

УДК 004.94

А.В. Цейко

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ CAD/CAM/CAE – СИСТЕМ, ЇХ ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ПРИ ПОСТАНОВЦІ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Метою роботи є аналіз існуючих CAD/CAM/CAE – систем, обґрунтування важливості комп'ютерного моделювання при дослідженні властивостей реальних об'єктів, предметів і явищ, і того, що експеримент, який базується на комп'ютерних моделях, являється ефективною технологією наукових досліджень.

Ключові слова: САПР, CAD/CAM/CAE – системи, комп'ютерне моделювання, програмний комплекс, обчислювальна техніка, метод кінцевих елементів (МКЕ).

Рис. 1. Літ 9.

А.В. Цейко

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ CAD/CAM/CAE - СИСТЕМ, ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью работы является анализ существующих CAD/CAM/CAE- систем, обоснование важности компьютерного моделирования при исследовании свойств реальных объектов, предметов и явлений, и того, что эксперимент, основанный на компьютерных моделях, является эффективной технологией научных исследований.

Ключевые слова: САПР, CAD/CAM/CAE – системы, компьютерное моделирование, программный комплекс, вычислительное оборудование, метод конечных элементов (МКЕ).

A. Tseiko

ANALYSIS OF EXISTING CAD/CAM/CAE - SYSTEMS AND THEIR POTENTIAL IN THE FORMULATION OF THE EXPERIMENT

The aim is to analyze the existing CAD/CAM/CAE – systems, justification of the importance of computer modeling in the study of the properties of real objects and phenomena, and that an experiment, which is based on computer models, is an effective technology of researches.

Keywords: CAD / CAM / CAE - systems, computer modeling, software system, computer engineering, finite element method (FEM).

Економіка будь-якої держави не може спиратися лише на вичерпні матеріальні ресурси, бо тільки реалізуючи інтелектуальний потенціал, напрацювання у високих технологіях, країна може мати перспективи в майбутньому.

Розвиток науки і техніки є основним чинником прогресу і розвитку суспільства, підвищення добробуту, духовного та інтелектуального зростання. Цим обумовлена необхідність пріоритетної державної підтримки розвитку науки, забезпечення матеріальної і моральної стимуляції, престижності й пріоритетності цієї сфери людської діяльності. Через обмеженість інтелектуальних ресурсів в межах окремої країни, велика увага відводиться «імпорту інтелекту». Як наслідок полювання за інтелектом перетворюється на вигідний вид бізнесу.

Обов'язковою складовою успішних реформ у всіх країнах є випереджаючий розвиток інтелектуального потенціалу. Світовий досвід показує, що життєвий рівень усіх верств населення соціально-економічна ситуація в країні визначаються ступенем освіченості суспільства і його відношенням до інтелектуальних цінностей. Так у двадцяти розвинених країнах працює 95% учених світу, прибуток на душу населення тут зростає щорічно на 200 доларів США, а в країнах з низьким науковим потенціалом – лише на 10 доларів.

Інтелектуальний потенціал нації включає: систему освіти та науки, комп'ютерне забезпечення, бази даних і електроніку, системи зв'язку, інтелектуальну власність.

Одним із основних критеріїв розвитку є рівень технологій, що використовується у всіх сферах суспільства. В свою чергу розвиток технології залежить від розвитку виробництва, як безпосередньо так і опосередковано, оскільки технології є основою виробництва.

Сучасні підприємства стикаються з необхідністю створення складного комплексного інженерного виробу, який працює в складних умовах і взаємодіє з іншими складними деталями. Крім цього на більшості підприємств застосовують щільний графік розробки і запуск виробів у виробництво. Подолати ці труднощі інженерам допомагають системи автоматичного проектування (CAD - Computer Aids Design), автоматичного виробництва (CAM - Computer Aids Manufacturing) і автоматичного інженерного аналізу (CAE - Computer Aids Engineering).

САПР системи займають особливе місце серед інших програм, оскільки представляють індустріальні технології, безпосередньо спрямовані в найбільш важливі області матеріального виробництва. В даний час загально визнаним фактом є неможливість виготовлення складної

наукомісткої продукції (кораблів, літаків, танків, різних видів промислового обладнання тощо) без застосування CAD/CAM/CAE - систем. За останні роки САПР - системи пройшли шлях від порівняно простих креслярських додатків до інтегрованих програмних комплексів, які забезпечують єдину підтримку всього циклу розробки, починаючи від ескізного проектування і закінчуючи технологічною підготовкою виробництва, випробуваннями і супроводом. Сучасні CAD/CAM/CAE-системи не тільки дають можливість скоротити термін впровадження нових виробів, а й чинять істотний вплив на технологію виробництва, дозволяючи підвищити якість і надійність продукції (підвищуючи, тим самим, її конкурентоспроможність). Зокрема, шляхом комп'ютерного моделювання складних виробів проектувальник може зафіксувати нестиковку і економити на вартості виготовлення фізичного прототипу. Навіть для такого відносно нескладного виробу, як телефон, вартість прототипу може становити кілька тисяч доларів, створення моделі двигуна обійдеться в півмільйона доларів, а повномасштабний прототип літака буде коштувати вже десятки мільйонів доларів.

Як приклад можна розглянути проект розробки компанією Shorts Brothers фюзеляжу для літака бізнес-класу Learjet 45 за допомогою сучасних CAD/CAM/CAE-систем. Результати виконання проекту просто вражають. Раніше у створюваних Shorts Brothers фюзеляжах літаків зазвичай налічувалося до 9500 структурних деталей. Подібні проекти могли зажадати більш 440000 людино-днів (до 4-х років для завершення проекту). Фюзеляж Learjet 45 виявився не тільки найбільш складним серед існуючих, а й був розроблений в значно менші терміни (на 40%), ніж його попередники. Крім того, приблизно в 10 разів було покращено якість деталей і складання фюзеляжу, а загальне число деталей скорочено на 60% (при зниженні обсягу основних переробок на 90% порівняно з попередніми проектами). У цілому, компанія Shorts змогла зменшити число компонентів з 9500 до 3700 (на 60%). Повний час на проектування і технологічну підготовку виробництва було скорочено до 125000 людино-днів. Загальний час розробки та технологічної підготовки виробництва до 60000 людино-днів, а весь цикл розробки типового фюзеляжу скоротився з 4-х років до 1,5-2 років.

За останні роки обчислювальна техніка та CAD/CAM/CAE технології зробили значний крок вперед, постійно збільшується кількість функціональних можливостей, а отже і галузь застосування - цей швидкий розвиток призвів до впровадження їх практично у всі сфери життя.

CAE – системи застосовуються у таких галузях: автомобільна промисловість, аерокосмічна промисловість, енергетика, машинобудування і верстатобудування, суднобудування, оборонна промисловість, напівпровідникова промисловість, цивільне та промислове будівництво, хімічна промисловість, виробництво товарів масового споживання, медична промисловість, телекомунікаційна галузь.

Функції CAE – систем досить різноманітні, основні з них: розрахунок сталей і перехідних процесів, моделювання полів фізичних величин, аналіз міцності, розрахунок власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, рішення завдань теплопередачі, дослідження акустичних явищ, аналіз нелінійних статичних процесів, аналіз нелінійних динамічних процесів, розрахунок критичних частот і вібрацій роторних машин, аналіз частотних характеристик, спектральний аналіз.

Такі CAD/CAM – системи як AutoCAD, DUCT, Pro/Engineer, Unigraphics, SolidsWorks, SprutCAM, ADEM, NX CAM широко використовуються для комп'ютерного моделювання виробів складної форми, з подальшим випуском креслень і генерацією керуючих програм для верстатів з ЧПУ. Однак ці спеціалізовані пакети чисельного моделювання не володіють розвиненими засобами інженерного аналізу. CAE-системи інженерного аналізу (ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN та інші) дозволяють не тільки виконати якісне моделювання систем різної фізичної природи, але і досліджувати взаємодію цих систем із зовнішніми видами впливу у вигляді розподілу напруг, температур, швидкостей, електромагнітних полів і т.д. Використання таких програм допомагає проектним організаціям скоротити цикл розробки, знизити вартість виробів і підвищити якість продукції. У зв'язку з цим однією з нових задач, що постає перед вищою школою є підготовка фахівців, які володіють сучасними програмними комплексами інженерного аналізу.

Метод кінцевих елементів (МКЕ) є основним потужним інструментом для аналізу на міцність складних лінійних і нелінійних інженерних задач. Метод широко застосовується при дослідженні складних нелінійних динамічних процесів. В даний час розроблено велику кількість CAE - систем в яких застосовуються методи кінцевих елементів: NASTRAN, ADAMS, Dytran, MARC, ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS, COSMOS. Такі програмні комплекси включають в себе ряд

програм, орієнтованих на різні завдання, і відрізняються функціональністю і спеціалізацією. Різні модулі дозволяють виконувати аналіз міцності, теплопровідності, динаміки рідин і газів, акустичних хвиль і електромагнітних полів. Між системами CAE і CAD (Computer Aided Design) існує інтеграція та передбачено експорт та імпорт геометричних моделей.

У порівнянні з історією розвитку обчислювальної техніки історія розвитку автоматизованих систем дуже коротка, вона не налічує і п'ятдесяти років. Однак без цих систем комп'ютери ніколи б не стали тим, чим вони є зараз - знаряддям праці мільйонів фахівців, зайнятих проектуванням в найрізноманітніших сферах.

Ідея автоматизувати проектування зародилася в кінці 50-х років минулого століття, майже одночасно з появою комерційних комп'ютерів, а на початку 60-х років створено системи підготовки виробництва.

Історію САПР в машинобудуванні зазвичай поділяють на етапи:

На першому етапі (до кінця 70-х років) було отримано ряд науково-практичних результатів, які довели принципову можливість автоматизованого проектування складних промислових виробів. Так, теорія В-сплайнів була представлена І. Шоенбергом (IJSchoenberg) в 1946 р., пізніше призвела до широкого використання в геометричному моделюванні нерівномірних раціональних В-сплайнів (NURBS), запропонованих К. Веспріллом (KJVersprille, 1975 р.). Моделюванню кривих і поверхонь будь-якої форми були присвячені роботи П. Безье (PEBezier), виконані на рубежі 60-70-х років минулого століття.

Можливості систем на першому етапі значною мірою визначалися та обмежувалися наявними у той час не розвиненими графічними апаратними засобами. Переважно використовувалися графічні термінали, що підключаються до мейнфреймів, в якості яких застосовувалися комп'ютери компаній IBM і CDC, або до міні-ЕОМ типу PDP/11. За даними Dataquest на початку 80-х рр. вартість однієї ліцензії САД-системи доходила до 90000 у.о.

На другому етапі (80-ті роки) з'явилися і почали використовуватися графічні робочі станції компаній Intergraph, Sun Microsystems з архітектурою SPARC або автоматизовані робочі місця на комп'ютерах VAX від DEC під управлінням ОС Unix. До кінця 80-х років вартість САД - ліцензії знизилася, приблизно, до 20000 у.о. Тим самим були створені передумови для створення САД/САМ/САЕ - систем більш широкого застосування.

На третьому етапі (починаючи з 90-х років) бурхливий розвиток мікропроцесорів призвів до можливості використання робочих станцій на персональних ЕОМ, що помітно знизило вартість впровадження САПР на підприємствах. На цьому етапі триває вдосконалювання систем і розширення їх функціональності. Починаючи з 1997 р., робочі станції на платформі Wintel не поступаються Unix-станціям за обсягами продажів. Вартість ліцензії знизилася до кількох тисяч доларів.

Четвертий етап (починаючи з кінця 90-х років) характеризується інтеграцією САД/САМ/САЕ-систем з системами управління проектними даними PDM і з іншими засобами інформаційної підтримки виробів.

Прийнято ділити САД/САМ - системи за їх функціональними характеристиками на три рівні (верхній, середній і нижній). У 80-ті роки і на початку 90-х такий розподіл ґрунтувався на значному розходженні характеристик використовуваного для САПР обчислювального обладнання. Апаратною платформою САД/САМ - систем верхнього рівня були дорогі високопродуктивні робочі станції з ОС Unix. Така техніка дозволяла виконувати складні операції як твердотілого, так і поверхневого геометричного моделювання. САД-системи нижнього рівня призначалися тільки для автоматизації креслярських робіт, що виконувалися на низькопродуктивних робочих станціях і персональних комп'ютерах.

У міру поліпшення характеристик персональних комп'ютерів вдавалося створювати порівняно недорогі системи з можливостями параметричного та асоціативного 3D - моделювання. Такі системи стали відносити до САД/САМ - систем середнього рівня. На сьогоднішній день розподіл САД/САМ-систем на САПР верхнього, середнього і нижнього рівнів ще зберігається, однак межі між ними є нечіткими.

Проектування механічних виробів полягає насамперед у конструюванні, тобто у визначенні геометричних форм тіл і їх взаємного розташування. Тому історія автоматизації проектування в машинобудуванні пов'язана з історією комп'ютерної графіки і практично почалася зі створення першої графічної станції. Це була станція Sketchpad з використанням дисплея і світлового пера, представлена в 1963 р. І. Сазерлендом. Згодом він працював у ARPA, очоливши в цьому агентстві

департамент аналізу та обробки інформації, а пізніше став професором Гарвардського університету. Растрові дисплеї почали використовувати в 70-х роках.

До 1982 твердотільне моделювання починають застосовувати у своїх продуктах компанії Computervision, IBM, Prime і ін, однак методи отримання моделей тіл складної форми ще не розвинені, відсутнє поверхнєве моделювання. У наступному році розроблена техніка створення 3D моделей з показом або видаленням прихованих ліній. У 1986 р. компанія Autodesk випускає свій перший CAD-продукт Autocad, версію на мові C з підтримкою формату IGES. У 1988 р. створюється апаратура для прототипування виробів за допомогою лазерної стереолітографії за даними, отриманим в MCAD. Також в 1988 р. компанія PTC вперше реалізує параметризацію моделей.

Розвиток комп'ютерної графіки визначався не тільки можливостями апаратних засобів, але і характеристиками програмного забезпечення. Воно повинно було бути інваріантним по відношенню до використовуваних апаратних засобів введення і виведення графічної інформації. Тому значна увага з 70-х років приділяється питанням стандартизації графічних програм. Стандарт на базисну графічну систему включає в себе функціональний опис і специфікації графічних функцій для різних мов програмування.

У 1977 р. ACM публікує документ Core, що описує вимоги до апаратно-незалежних програмних засобів. А з початку 1982 р. з'являється система Graphical Kernel System (GKS), що задає примітиви, сегменти і перетворення графічних даних і стала стандартом в 1985 р. У 1987 р. розроблений варіант GKS-3D з орієнтацією на 3D графіку. У 1986 р. з'являється ряд нових стандартів. Серед них CGI (Computer Graphics Interface) і PHIGS P (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System) - стандарт ANSI, що став стандартом ISO в 1989 р. У 1993 році компанією Silicon Graphics запропонований стандарт OpenGL (SGI Graphical Language), який широко використовується в даний час.

У цих системах використовуються графічні формати для обміну даними, що представляють собою опис зображення у функціях віртуального графічного пристрою. Графічний формат (метафайл) забезпечує можливість запам'ятовувати графічну інформацію, передавати її між різними системами і інтерпретувати для виведення на різні пристрої. Такими форматами стали CGM - Computer Graphics Metafile, PostScript - Adobe Systems 'Language, GEM - GEM Draw File Format та ін.

Роботи по стандартизації були спрямовані на розширення функціональності графічних мов і систем, включення до них засобів опису не тільки даних креслень і 3D - моделей, а й інших властивостей і характеристик виробів. В області автоматизації проектування уніфікація основних операцій геометричного моделювання призвела до створення інваріантних геометричних ядер, призначених для застосування в різних САПР. Поширення набули два геометричних ядра: Parasolid (продукт фірми Unigraphics Solutions) і ACIS (компанія Spatial Technology). Ядро Parasolid розроблено в 1988 р. і в наступному році стає ядром твердотільного моделювання для CAD/CAM Unigraphics, а з 1996 р. - промисловим стандартом .

Паралельно проводилися роботи по стандартизації описів геометричних моделей для обміну даними між різними системами на різних етапах життєвого циклу промислової продукції. Спочатку з'явився стандарт IGES (Initial Graphics Exchange Specification). Фірма Autodesk у своїх продуктах стала використовувати формат DXF (Autocad Data eXchange Format). Потім були розроблені мову Express і прикладні протоколи AP203 і AP214 в групі стандартів ISO 10303 STEP (Standard for Exchange Product Model Data).

Прикладами CAD/CAM-систем верхнього рівня є CATIA (компанія Dassault Systemes), Unigraphics (Unigraphics Solution), Pro/Engineer (PTC). Продукти цих фірм доступні з 1981, 1983 і 1987 р. відповідно. До числа САПР верхнього рівня в 90-ті роки входили також EUCLID3 (Matra Datavision), I-DEAS (UGS), CADD55 (Computervision), але їх розвиток було припинено у зв'язку зі злиттям компаній. Так, в 2001 р. відбувається злиття компанії Unigraphics Solution з SDRC, що означало поступове припинення розвитку I-DEAS і використання вдалих рішень двох систем I-DEAS і Unigraphics (UG) в нових версіях системи Unigraphics NX. Ще раніше система CADD55 була придбана компанією PTC (Parametric Technology Corp.). Ця компанія, штаб-квартира якої розташована в США, заснована в 1985 р. колишнім професором Ленінградського університету Семеном Гейзбергом.

Найбільш відомими CAD/CAM-системами середнього рівня на основі ядра ACIS є AutoCAD 2000, Mechanical Desktop і Autodesk Inventor (Autodesk Inc.); Cimatron (Cimatron Ltd.); ADEM (Omega Technology); Mastercam (CNC Software, Inc.); Powermill (DELCAM) та ін. До числа

CAD/CAM-систем середнього рівня на основі ядра Parasolid належать, зокрема, Solid Edge і Unigraphics Modeling (Unigraphics Solutions); SolidWorks (SolidWorks Corp.); MicroStation Modeler (Bentley Systems Inc.); Pro/Desktop (Parametric Technology Corp.); Anvil Express (MCS Inc.) та ін.

У 1992 році корпорація Intergraph, один з провідних на той момент виробників CAD-систем для машинобудування, прийняла рішення про розробку нового програмного продукту, цілком побудованого на базі платформи Wintel. У результаті в кінці 1995 року з'явилася система геометричного моделювання Solid Edge. У 1998 році до Unigraphics перейшли всі відділення Intergraph, що займається САПР. В цей же час Solid Edge змінює геометричне ядро ACIS на ядро Parasolid. У 1999 року з'являється 6-а версія Solid Edge російською мовою.

У 1993 р. в США створюється компанія Solidworks Corporation і вже через два роки вона представила свій перший пакет твердотільного параметричного моделювання Solidworks на базі геометричного ядра Parasolid. Система Solidworks увійшла до числа провідних систем середнього рівня.

Ряд CAD/CAM систем середнього та нижнього рівнів розроблений в СРСР і Росії. Найбільшого поширення серед них отримали Компас (компанія Аскон) і T-Flex CAD і деякі інші системи. Компанія Аскон заснована в 1989 р. До неї увійшов колектив розробників, який до цього в Коломенському конструкторському бюро машинобудування проектував систему Каскад. Перша версія Компас для 2D проектування на персональних комп'ютерах з'явилася в тому ж 1989 р. У 2000 р. САПР Компас поширена на 3D проектування. У 2003 р. випущена 6-я версія Компас та PDM система Лоцман PLM.

Автоматизація технологічної підготовки виробництва в системах САМ не була настільки жорстко прив'язана до апаратних засобів машинної графіки, як автоматизація конструювання в системах САД. Серед перших робіт з автоматизації проектування технологічних процесів потрібно відзначити створення мови АРТ (Automatic Programming Tools) в 1961 р. в США. Ця мова став родоначальником багатьох інших мов програмування для обладнання з числовим програмним управлінням.

У СРСР Г.К. Горанский створює програми для розрахунків режимів різання в першій половині 60-х років. В.Д. Цветков, Н.М. Капустін, С.П. Мітрофанов та ін розробляють методи синтезу технологічних процесів в 70-і роки. У системах інженерних розрахунків та аналізу САЕ центральне місце займають програми моделювання полів фізичних величин, насамперед це програми аналізу міцності за методом кінцевих елементів (МКЕ). Метод кінцевих елементів розроблено до 1950р. фахівцями, що працюють в областях будівельної механіки і теорії пружності. У 1963 р. був запропонований порівняно простий спосіб застосування МКЕ для аналізу міцності шляхом мінімізації потенційної енергії. Тоді ж з'явилися програмно-методичні комплекси для аналізу і моделювання на основі МКЕ.

У 1965 р. NASA для підтримки проектів, пов'язаних з космічними дослідженнями, ставить завдання розробити програмний пакет, що використовує метод кінцевих елементів. До 1970 р. такий пакет під назвою NASTRAN (Nasa STRuctural ANalysis) був створений і почав експлуатуватися. Вартість розробки, що тривала 5 років, склала 3-4 млн доларів. Однією з компаній, що брали участь у розробці, була MSC (MacNeal-Schwendler Corporation). З 1973 р. MSC (з 1999 р. компанія називається MSC Software Corporation) самостійно продовжує розвивати пакет MSC. NASTRAN, який став світовим лідером у своєму класі продуктів.

У 1976 р. розроблено комплекс DYNA3D (пізніше названий LS-DYNA), призначений для аналізу ударно-контактних взаємодій структур, що деформуються.

До числа лідерів програм САЕ слід віднести також комплекс Ansys. Цікаво відзначити, що в 2000 р. за допомогою засобів багатоаспектного моделювання, реалізованих у Ansys, продемонстрована можливість спільного моделювання електромагнітних, механічних і теплових процесів при проектуванні мікроелектромеханічних пристроїв.

Світовим лідером серед програм аналізу на макрорівні вважається комплекс Adams, розроблений підприємством Mechanical Dynamics Inc. (MDI). Компанія створена в 1977 р. Основне призначення Adams (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) - кінематичний і динамічний аналіз механічних систем з автоматичним формуванням і вирішенням рівнянь руху. Для проектування систем, функціонування яких засноване на взаємовпливі процесів різної фізичної природи, важливе значення має можливість багатоаспектного моделювання.

Теоретичні основи багатоаспектного моделювання на базі аналогій фізичних величин розглядалися Г. Ольсоном (1947 р.), В.П. Сігорским (1975 р.) і були реалізовані в програмах моделювання ПА6 - ПА9, розроблених в МВТУ ім. Н.Е. Баумана в 70-80-ті роки. Основні

положення багатоаспектного моделювання в 1999 р. були закріплені в стандарті IEEE, присвяченому мови VHDL-AMS.

Не можна залишити без уваги програмний комплекс Abaqus. Сімейство продуктів Abaqus розробляється і підтримується компанією Abaqus, Inc. (USA) з 1978 року. З 2005 Abaqus, Inc. входить в компанію Dassault Systemes (розробник CAD системи CATIA і систем управління життєвим циклом виробів PLM SmartTeam і Enovia). Як стратегія подальшого розвитку компанією Abaqus було створено нове середовище моделювання SIMULIA, яке узагальнює не тільки всі рішення компаній Dassault Systemes і Abaqus, Inc. в галузі розрахунків на міцність, але і об'єднує кращі рішення третіх фірм, що дозволяє значно покращувати споживчі якості створюваного виробу, зменшувати число необхідних експериментів і сприяти впровадженню інновацій.

Для прикладу, нижче наведено основні можливості програмного комплексу Abaqus. Основний вид середовища моделювання наведено на рисунку 1.

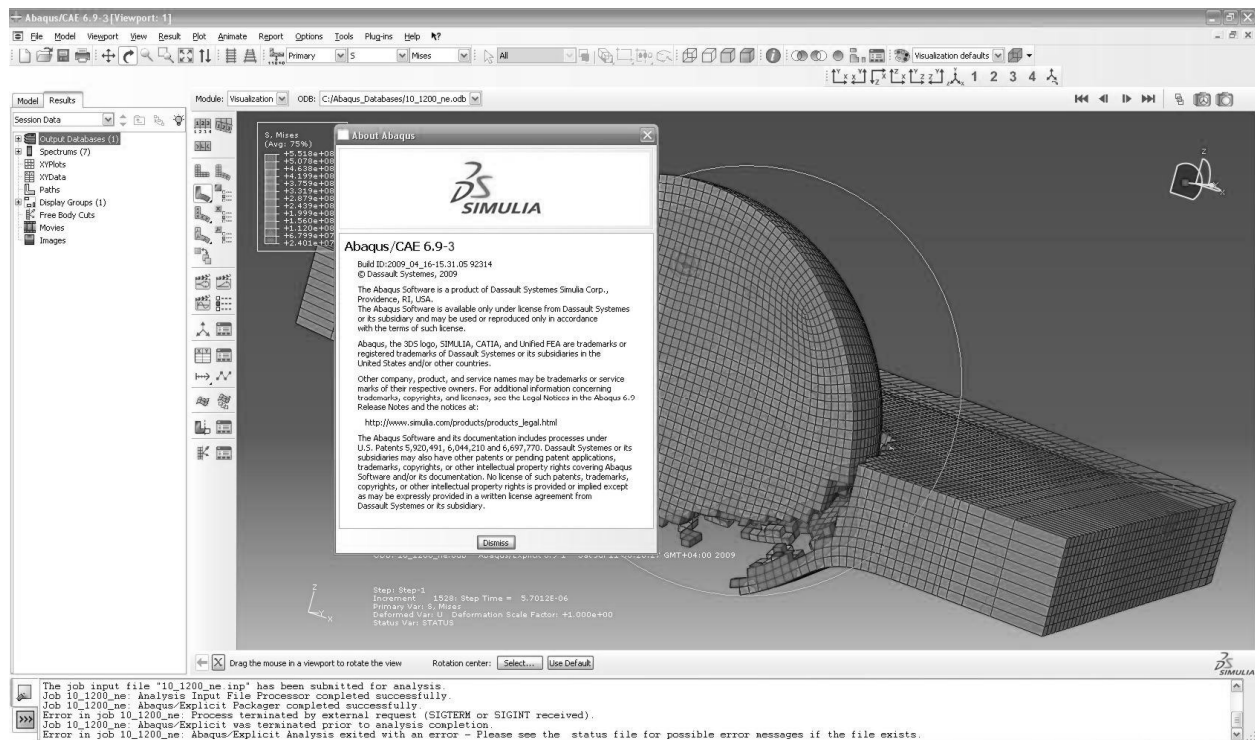


Рис. 1. Вид середовища моделювання ABAQUS

ABAQUS включає в себе такі основні модулі: ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit, ABAQUS/CAE, FE-Safe, ABAQUS for CATIA V5.

Модуль ABAQUS/Standard призначений для вирішення завдань кінцево-елементного аналізу, таких як, статика, динаміка, теплопередача в сукупності з контактними взаємодіями і нелінійними властивостями матеріалів, і заснований на неявній схемі інтегрування.

ABAQUS/Standard має додаткові модулі та інтерфейси: модуль дослідження чутливості конструкції до геометричних змін

Модуль ABAQUS/Standard дозволяє проводити наступні типи аналізу: статичний аналіз напружень і переміщень, перехідний динамічний аналіз напружень і переміщень, перехідний або усталений аналіз теплопередачі, перехідний або усталений аналіз дифузії, завдання тепло – електрики, аналіз потоків у пористому середовищі, аналіз напруг, завдання п'єзоелектрики, контактний аналіз, завдання акустики і вібрації.

Модуль ABAQUS/Explicit заснований на явній схемі інтегрування і призначений для розрахунку нестационарної динаміки, квазостатики, швидкоплинних процесів, таких як, завдання падіння, зіткнення, руйнування та моделювання технологічних процесів.

Модуль ABAQUS/Explicit дозволяє проводити наступні види аналізу: короткочасних динамічних процесів і квазостатики, повністю зв'язаний аналіз термоміцності, моделювання вибухового навантаження.

ABAQUS/CAE – модуль пре- і постпроцесора програмного комплексу ABAQUS, призначений для моделювання та візуалізації результатів розрахунку з модулів аналізу ABAQUS/Standard і ABAQUS/Explicit.

Висновки: Аналіз існуючих CAD/CAM/CAE – систем показав, що сучасні САПР системи є ефективними при дослідженні властивостей реальних об'єктів, предметів і явищ. Експеримент, який базується на комп'ютерних моделях, являється ефективною технологією наукових досліджень. Також показано актуальність САПР як позитивного явища сучасного світу, та вплив на прогрес людства. CAD/CAM/CAE – системи пройшли шлях від порівняно простих креслярських додатків до інтегрованих програмних комплексів, які забезпечують єдину підтримку всього циклу розробки, починаючи від ескізного проектування і закінчуючи технологічною підготовкою виробництва, випробуваннями і супроводом. Саме тому вони справляють істотний вплив на технологію виробництва, дозволяючи підвищити якість і надійність продукції, дають можливість скоротити термін впровадження нових виробів.

1. Конспект лекцій з курсу «Планування і обробка результатів експерименту» (для магістрів денної форми навчання спец. 8.090605 – «Світлотехніка і джерела світла»). Авт.: Назаренко Л.А. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 163 с.
2. *Иванов С.Е.* «Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства /Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц» Под ред. Куликова Д. Д. Учебно-методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 48 с.
3. *Ли К.* Основы САПР (CAD/CMA/CAE). – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
4. Козырев А. Ю. История развития систем проектирования / А. Ю. Козырев, А. Я. Клочков // Технические науки: традиции и инновации: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). — Челябинск: Два комсомольца, 2012.— С. 64-66.
5. Математична освіта інженерів у комп'ютерному моделюванні. Губаль Г.М., Міжвузівський збірник "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво", Луцьк, 2012. Випуск №8.
6. *Савула Я.Г.* Метод скінчених елементів. – Львів: Н.У. ім. Франка. 1993 р.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
8. *Колодницький М.М., Чайковський С.С.* Огляд інтегрованих систем автоматизованого проектування для машинобудування. Частина 1. // Вісник ЖІТІ, 1998.– № 7. – С. 219-229.
9. *Колодницький М.М., Чайковський С.С.* Огляд інтегрованих систем автоматизованого проектування для машинобудування. Частина 2. // Вісник ЖІТІ, 1998. – № 8. – С. 181-190.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2013.