель сітку, тобто розбиває її на скінченну кількість елементів, кожний із яких ідентифікується координатами своїх вузлів X , Y , Z і взаємозв'язком із сусідніми елементами.

Для більш точного подання областей високих навантажень у цих областях елементи сітки подрібнюються, що означає розміщення в цій області більшої кількості елементів, чим це передбачається рівномірним розбиттям. Потім указуються місця закріплення деталі і точки додатку векторів сил. Ця інформація сприймається програмою, яка імітує виникнення навантажень на модель. Потім за моделлю кінцевих елементів створюються дані, що представляють координати вузлів сітки й іншу інформацію, необхідну для програм аналізу (ANSYS, STAR-CD тощо). Ці програми здійснюють аналіз. Залежно від запитів результати аналізу можуть подавати дані про тиск і напругу на кожний елемент, температуру, види коливань, деформації моделі. Інформацію про результати можна представити графічно.

На рис. 5.2 наведено геометричну інтерпретацію результатів розрахунку статичної міцності лопатки компресора (робочого колеса компресора, у якого лопатки виготовляються разом з диском).

Лопатка моделювалася об'ємними 8-вузловими елементами. Кількість елементів за максимальною товщиною профілю – 4. Лопатка була жорстко закріплена по кореневому перетині. Показано головні максимальні напруги.

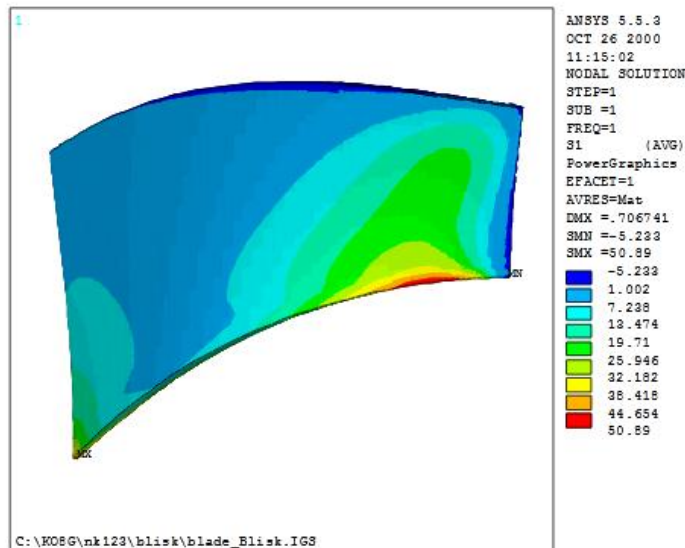


Рис. 5.2. Приклад розрахунку

конструкторські зміни, такі як розміщення додаткових опор, потовщення, перевизначення навантаження, зміна типу матеріалу або інші коректуючі дії. Після виконання цих виправлень геометрія моделі може змінитися.

При проектуванні ливарного і штампового технологічного оснащення на першому етапі здійснюється доробка геометричної моделі деталі з урахуванням термодинамічних властивостей матеріалу деталі, тобто конструктор визначає усадку матеріалу, відповідно до якої вводяться різні коефіцієнти масштабу по осях координат. На другому етапі проводиться призначення ливарних або штампувальних припусків на механічну обробку і знов коректується геометрична модель. Таким чином, проводиться перехід від геометричної моделі деталі до геометричної моделі заготовки – відливання або штампування. На третьому етапі в CAD/CAM-системах, наприклад, в Power Mill, по одержаних геометричних моделях заготовки конструюється технологічне оснащення:

- будуються поверхні і лінії роз'ємів;
- визначаються формуючі елементи – напівформи для відливань, вставки для прес-форм, комплекти «матриця-пуансон» для штампувань;
- формуються управляючі програми для верстатів з ЧПУ

- для виготовлення оснащення;
- проводиться виготовлення оснащення, причому формоутворювальні поверхні виготовляються або механічною обробкою на верстатах з ЧПУ, або електроерозійною обробкою також на верстатах з ЧПУ;
 - проводиться отримання виробу відповідно до розробленого технологічного процесу, контроль на контрольно-вимірювальних машинах і порівняння одержаних контурів з геометричною моделлю деталі. При задовільних результатах слідує виготовлення досвідчено-промислової партії деталей, збірка і випробування виробу.

Одним з сучасних способів використання геометричних моделей в технологічній підготовці виробництва є стереолитографія (технологія Quick Cast). Цей метод припускає отримання в CAD/CAM- системі по геометричній моделі стереолитографічної моделі (файл типу *.stl*) і вирощування тіла деталі з рідкого полімеру під впливом променя лазера, рух якого здійснюється на основі *.stl*-моделі. Точність такого макету $\pm 0,05$ мм. Такі макети можуть використовуватися як зліпки для подальшого литва воскових моделей, вживаних в ливарному виробництві.

CAD/CAE/CAM системи, безумовно, є системами автоматизованого проектування, аналізу, виготовлення. Але, хоча їх використання і припускає достатньо високий рівень комп'ютеризації інженерної документації, вони не є інтелектуальними САПР.

Рівень будь-кого САПР повинен характеризуватися не тільки набором закладених універсальних функцій, але і ступенем автоматизації самого процесу проектування конкретного виробу. Принципова відмінність інтелектуальних систем автоматизованого проектування полягає в тому, що як початкова інформація виступають технічні вимоги до виробу і знання про методи його проектування, засновані на його функціональному призначенні і досвіді експерта. Саме поняття інтелектуальної САПР говорить про явну присутність в системі знань, тобто про можливість на якому-небудь рівні ухвалювати рішення без участі проектувальника. Така можливість може бути забезпечена використанням спеціалізованих САПР.

Необхідність зв'язку інструментальних і інтелектуальних

САПР полягає в тому, щоб використовувати при проектуванні переваги, вигоди обох класів САПР. Найочевидніший вихід з положення – створювати інструментальні САПР як додатки до конкретних CAD/CAM-систем, використовуючи вбудовані засоби програмування. Очевидний і недолік цього методу: жорстка прив'язка до конкретної CAD/CAE/CAM-системи, неможливість занурення створеного додатку в інше інструментальне середовище. Інший спосіб інтеграції – створення гетерогенного середовища, в яке входили б як інструментальна, так і інтелектуальна САПР, причому необхідно передбачити можливість заміни інструментального середовища.

Контрольні запитання

1. Які Ви знаєте інструментальні засоби САПР?
2. У чому відмінність різних CAD/CAE/CAM-систем?
3. Як розподіляються CAD/CAE/CAM-системи по етапах ТПП?
4. Назвіть основні рівні CAD/CAE/CAM-систем. Яке їх призначення?
5. У чому полягає інтеграція в CAD/CAE/CAM системах?

**Підготовлено з використанням роботи авторів:
Воронков О.І., Єфремов А.А.**

Сучасні технології проектування та дослідження ДВЗ (САПР ДВЗ). Частина 1. Теоретичні основи САПР: Конспект лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 173с.