

Лекція 26 Характеристика основних систем середовища CALS-технологій.

1 Вимоги до систем автоматизованого проектування

1. Удосконалення методів проектування, зокрема використання методів багатоваріантного проектування та оптимізації для пошуку ефективних варіантів і ухвалення рішень.

2. Підвищення частки творчої праці інженера-проектувальника.

3. Підвищення якості проектної документації.

4. Удосконалення керування процесом розроблення проектів.

5. Часткова заміна натурних експериментів і макетування моделюванням на ЕОМ.

6. Зменшення обсягу випробувань і доведення дослідних зразків унаслідок підвищення рівня достовірності проектних рішень і, отже, зниження тимчасових витрат.

На сьогодні ситуація в сфері САПР технічних систем склалася так, що утворився очевидний розрив між *спеціалізованим інформаційним і програмним забезпеченням*, що реалізовує проектний розрахунок виробів на різних етапах проектування (спеціалізовані САПР), і 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 розроблення процедур ухвалення рішень, то в сфері побудови просторових геометричних моделей деталей і вузлів є істотне відставання від зарубіжних розробок.

Інструментальні засоби – це CAD/CAE/CAM-системи, які останнім часом набули великого поширення у двигунобудуванні.

2 Призначення CAD/CAE/CAM-систем

CAD/CAE/CAM-системи призначені для комплексної автоматизації проектування, конструювання та виготовлення продукції машинобудування. У них фактично об'єднані три системи різного призначення, розроблені на єдиній базі, аббревіатури, які розшифровуються у такий спосіб:

– 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 керування проектними даними.

Розподіл CAD/CAE/CAM-систем за етапами технологічної підготовки виробництва (далі – ТПВ):

1. *Етап конструювання (CAD, CAE)* – припускає об’ємне і плоске геометричне моделювання, інженерний аналіз на розрахункових моделях високого рівня, оцінку проектних рішень, отримання креслень.

2. *Етап технологічної підготовки виробництва* (далі – ЕТПВ) – на Заході називають *CAPP (Computer Automated Process Planing)* – припускає розроблення технологічних процесів, технологічного оснащення, керувальних програм (далі – КП), для обладнання з чисельно-програмним керуванням (далі – ЧПК). Сюди входить завдання САПР ТП – розроблення технологічної документації (маршрутної, операційної), що доводиться до робочих місць і регламентує процес виготовлення деталі.

3. *Конкретний опис обробки* на обладнанні з ЧПК у вигляді керувальних програм уводиться в систему автоматизованого керування виробничим обладнанням, яку на Заході називають *CAM*.

CAE-системи

Системи, використовувані для аналізу й оцінки функціональних властивостей проєктованих двигунів, їхніх систем, вузлів і деталей, охоплюють широке коло завдань моделювання пружно-напруженого, деформованого, теплового стану, коливань конструкції, стаціонарного та нестаціонарного газодинамічного і теплового моделювання з урахуванням в’язкості, турбулентних явищ, прикордонного шару тощо. Найпоширеніші CAE-системи, що використовують вирішення систем диференціальних рівнянь у приватних похідних методом кінцевих елементів (далі – МКЕ). Вони поділяються на універсальні системи аналізу з використанням МКЕ і спеціалізовані. В авіадвигунобудуванні найвідоміші такі універсальні системи, як Nastran, Ansys, вітчизняні ІСПА, КОСМОС та інші, що дають змогу виконувати різні види аналізу на розподіленому рівні. Спеціалізовані системи МКЕ орієнтовані на певні різновиди аналізу. Прикладами таких систем можуть бути пакети Flotran, Fluid, призначені для моделювання гідрогазодинамічних процесів, OPTRIS – для моделювання деформацій тощо.

PDM-системи

Використовують на всіх етапах проєктування, даючи змогу здійснювати режим колективного проєктування, автоматизуючи функції управління, що

обумовлюються цим режимом: призначення та забезпечення класу відповідальності, прав доступу, ведення бази даних проекту тощо.

3 Рівні CAD/CAE/CAM-систем

Залежно від функціональних можливостей, набору модулів і структурної організації CAD/CAE/CAM системи можна умовно розподілити на три групи: легкі, середні й важкі системи (рис. 1).

Легкі системи. Це перший в історичному розвитку клас систем. Серед цієї категорії можна виокремити такі системи, як CAD-KEY, Personal Designer, ADEM, T-Flex. Вони зазвичай використовуються на персональних комп'ютерах окремими користувачами. Такі системи призначені переважно для якісного виконання креслень. Вони можуть також використовуватися для двовимірного (2D) моделювання та нескладних тривимірних побудов.

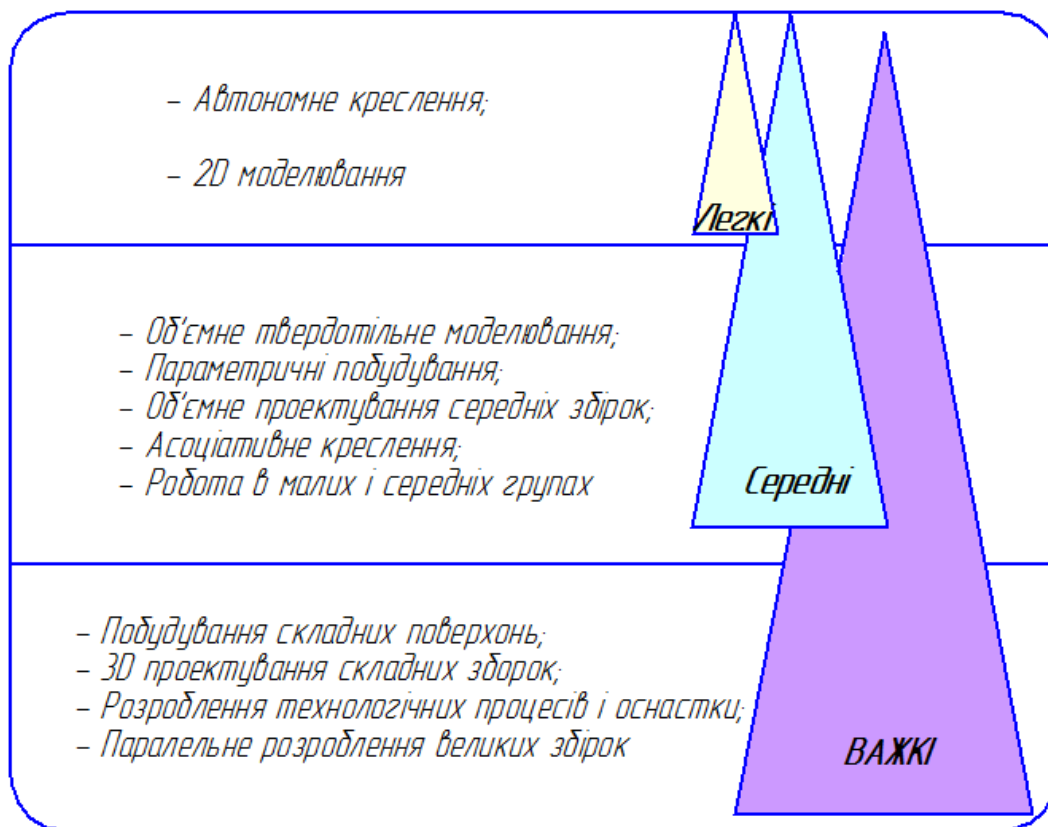


Рисунок 1 – Класи CAD/CAE/CAM-систем і обсяги виконуваних функцій

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. Це клас, що з'явився порівняно недавно, щодо недорогих тривимірних систем CAD. До нього належать

системи AMD, Solid Edge, Solid Works, AUTOCAD, КОМПАС тощо. Їхня поява обумовлена із збільшенням потужності персональних комп'ютерів і розвитком операційної системи. За їхньою допомогою можна виконувати до 80 % типових машинобудівних завдань, не залучаючи великі й дорогі CAD/CAM-системи важкого класу.

Більшість систем середнього класу ґрунтуються на тривимірному твердотільному моделюванні. Вони дають змогу проектувати більшість деталей загального машинобудування, збірні одиниці середнього рівня складності, виконувати спільну роботу групам конструкторів. У цих системах можливо проводити аналіз перерізів і зазорів у складках.

Системи важкого класу. Такі системи надають повний набір інтегрованих засобів проектування, виробництва, аналізу виробів. До цієї категорії систем належать ANSYS, EDS/Unigraphics, Inventor, NASTRAN, ALIAS, ADAMS, I-DEAS, CATIA, Pro/ENGINEER, CADD5, EUCLID, Cimatron. Вони використовують потужні апаратні засоби, зазвичай, робочі станції з операційною системою UNIX.

Системи важкого класу дають змогу вирішувати широкий спектр конструкторсько-технологічних завдань. Окрім функцій, доступних системам середнього класу, важким CAD/CAM-системам доступно:

- проектування деталей найскладнішого типу, що містять дуже складні поверхні;
- виконання побудови поверхонь за результатами обміру реальної деталі, виконання згладжування поверхонь і складних з'єднань;
- проектування масивних зборок, що потребують ретельного компонування та що містять елементи інфраструктури (кабельні джгути, трубопроводи);
- робота зі складними збірками в режимі варіантного аналізу для швидкого перегляду й оцінки якості компонування виробу.

2.4 Модульність CAD/CAE/CAM-систем

Сучасним системам CAD/CAM властивий модульний принцип побудови. Нижче перелічений склад базових модулів для CAD, CAM і PDM-систем [2].

Модулі CAD-систем:

- створення об'ємної моделі деталі й вузлів зі статичним аналізом складності виробів;
- проектування поверхонь будь-якої складності;
- параметризація розмірів деталей;

- оформлення складальних і моделювальних креслень за об'ємними моделями відповідно до стандартів;
- фотореалістичне відображення виробу з урахуванням текстури матеріалу, кольору й шорсткості поверхні;
- виведення зображення на плотер;
- імпорт-експорт моделі між різними CAD-системами через інтерфейси.

Модулі САМ-систем:

- проектування технологічних процесів виготовлення продукції та оснащення;
- динамічний контроль процесу збирання;
- вибір параметрів холодного штампування (імітується весь процес штампування, зокрема «накладення» штампувальних пристроїв на поверхню деталі);
- створення та налаштування програм для верстатів із ЧПК (моделюється кінематика верстата, його робоча зона, стійка керування, заготовка, її кріплення та інструмент; на екрані детально відображується процес обробки);
- оптимізація параметрів процесів литва деталей із пластмас;
- модулі програмування для верстатів із ЧПК;
- створення, редагування та моделювання програм вимірювання та контролю відповідності деталі її об'ємної моделі за допомогою координатно-вимірювальної машини.

Модулі PDM-систем:

- керування загальною для розробників базою даних;
- інформаційно-пошукова система документування;
- автоматизований розподіл завдань між розробниками;
- завдання статусу кожного розробника;
- визначення структури інформаційних потоків;
- визначення комплексу документації;
- контроль змін;
- контроль виконання мережного план-графіка проекту;
- контроль повноти різнорідної інформації про виріб:
 - геометричні дані (модель з розмірами та допусками);
 - креслення;
 - властивості матеріалів;
 - специфікації;
 - результати міцнісних розрахунків;
 - технологічні процеси виготовлення;
 - програми для верстатів із ЧПК;

- вартість компонентів;
- фотореалістичні зображення тощо;
- автоматизоване створення звітів про проекти за цими даними;
- архівація.

Рівні архівації моделі виробу

Електронна модель виробу, що складається з перелічених даних, проходить у процесі створення три рівні архівації:

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

Переміщення інформації на вищий рівень відбувається внаслідок «електронного підпису» особи, яка ухвалює рішення.

2.5 Функції, властивості та приклади CAE/CAD/CAM-систем

Функції CAD-систем у машинобудуванні підрозділяють на функції *двовимірного* (2D) і *тривимірного* (3D) проектування. До функцій 2D належать креслення, оформлення конструкторської документації, до функцій 3D – отримання тривимірних моделей, метричні розрахунки, реалістична візуалізація, взаємне перетворення 2D і 3D моделей [2].

Головні функції CAM-систем: розроблення технологічних процесів, синтез керувальних програм, для технологічного обладнання з числовим програмним керуванням (далі – ЧПК), моделювання процесів обробки, зокрема побудова траєкторій відносного руху інструменту та заготовлення в процесі обробки, генерація процесорів посту для певних типів обладнання з ЧПК (NC – Numerical Control), розрахунок норм часу обробки.

Функції CAE-систем досить різноманітні, оскільки вони обумовлюються проектними процедурами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень. До складу машинобудівних CAE-систем насамперед належать програми для таких процедур:

- моделювання полів фізичних величин, зокрема аналіз міцності, який зазвичай виконується відповідно до МКЕ;
- розрахунок станів і перехідних процесів на макрорівні;
- імітаційне моделювання складних виробничих систем на основі моделей масового обслуговування та мереж.

Приклади систем моделювання полів фізичних величин відповідно до МКЕ: Nastran, Ansys, Cosmos, Nisa, Moldflow. *Приклади систем моделювання динамічних процесів на макрорівні:* Adams і Dyna – у механічних системах, Spice – в електронних схемах, ПА9 – для багатоаспектного моделювання,

тобто для моделювання систем, принципи дії яких базуються на взаємовпливі фізичних процесів різного походження.

Для зручності адаптації САПР до потреб певних використань, для її розвитку доцільно мати у складі САПР інструментальні засоби адаптації та розвитку. Ці засоби представлені тією або іншою CASE-технологією, зокрема мови розширення. У деяких САПР застосовують оригінальні інструментальні середовища.

Прикладами можуть бути об'єктно-орієнтоване інтерактивне середовище CAS CADE в системі EUCLID, яка містить бібліотеку компонентів, у САПР T-Kieх CAD 3/J передбачено розроблення доповнень у середовищах Visual O+/- і Visual Basic.

Важливе значення для забезпечення відкритості САПР, її інтегрованості з іншими автоматизованими системами (далі – АС) мають інтерфейси, що реалізуються в системі форматами міжпрограмних обмінів. Очевидно, що передусім необхідно забезпечити зв'язки між CAE, CAD і CAM-підсистемами.

6 Програмні мови

Мови – формати міжпрограмних обмінів – використовуються IGES, DXF. Express (стандарт ISO 10303-11, входить у сукупність стандартів STEP), SAT (формат ядра ACIS) тощо.

Найперспективнішими вважаються діалекти мови Express, що пояснюється загальним значенням стандартів STEP, їхньою спрямованістю на різне застосування, а також на використання в сучасних розподілених проектних і виробничих системах. Дійсно, такі формати, як IGES або DXF описують тільки геометрію об'єктів, тоді як в обмінах між різними САПР і їхніми підсистемами фігурують дані про різноманітні властивості й атрибути виробів [3].

Мова Express використовується в багатьох системах інтерфейсу між CAD/CAM-системами. Зокрема, в систему CAD+ STEP включено середовище SDAI (Standard Data Access Interface), в якому можливе подання даних про об'єкти з різних систем CAD і додатків (але описаних за правилами мови Express). CAD++ STEP забезпечує доступ до баз даних більшості відомих САПР із наведенням даних у вигляді STEP-файлів. Інтерфейс програміста дає змогу відкривати й закривати файли проектів у базах даних, проводити читання та запис. Як об'єкти можуть використовуватися точки, криві, поверхні, текст, приклади проектних рішень, розміри, зв'язки, типові зображення, комплекси даних тощо.

2.7 Поняття про CALS-технологію

CALS-технологія – це технологія комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва, мета якої – уніфікація та стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу. Головні специфікації представлені проектною, технологічною, виробничою, маркетинговою, експлуатаційною документацією. У CALS-системах передбачено зберігання, обробка та передача інформації в комп'ютерних середовищах, оперативний доступ до даних у потрібний час і в потрібному місці. Відповідні системи автоматизації назвали *автоматизованими логістичними системами або CALS (Computer Aided Logistic Systems)*. Оскільки під логістикою зазвичай розуміють дисципліну, присвячену питанням постачання та керування запасами, а функції CALS набагато ширше й обумовлюються з усіма етапами життєвого циклу промислових виробів, застосовують і більш розповсюджену розшифровку аббревіатури *CALS – Continuous Acquisition and LifeCycle Support*.

Застосування CALS дає змогу істотно зменшити обсяг проектних робіт, оскільки описи багатьох складників обладнання, машин і систем, що проектувалися раніше, зберігаються в базах даних мережних серверів, доступних будь-якому користувачеві технології CALS. Істотно полегшується вирішення проблем ремонтоздатності, інтеграції продукції різних систем і середовища, адаптації до змінних умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій тощо.

Розвиток CALS-технології повинен призвести до появи так званих віртуальних виробництв, при яких процес створення специфікацій з інформацією для програмно-керованого технологічного обладнання, достатній для виготовлення виробу, може бути розподілений у часі й просторі між багатьма організаційно автономними проектними студіями. Серед безперечних досягнень CALS-технології варто назвати легкість розповсюдження передових проектних рішень, можливість багатократного відтворення частин проекту в нових розробках тощо.

Побудова відкритих розподілених автоматизованих систем для проектування та керування у промисловості становить основу сучасної CALS-технології. Головна проблема їх побудови – забезпечення одноманітного опису й інтерпретації даних, незалежно від місця і часу їх отримання в загальній системі, що має масштаби аж до глобальних. Структура проектної, технологічної та експлуатаційної документації, мови її подання повинні бути стандартизованими. Тоді стає реальною успішна робота над загальним проектом різних колективів, розділених в часі й

просторі та які використовують різні CAE/CAD/CAM-системи. Та сама конструкторська документація може бути використана багато разів у різних проектах, а та сама технологічна документація адаптована до різних виробничих умов, що дає змогу істотно скоротити й здешевіти загальний цикл проектування та виробництва. Крім того, спрощується експлуатація систем.

Отже, інформаційна інтеграція є невід'ємною властивістю CALS-систем. Тому CALS-технологія базується на низці стандартів, що забезпечують таку інтеграцію.

Важливі проблеми, що потребують вирішення під час створення комплексних САПР, – керування складністю проектів та інтеграція програмного забезпечення (далі – ПЗ). Ці проблеми охоплюють питання декомпозиції проектів, розпаралелювання проектних робіт, цілісності даних, міжпрограмних інтерфейсів тощо.

8 Комплексні автоматизовані системи

Відомо, що часткова автоматизація зазвичай не дає очікуваного підвищення ефективності функціонування підприємств. Тому переважним є впровадження інтегрованих САПР, що автоматизують всі головні етапи проектування виробів. Подальше підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності продукції можливе шляхом інтеграції систем проектування, керування та документообігу. Така інтеграція лежить в основі створення *комплексних систем автоматизації*, в яких, крім функцій САПР, реалізуються засоби для автоматизації функцій керування проектуванням, документообігу, планування виробництва, обліку тощо.

CALS-технологія базується на низці стандартів і насамперед це стандарти STEP, а також Parts Library, Mandate, SGML (Standard Generalized Markup Language), EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, Transport) тощо. Стандарт SGML визначає способи уніфікованого оформлення документів певного призначення – звітів, каталогів, бюлетенів тощо, а стандарт EDIFACT – способи обміну подібними документами.

Одна з найвідоміших реалізацій CALS-технології розроблена фірмою Computervision. Це технологія названа *EPD (Electronic Product Definition)* і орієнтована на підтримання процесів проектування та експлуатації виробів машинобудування.

У CALS-системах на всіх етапах життєвого циклу виробів використовується документація, отримана на етапі проектування. Тому

природно, що склади підсистем у CALS і комплексних САПР значною мірою співпадають.

Технологію EPD реалізують:

- CAD – система автоматизованого проектування;
- CA.V1 – автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ);
- CAE – система моделювання та розрахунків;
- CAPE (Concurrent Art-to-Product Enironoment) – система підтримання паралельного проектування (concurrent engineering);
- PDM – система керування проектними даними, що є спеціалізованою СКБД (DBMS – Data Base Management System);
- 3D Viewer – система тривимірної візуалізації;
- 3 ADD – система документування;
- CASE – система розроблення та супроводу програмного забезпечення;
- методики обстеження та аналізу функціонування підприємств.

Основу EPD становлять системи CAD і PDM, що використовуються CADDS5 і Optegra відповідно. Значною мірою специфіку EPD визначає система Optegra. У ній відображається ієрархічна структура виробів, що включає всі складальні вузли та деталі. В Optegra можна отримати інформацію про атрибути будь-якого елемента структури, а також відповіді на типових для баз даних питання типу «Вкажіть деталі з матеріалу або в яких блоках використовуються деталі заготівника» тощо.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке CAD/CAE/CAM-системи? Як вони розшифровуються?
2. Дайте характеристику рівням CAD/CAE/CAM-систем.
3. Дайте визначення поняттю CALS-технології.