

## **ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ CAD/CAM/CAE/PLM-СИСТЕМ ПРИ КРІЗНОМУ ПАРАЛЕЛЬНОМУ ЦИКЛІ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА**

*Анотація:* Розглянуто питання використання сучасних CAD/CAM/CAE/PLM-систем при крізному паралельному циклі підготовки виробництва.

*Ключові слова:* CAD/CAM/CAE/PLM-системи, паралельний цикл підготовки виробництва.

### **Вступ**

У сучасних економічних умовах ключовим фактором виживання машинобудівних підприємств є максимально можливе скорочення термінів проектування та освоєння нової продукції. Один з найбільш вірогідних шляхів вирішення цієї проблеми — це використання інформаційних технологій підтримки життєвого циклу продукції, що випускається (CALS-або PLM-технології).

У теперішній час ефективним вважається застосування крізного паралельного циклу підготовки виробництва (concurrent engineering) [1] з використанням систем автоматизованого проектування для створення виробу будь-якої складності. При такому підході автоматизується процес проектування і випуску конструкторської і технологічної документації, включаючи розробку управляючих програм для верстатів з ЧПК, що дозволяє створити систему конструкторсько-технологічного документообігу і електронного архіву і, як наслідок, істотно скоротити цикл технологічної підготовки виробництва.

Позитивний ефект в цьому випадку досягається за рахунок роботи в єдиному інформаційному просторі, де доступ до виробу на будь-якій стадії розробки може здійснюватися одночасно декількома інженерними групами: проєктантами, конструкторами, технологами різних підрозділів. Це забезпечує більш раннє підключення до проєкту всіх підрозділів, що беруть участь в розробці виробу, і дозволяє оптимально використовувати колективний досвід, а також сприяє підвищенню якості інженерного продукту, у тому числі, за рахунок застосування знань і досвіду одних учасників проєкту на користь інших.

Очевидним є твердження про те, що всі аспекти інженерної праці при конструкторсько-технологічній підготовці виробництва в крізному паралельному циклі повинні автоматизуватися якою-небудь однією системою. Основний аргумент на користь цього твердження — втрати при сполученні систем непомірно більші, ніж витрати, що зумовлені слабкістю яких-небудь функцій в тій або іншій системі.

---

© О.А. Стенін, С.В. Лапковський, М.О. Солдатова, 2010

Таким чином, виникає протиріччя: з одного боку, необхідно прагнути прискорення циклу створення виробу, а з іншою — неприпустиме зниження якості створення виробу.

### **Постановка задачі**

Впровадження в інженерну практику методів автоматизації проектування дозволяє перейти від традиційних методів проектування до моделювання за допомогою CAD/CAM/CAE-систем. Системи автоматизованого проектування (САПР) або CAD (Computer-Aided Design) зазвичай використовуються спільно з CAE-системами (Computer-Aided Engineering) — системами автоматизації інженерних розрахунків та аналізу. Дані з CAD-систем передаються в САМ-систему (Computer-Aided Manufacturing) — систему автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів з ЧПК. В САД-системах реалізуються: проектування і розробка; промисловий дизайн і реінжинірінг; проектування електричних систем; проектування механічних систем. В САМ-системах реалізуються: інструмент і оснащення; механообробка; контроль і верифікація. В CAE-системах реалізуються: інженерний аналіз і оптимізація; оптимізація конструкції з урахуванням конструктивних, технологічних і експлуатаційних вимог.

В даний час на ринку програмно-апаратних засобів існує велика кількість систем, які в тому або іншому ступені забезпечують автоматизацію проектно-конструкторських і технологічних робіт. За своїми можливостями і функціональному призначенню їх розділяють на три рівні: верхній, середній і нижній (рис. 1).

Системи нижнього рівня призначені для автоматизації створення текстової та креслярської документації, що використовується у виробництві, а також для вирішення окремих задач підготовки управляючих програм для обладнання з ЧПК. По своїй суті системи нижнього рівня є комп'ютерним аналогом кульмана, і ефект від їх застосування зводиться до підвищення якості і точності підготовки конструкторсько-технологічної документації. До систем нижнього рівня можна віднести такі системи, як Компас-графік і AutoCAD. З причини їх істотної обмеженості, асортимент систем нижнього рівня останніми роками сильно скоротився, але деякі системи, як і раніше, зберегли свою актуальність і затребуваність як необхідне доповнення до систем середнього і верхнього рівня.

Системи середнього рівня на сьогоднішній день представляють найширший спектр рішень, що розвинувся як більш функціонально просунута альтернатива набору систем нижнього рівня.

Типовими прикладами систем середнього рівня є ADEM, SolidWorks, SolidEdge, T-FLEX, PowerSolutions та інші.

Відмінною рисою систем середнього рівня є їх вузька орієнтація на певний клас задач: конструювання виробів і підготовка конструкторської документації, моделювання механічної обробки певного типу і розробка технологічних процесів, виконання певного типу аналізу. Системи сере-

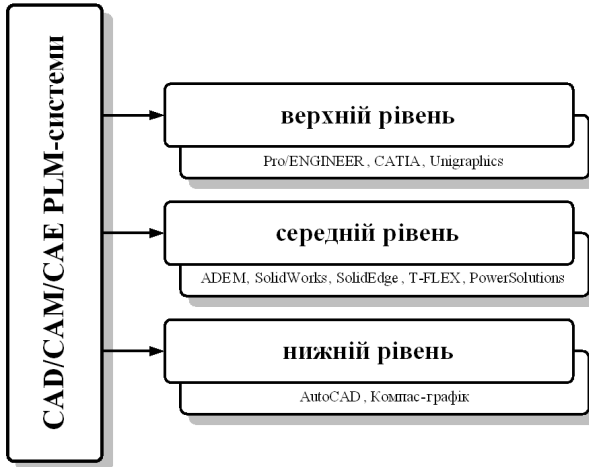


Рис. 1 – Класифікація CAD/CAM/CAE PLM-систем

днього рівня понад усе обмежені в питаннях забезпечення взаємодії з іншими системами.

Основне призначення систем середнього рівня можна описати як універсальний інструмент для швидкого створення нескладних моделей, підготовки і випуску креслень. Системи середнього рівня не мають спеціалізованих додатків для вирішення специфічних задач підготовки виробництва, таких, наприклад, як проектування і виготовлення оснащення, аналізу і оптимізації конструкції. Для вирішення задач рівня підприємства необхідно комбінувати різні системи, доповнювати системи середнього рівня більш спеціалізованими системами нижнього рівня. І хоча розробники і постачальники систем середнього рівня заявляють про їх тісну інтеграцію між собою і можливості таким чином автоматизувати з їх допомогою всі інженерні роботи сучасного машинобудівного підприємства, збудувати на їх основі єдиний комплекс не вдається. Причиною тому є відсутність асоціативного зв'язку між різнорідними системами. Це означає, що однозначно з системи в систему передається тільки геометричні дані. Дані ж топологічні (тобто методика розробки проекту) і структурні (ієрархія проекту, структурні зв'язки між його компонентами) між системами не передаються з причини різноманітності їх математичних моделей (ядер). Те ж саме торкається і внутрішньої інформації про виріб: кожна система зберігає в собі власну копію математичної моделі, в якій міститься інформація про розміри, допуски точності, тощо, яка найчастіше є недоступною для інших систем. В цьому випадку, крім передачі геометрії з системи в систему через стандартний інтерфейс, необхідно передавати ще і докладну креслярську документацію, що пов'язана з моделлю тільки формально. У тому випадку, коли при передачі креслення

в ньому була знайдена і виправлена помилка, це може не знайти свого віддзеркалення в моделі, оскільки по суті це абсолютно різні, не пов'язані один з одним одиниці інформації.

Потрібно відзначити, що ряд систем середнього рівня формально пропонують автоматизацію всіх видів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Але в даному випадку йдеться швидше про автоматизацію окремих видів робіт на кожній ділянці циклу "проектування-виробництво— по суті, звичайний кульман замінюється електронним без виникнення якісно нових методів роботи. При такому підході відбувається досить незначне підвищення ефективності роботи при повній відсутності перспектив для її підвищення.

Взагалі процес автоматизації всього підприємства, що проводиться з використанням систем середнього рівня, можна розглядати як процес насичення підрозділів різнорідними засобами від різних розробників і постачальників, що призводить до виникнення проблем іншого роду: труднощі з передачею даних з однієї системи в іншу, багатократне дублювання даних без можливості контролю їх відповідності, навчання фахівців використанню декількох систем одночасно. При такому підході втрачається відповідальність окремого постачальника або виконавця за кінцевий результат впровадження або якої-небудь роботи.

Обмежена функціональність систем середнього не дозволяє експлуатувати такі пакети в промисловому масштабі та змушує навіть малі підприємства переходити на більш ефективну технологію.

Системи верхнього рівня пропонують якнайповніший набір функціональних можливостей і інструментальних засобів для автоматизації всього циклу проектування і підготовки виробництва продукції. На сьогоднішній день системи верхнього рівня представлені всього трьома представниками Pro/ENGINEER, CATIA і Unigraphics.

Всі системи верхнього включають засоби автоматизованого конструювання, технологічної підготовки виробництва і засобу автоматизації інженерних розрахунків. Кожна з цих систем базується на власному геометричному ядрі, і здатна вирішувати широкий спектр задач проектування і підготовки виробництва незалежно від складності проєктованих виробів.

Системи верхнього рівня є самими універсальними, вони допускають роботу різних груп користувачів над одним проєктом спільно і управління даними на рівні робочих груп. Такі системи містять різні прикладні модулі, які зв'язані між собою.

### **Крізний паралельний цикл підготовки виробництва**

На сьогоднішній день основними критеріями вибору тієї або іншої системи є:

- повнота функціональних можливостей (включаючи адаптацію до вітчизняних стандартів);

- наявність унікальних функцій, які життєво необхідні підприємству або мають дуже важливе значення (наприклад, оптимізаційне моделювання);
- середня вартість одного робочого місця;
- простота інтерфейсу і легкість освоєння (включаючи наявність необхідних підручників і довідників на українській або російській мовах).

Сказати однозначно, що та або інша система краще не представляється можливим.

Існує велика кількість непрямих критеріїв, наприклад, таких, як комерційний успіх системи або конкретний досвід використання на споріднених підприємствах, за якими можна зробити вибір для корпорації. У якості підтвердження цього твердження можна навести дуже багато фактів. Один з них — перевірка можливості роботи в кризовому паралельному циклі проектування з використанням різних САПР, кожна з яких має свої переваги в певній області, яка була проведена при виготовленні космічного корабля багаторазового використання “Кліпер”, який повинен замінити космічні кораблі “Союз”, створюваного Ракетно-космічною корпорацією “Енергія” ім. С.П. Корольова (Росія) (рис. 2) [2].

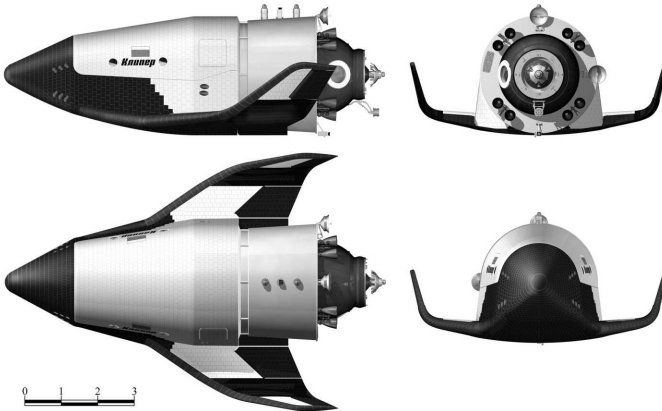


Рис. 2 – Космічний корабель багаторазового використання “Кліпер”

При проектуванні використовувалися САПР Pro/Engineer і CATIA, при технологічній підготовці — система ADEM.

В даний час в умовах локальної автоматизації при створенні виробу застосовується послідовний цикл виготовлення. Він відповідає стандартизованим процедурам, що склалися в рамках “паперової технології”.

Послідовний цикл виготовлення умовно можна розділити на сім основних тимчасових етапів:

1. проектування виробу;
2. моделювання виробу і інженерні розрахунки;
3. розробка і випуск конструкторської документації;
4. технологічне планування;
5. розробка технологічного процесу виготовлення, проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення;
6. розробка управляючих програм;
7. виробництво і контроль виробу.

При традиційному послідовному циклі проектування черговий етап роботи починається тільки після завершення попереднього і оформлення відповідної документації в паперовому вигляді.

Переваги такого підходу полягають у відлагодженості і пристосованості для локальної автоматизації. Головними недоліками вважаються відносно велика тривалість циклу і неможливість в достатній мірі врахування технічних рішень інших учасників процесу створення виробу.

Щоб уникнути вказаних недоліків при створенні моделі “Кліпера” був використаний кризний паралельний цикл створення виробу.

Умовно всі роботи були розділені на чотири етапи.

Перший з них полягав в сумісному проектуванні ГКБ РКК “Енергія” і ОКБ “Сухой” обводів моделі в САПР Pro/Engineer і САПР CATIA відповідно. При цьому передача файлів між САПР відбувалася через стандартні формати IGES і STEP.

На другому етапі в ГКБ РКК “Енергія” відбувалося об’ємне моделювання складальної одиниці виробу, а також проводилися інженерні розрахунки за допомогою програм Flow Visual/Work з перекладом в них через формат STL.

Одночасно з цим у відповідному бюро здійснювалися процедури попереднього технологічного планування, що є віртуальним розподілом електронної інформації без випуску маршрутних карт.

В процесі розробки деталей складальної одиниці бюро технологічного планування шляхом взаємодії з конструкторським бюро через корпоративну мережу в середовищі Pro/INTRALINK розподіляло їх для технологічного опрацювання.

Частково деякі технологічні аспекти, пов’язані з аналізом розмірних ланцюгів між окремими деталями в складанні, проводилися в системі Pro/Engineer.

За допомогою технологічної САПР ADEM була проведена перевірка можливості обробки даних поверхонь із заданою точністю, при цьому передача даних здійснювалася за допомогою стандартних форматів IGES і STEP.

Виявлені зауваження усувалися конструктором в САПР Pro/Engineer за рахунок коректування електронних моделей на етапі розробки складальної одиниці. Одночасно із закінченням об’ємного моделювання був

завершений процес технологічного планування, і до початку розробки конструкторської документації бюро технологічного планування випустило маршрут виготовлення виробу. Згідно цьому маршруту у відповідних підрозділах одночасно почалася розробка управляючих програм для верстатів з ЧПК і комплекту документів на технологічний процес виготовлення виробу в ADEM CAM і ADEM CAPP відповідно. Паралельно з цим були розроблені специфікації на проектування засобів технологічного оснащення для виготовлення деталей, а конструкторське бюро засобів технологічного оснащення здійснило це проектування.

На третьому етапі у момент випуску конструкторської документації і передачі її у виробництво вже йшли доробка і відлагодження управляючих програм, що були розроблені за допомогою ADEM CAM, а також затвердження технологічних процесів механічної обробки всіх деталей складальної одиниці.

На четвертому етапі, після отримання виробництвом креслень деталей, комплекту документів на технологічний процес, управляючих програм, а також необхідних засобів технологічного оснащення, почалося безпосередньо виготовлення макета “Кліпера”.

Таким чином, при використанні кризного паралельного циклу проектування виробу можна виділити чотири основні тимчасові етапи:

1. проектування виробу;
2. моделювання виробу і інженерні розрахунки, технологічне планування і відпрацювання на технологічність;
3. розробка і затвердження конструкторської документації; розробка технологічного процесу виготовлення, проектування і виготовлення системи технологічного оснащення; розробка управляючих програм;
4. виробництво і контроль виробу.

Підводячи підсумок вищесказаному, можна відзначити наступні основні особливості застосування кризного циклу в різних САПР.

Розробка комплекту документів на технологічний процес виготовлення виробу і управляючих програм для верстатів з ЧПК проводилася в САПР ADEM. Передача даних здійснювалася за допомогою форматів IGES і STEP, через що відбувалася втрата інформації по допусках, шорткостях і розмірних ланцюгах при перекладі моделей з однієї системи в іншу. Втрат і спотворень по геометрії відзначено не було. Інформація, необхідна для чистових операцій при створенні управляючих програм, що втрачається, а також для створення технологічного процесу, заповнювалася безпосередньо з Pro/Engineer.

Використання різних САПР на даному етапі необхідне, оскільки жодна САПР не володіє всіма можливостями, що вимагаються для створення виробу. Зокрема, застосування САПР Pro/Engineer необхідно технологу, що працює в САПР ADEM, оскільки в ній створюється електронна модель, а крім того, при передачі через формати IGES і STEP відбувається втрата інформації.

САПР ADEM потрібен при технологічній підготовці виробництва, оскільки необхідно:

- використання модуля ADEM CAM, що служить для проектування обробки, створення управляючих програм і має відлагоджені пост-процесори для основних верстатів;
- застосування модуля ADEM CAPP, за допомогою якого здійснюється автоматизоване створення технологічного процесу спільно з проектуванням обробки, що зручно і необхідно, оскільки комплект документів на технологічний процес оформляється відповідно до стандарту, який діє на підприємстві. Зручно і те, що ADEM CAPP дозволяє реалізувати створення різних ескізів, схем, наладок в одному технологічному процесі на базі електронної моделі.

В цілому обмін даними між підрозділами, що працюють в різних САПР, відбувався досить просто, як тільки була здійснена можливість повноцінної роботи САПР ADEM в середовищі Pro/INTRALINK.

У результаті застосування кризного паралельного циклу з використанням різних САПР (ADEM, Catia і Pro/Engineer) показало свою життєздатність і дало вираш в часі в порівнянні з традиційним послідовним циклом (рис. 3).

Використання кризного паралельного циклу проектування виробу із застосуванням різних систем надало можливість здійснити проходження декількох етапів одночасно, що дозволило скоротити тимчасові витрати на підготовку виробництва виробу до 33% і при цьому підвищити якість інженерної праці за рахунок одночасної роботи над виробом декількох інженерних груп.

## Висновки

Впровадження в інженерну практику кризного паралельного циклу підготовки виробництва (concurrent engineering) з використанням систем автоматизованого проектування надає розробникам багато вагомих переваг:

1. можливість раннього виявлення проблеми — чим пізніше проблема виявлена, більше сил і часу, а, отже, грошей, йде на її усунення;
2. можливість раннього прийняття рішення—на ранніх стадіях багато більше можливостей вносити зміни до проекту;
3. можливість структуризації роботи — весь процес повинен бути розділений на роботи таким чином, щоб кожна робота могла бути виконана незалежно від інших;
4. можливість тісної командної роботи — дозволить досягти оптимальних результатів з точки зору об'єднаних знань і уявлень;
5. можливість взаєморозуміння розробників — якщо кожен член робочої групи знає, чим зайнятий інший, вся група працює краще, наприклад, конструктор знає, з якими труднощами зіткнеться технолог при зміні деяких конструктивних параметрів.



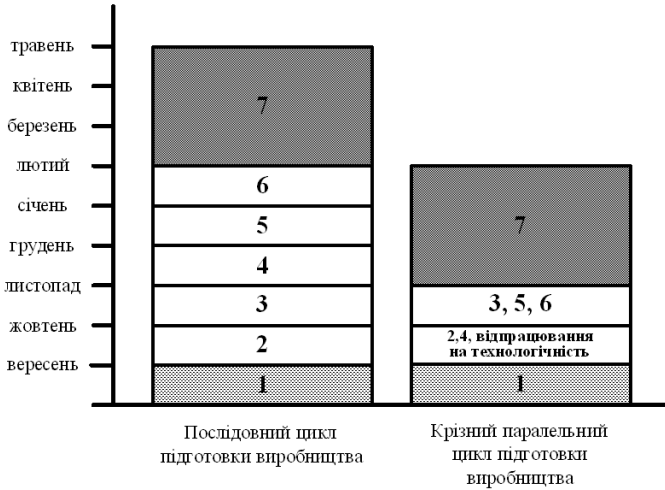


Рис. 3 – Порівняльна діаграма тимчасових показників послідовного і крізового паралельного циклів підготовки виробництва моделей виробу “Кліпер”: 1 – проектування виробу; 2 – моделювання виробу і інженерні розрахунки; 3 – розробка і випуск конструкторської документації; 4 – технологічне планування; 5 – розробка технологічного процесу виготовлення, проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення; 6 – розробка управляючих програм; 7 – виробництво і контроль виробу.

### Література

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Concurrent\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Concurrent_engineering).
2. [www.buran.ru/html/cliper.htm](http://www.buran.ru/html/cliper.htm).

Отримано 06.12.2010 р.