

Компьютерное моделирование и
проектирование машин и
агрегатов трубного
производства

Доц. Ефремов Дмитрий Борисович

Объем занятий

- Лекции – 18 часов
- Практические занятия - 16 часов
- Самостоятельная работа - 24 часа
- Всего - 58 часов
- Зачет

Распределение рейтинг-баллов по учебным модулям и видам занятий

Неделя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Модуль	1								ПРК 18/30	2								ПРК 18/30 РРК 15/40	
Блок	1				2					3				4					
Лекции, баллы min/max							КР 6/10										КР 6/10		
<u>Практ. занятия,</u> баллы min/max		КР 3/5		КР 3/5		КР 3/5		КР 3/5			КР 3/5		КР 3/5		КР 3/5		КР 3/5		

Итоговая оценка определяется как сумма текущего и рубежного (итогового) рейтинг-контроля и соответствует баллам:
Зачет:

Оценка	Зачтено	Не зачтено
Баллы	51-100	0-50

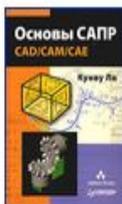
1. Литература, пособия к курсу
2. О моделях и моделировании металлургических машин
3. Задачи компьютерного моделирования ММ
4. Обзор CAD-, CAE-, CAM-систем
5. Интеграция CAD/CAE/CAM- систем

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Литература:

- 1.а. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.-336 с.
- 2.а. Введение в математическое моделирование: Учеб. Пособие / Под ред. П.В.Трусова.- М.: Университетская книга, Логос, 2007. – 440 с.
- 3.а. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. М.: ДМК, 2004.-397 с.
- 4.а. Алямовский А.А. CosmosWorks Инженерный анализ методом конечных элементов. М.: ДМК, 2004.-432 с
- **б) дополнительная литература**
- 1.б. Дударева Н.Ю., Загайко С.А. SolidWorks 2009 на примерах. БХВ-Петербург, 2009. – 544 с.
- 2.б. Кобелев О.А., Цепин М.А., Скрипаленко М.М. Ковка широких толстых плит.- М.: Теплотехник, 2009.-192 с.

Комментарии к учебникам для освоения методов КМиПМАТП



Основы САПР (CAD/CAM/CAE)

Кунву Ли, 2004

★★★★★

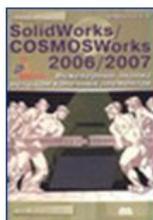
В этой книге изложены основные принципы работы автоматизированных систем для проектирования изделий и ПОДГОТОВКИ их производства (без углубления в детали конкретных систем). Рассмотрены компоненты САПР, основные концепции графического программирования, системы автоматизированной разработки чертежей... [Далее...](#)



SolidWorks 2007 (+Видеокурс на CD)

Н. Дударева, С. Загайко, 2007

Книга является универсальным справочным пособием по проектированию в программе трехмерного моделирования SolidWorks 2007. Подробно рассматриваются все основные принципы работы и функциональные возможности SolidWorks 2007 и приложений.

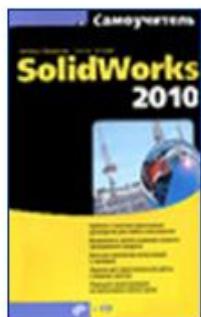


SolidWorks/COSMOSWorks 2006/2007

А. Алямовский, 2007

★★★★★

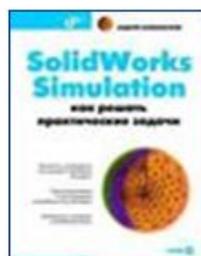
В данной книге рассматривается конечно-элементный пакет COSMOSWorks, интегрированный в CAD-систему SolidWorks. Представлено описание системы функциональные возможности продукта рассмотрены с позиции инженерного расчета на прочность. Выделен круг задач, которые могут быть объектом расчета...



Самоучитель SolidWorks 2010 (+ CD-ROM)

Н. Дударева, С. Загайко, 2011

Книга поможет начинающему пользователю в короткие сроки освоить работу в программе трехмерного твердотельного моделирования SolidWorks 2010 и получать готовые чертежи проектируемых деталей и изделий гораздо быстрее, чем в программах AutoCAD и Компас... [Далее...](#)



SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи (+ DVD-ROM)

А. Алямовский, 2011

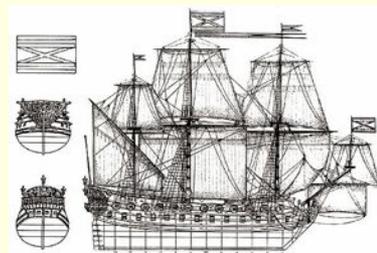
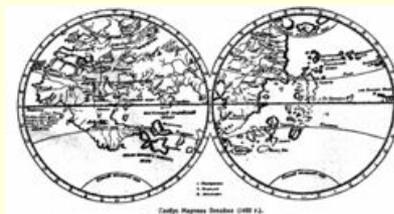
Книга посвящена использованию САПР SolidWorks совместно с интегрированными расчетными модулями семейства Simulation: расчетам прочности и устойчивости конструкций в SolidWorks Simulation, решению задач гидрогазодинамики и теплопередачи в SolidWorks Flow Simulation... [Далее...](#)

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Для подготовки бакалавров по направлению 151000.62 «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И
ОБОРУДОВАНИЕ». Профиль «Машины и агрегаты трубного производства»

О моделях и моделировании

- **Модель** – это объект, который обладает интересующими нас свойствами другого объекта (*оригинала*) и используется вместо него для исследования оригинала, для его оптимизации.
- **Оригиналы и модели**



Моделируют:

■ **Модели объектов:**

- уменьшенные копии машин, кораблей, самолетов,
- модели ядра атома, кристаллических решеток сталей,
- 2d- и 3d-чертежи установок (оригиналы которых могут пока отсутствовать!)
- ...

■ **Модели процессов:**

- Процессы плавки металла
- Процессы разливки
- Процессы нагрева или охлаждения
- Процессы пластической или упругой деформации тел
- Процессы сварки, контроля структуры металла
- ...

■ **Модели явлений:**

- Излучения или поглощения лучистой энергии на поверхности тела
- Кристаллизации из расплава и рекристаллизации
- Упрочнения металла при деформации поликристалла.

Что моделируют для проектирования металлургических машин?

Моделирование – это разработка и использование моделей для изучения и создания оригиналов.

Когда используют моделирование:

оригинал не существует

- Установка для реализации нового процесса выплавки металла или процесса ОМД
- Новое изделие для поставки на рынок

исследование оригинала опасно для жизни или дорого:

- управление электропечью в непосредственной близости от ней,
- испытание нового режима прокатки на стане 5000
- испытание нового процесса (и комплекта инструмента) штамповки ж.д. колес

оригинал сложно исследовать непосредственно:

- Положение границы между жидкой и твердой фазами при разливке на МНЛЗ (определение «металлургической длины»)
- Процессы в дуговой электропечи или в кристаллизаторе
- Процессы упрочнения и разупрочнения при горячей или холодной прокатке, при термообработке
- Процессы формирования структуры при сварке в шве и в околошовной зоне (ЗТВ)

интересуют только некоторые свойства оригинала

- Адгезия покрытия к поверхности трубы
- Пористость металла шва
- Уровень и зона максимальных эквивалентных напряжений в теле опорного валка стана 5000
- Величина упругого смещения контактной поверхности рабочего валка при его работе

Цели моделирования

исследование оригинала

- изучение сущности объекта или явления, зависимости его поведения от многих условий
- «Наука есть удовлетворение собственного любопытства за казенный счет» (Л.А. Арцимович)

анализ («что будет, если ...»)

- научиться прогнозировать последствия различных воздействий на оригинал

синтез («как сделать, чтобы ...»)

- научиться управлять оригиналом, оказывая на него воздействия

оптимизация («как сделать лучше»)

- выбор наилучшего решения в заданных условиях, поиск оптимальной конструкции детали машины, узла, агрегата.

Виды моделей

- **материальные (физические, предметные) модели:**
- **информационные модели** представляют собой информацию о свойствах и состоянии объекта, процесса, явления, и его взаимосвязи с внешним миром:
 - **вербальные** – словесные или мысленные
 - **знаковые** – выраженные с помощью формального языка
 - **графические** (рисунки, схемы, карты, ...)
 - **табличные**
 - **математические** (формулы)
 - **логические** (различные варианты выбора действий на основе анализа условий)
 - **специальные** (ноты, химические формулы)
- **учебные** (в т.ч. тренажеры)
- **опытные** – при создании новых технических средств
- **научно-технические**

Классификация моделей

1. По фактору времени

- **статические** – описывают оригинал в заданный момент времени
 - силы, действующие на тело в состоянии покоя
 - результаты осмотра редуктора
 - фотография
- **динамические**
 - модель движения тела
 - модель вибрации детали, узла, машины (вибродиагностика)
 - явления природы (молния, землетрясение, цунами)
 - видеозапись процесса

По характеру связей

■ **детерминированные**

- связи между входными и выходными величинами жестко заданы
- при одинаковых входных данных каждый раз получаются одинаковые результаты

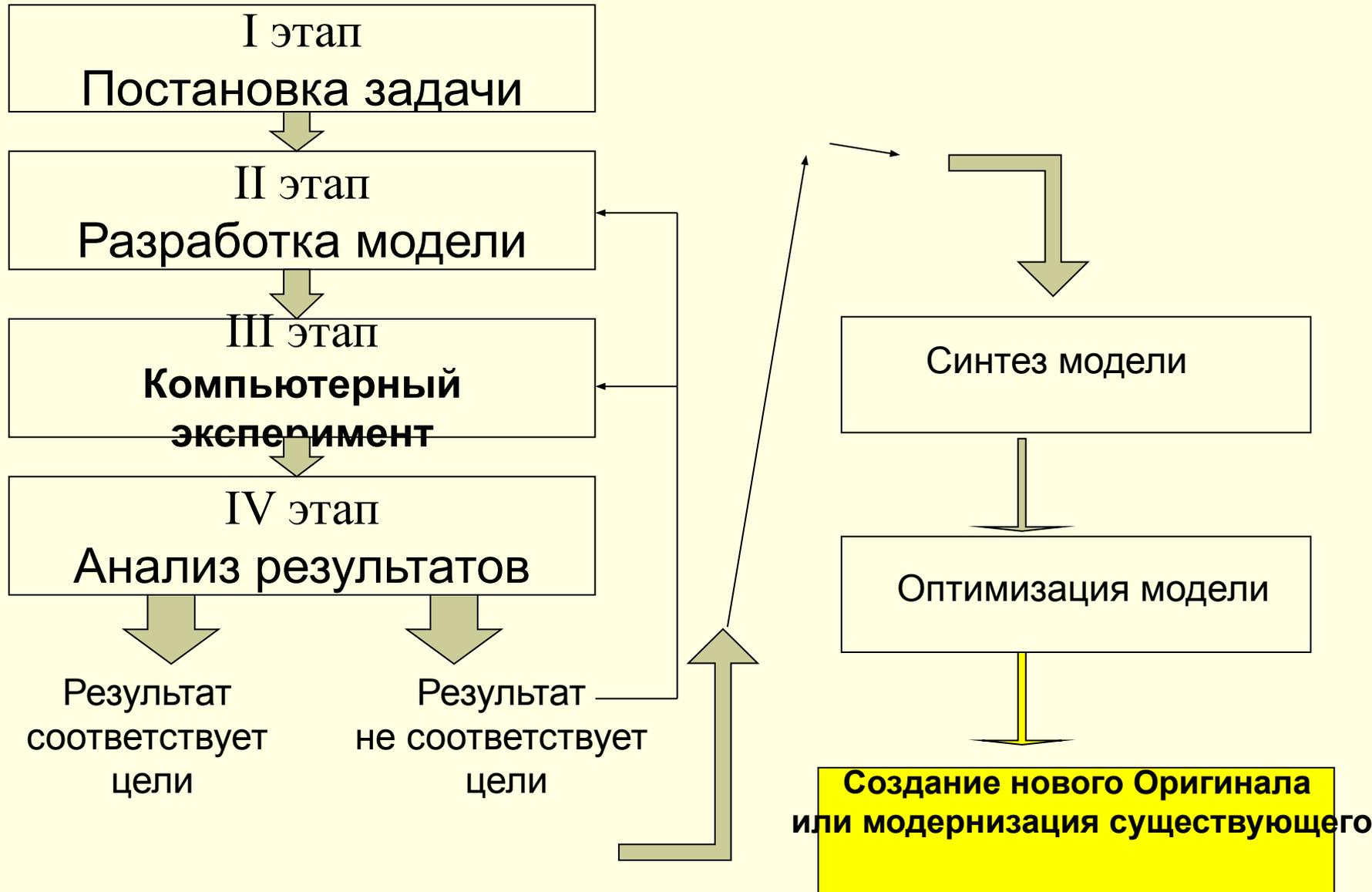
■ **вероятностные (стохастические)**

- учитывают случайность событий в реальном мире
- при одинаковых входных данных каждый раз получаются немного разные результаты

По структуре:

- **табличные модели (пары соответствия, реологические свойства стали)**
- **иерархические (многоуровневые) модели**
- **сетевые модели (графы)**

Основные этапы моделирования



Задачи изучения дисциплины

- **Студент, изучивший дисциплину должен знать:**
- основы построения трехмерных моделей твердотельных объектов;
- основные принципы решения задач инженерного анализа процессов пластической деформации металла, жесткости и прочности машин;
- современные компьютерные системы автоматизированного проектирования (CAD) и системы инженерного анализа (CAE).
- **Студент, изучивший дисциплину должен уметь:**
- строить трехмерных твердотельные модели в современных CAD-системах;
- производить инженерный анализ прочности машин в современных CAE-системах;
- творчески применять полученные знания при решении задач инженерного анализа металлургических машин.

Введение в основы КМ и П

- Научно технический прогресс и потребности общества в новых разработках и технологиях обусловили необходимость выполнения проектных работ большой сложности в максимально короткие сроки.
- Возможность сокращения времени разработки и повышения качества проектирования появилась благодаря созданию **CAD/CAM/CAE** систем.

Три класса программ

- **CAD – Computer-Aided Design.**
Общий термин **CAD** используется для обозначения семейства программ, которые предназначены для создания 2-х и 3-х мерных геометрических моделей изделий, а также генерации стандартных чертежей их сопровождения.
- **CAE – Computer-Aided Engineering**
CAE система автоматизированного анализа проекта методом конечных элементов **МКЭ (FEA, Finite Element Analysis)**. Используется для анализа напряжений, деформаций, тепловых полей и др. с целью оптимизации параметров конструкций.
- **CAM – Computer-Aided Manufacturing.**
Аббревиатура **CAM** используется для обозначения систем автоматизированной подготовки управляющих программ для машин с ЧПУ.

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Основные задачи решаемые САД-системами

- 1 Создание 2-х (2D) и 3-х (3D) - мерных геометрических моделей объектов проектирования;
- 2 Создание рабочих чертежей в соответствии с требованиями стандартов на основе 3D моделей;
- 3 Виртуальная сборка из 3D моделей деталей отдельных узлов и машин в целом;
- 4 Кинематический анализ работы механизмов;
- 5 Экспорт геометрических моделей;
- 6 Импорт геометрических моделей.

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Основные задачи решаемые CAE-системами

- 1 Создание 2-х (2D) и 3-х (3D) - мерных геометрических моделей объектов анализа
- 2 Моделирование и анализ напряжений и деформаций деталей и узлов на основе 2D и 3D моделей объектов
- 3 Моделирование и анализ кинематики и динамики механизмов.
- 4 Моделирование и анализ тепловых полей объектов
- 5 Моделирование и анализ газодинамических процессов
- 6 Моделирование и анализ электромагнитных полей и др.

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Основные задачи решаемые САМ-системами

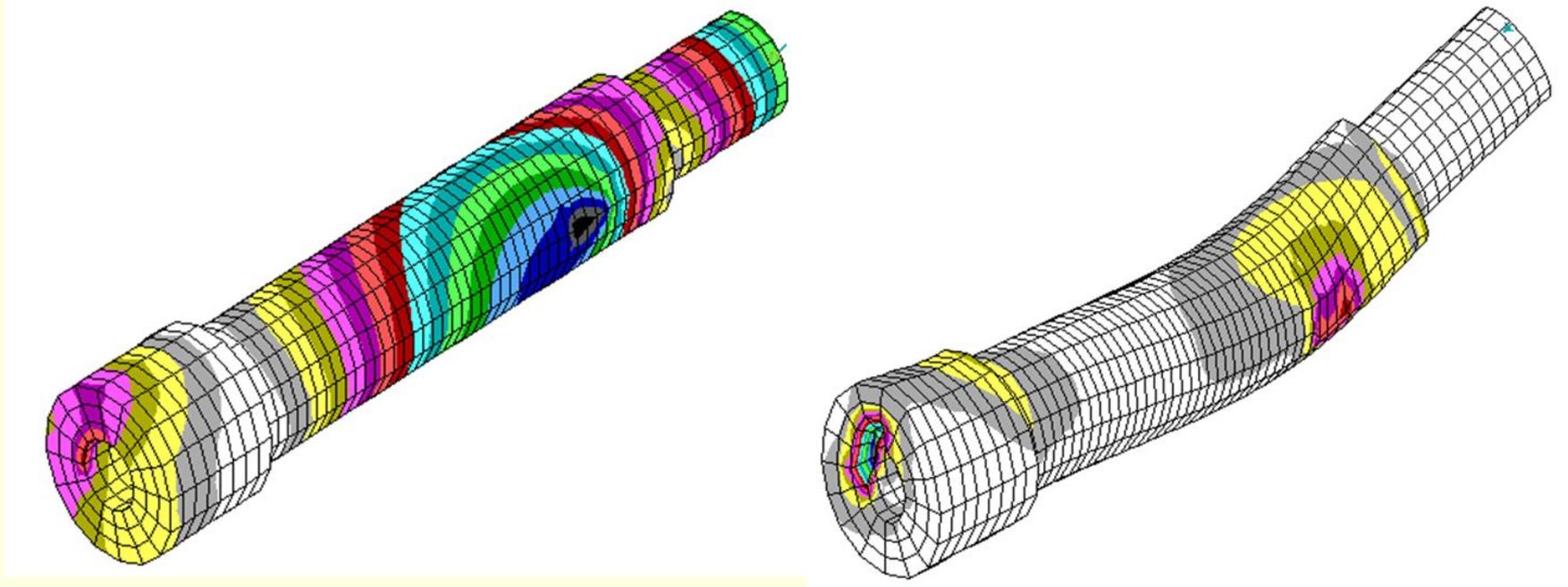
- 1 Создание 2-х (2D) и 3-х (3D) - мерных геометрических моделей изготавливаемых деталей и элементов технологической оснастки.
- 2 Проектирование технологических операций с определением состава переходов, применяемых инструментов и режимов резания.
- 3 Моделирование и анализ траектории перемещения инструментов на отдельных технологических переходах.
- 4 Анимационное моделирование технологических операций в целом с определением оперативного времени операции.
- 5 Формирование управляющих программ для станков с ЧПУ

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Основные задачи решаемые САМ-системами

- 1 Создание 2-х (2D) и 3-х (3D) - мерных геометрических моделей изготавливаемых деталей и элементов технологической оснастки.
- 2 Проектирование технологических операций с определением состава переходов, применяемых инструментов и режимов резания
- 3 Моделирование и анализ траектории перемещения инструментов на отдельных технологических переходах
- 4 Анимационное моделирование технологических операций в целом с определением оперативного времени операции
- 5 Формирование управляющих программ для станков с ЧПУ

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов
трубного производства



Моделирование деформаций и напряжений
вала в среде САЕ системы

Обзор САД/САЕ систем

Условная классификация САПР по уровню цен и возможностям, предоставляемых системой		
Класс САПР	Продукт	Компания
Тяжелый	Unigraphics NX	EDS
	CATIA	Dassault Systems/IBM
	Pro/Engineer	PTC
Средний	SolidEdge	EDS
	SolidWorks	SolidWorks
	Inventor и Mechanical Desktop	Autodesk
	Cimatron	Cimatron
	think3	Think3 S.p.A.
	CadKey	CadKey
	PowerSolutions	Delcam
	КОМПАС(CAD/CAM/CAE/PDM)	"Аскон"
	T-Flex (CAD/CAM/CAE/PDM)	"Топ Системы"
Легкий	КРЕДО (CAE)	НИЦ АСК
	AutoCAD	Autodesk
	SurfCAM 2D	Surfware
	DataCAD	DataCAD
	IntelliCAD	CADopia
	TurboCAD	IMSI

Обзор CAD/CAE систем

Unigraphics NX

- Разработчик Unigraphics–Solutions Inc., USA
(http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/)

Unigraphics NX - CAD/CAE/CAM-система высокого уровня, предназначенная для решения всего комплекса задач, стоящих перед инженерами на всех этапах создания сложных технических изделий:

- проектирование и конструирование;
- инженерный анализ и оптимизация конструкции;
- программирование изготовления.

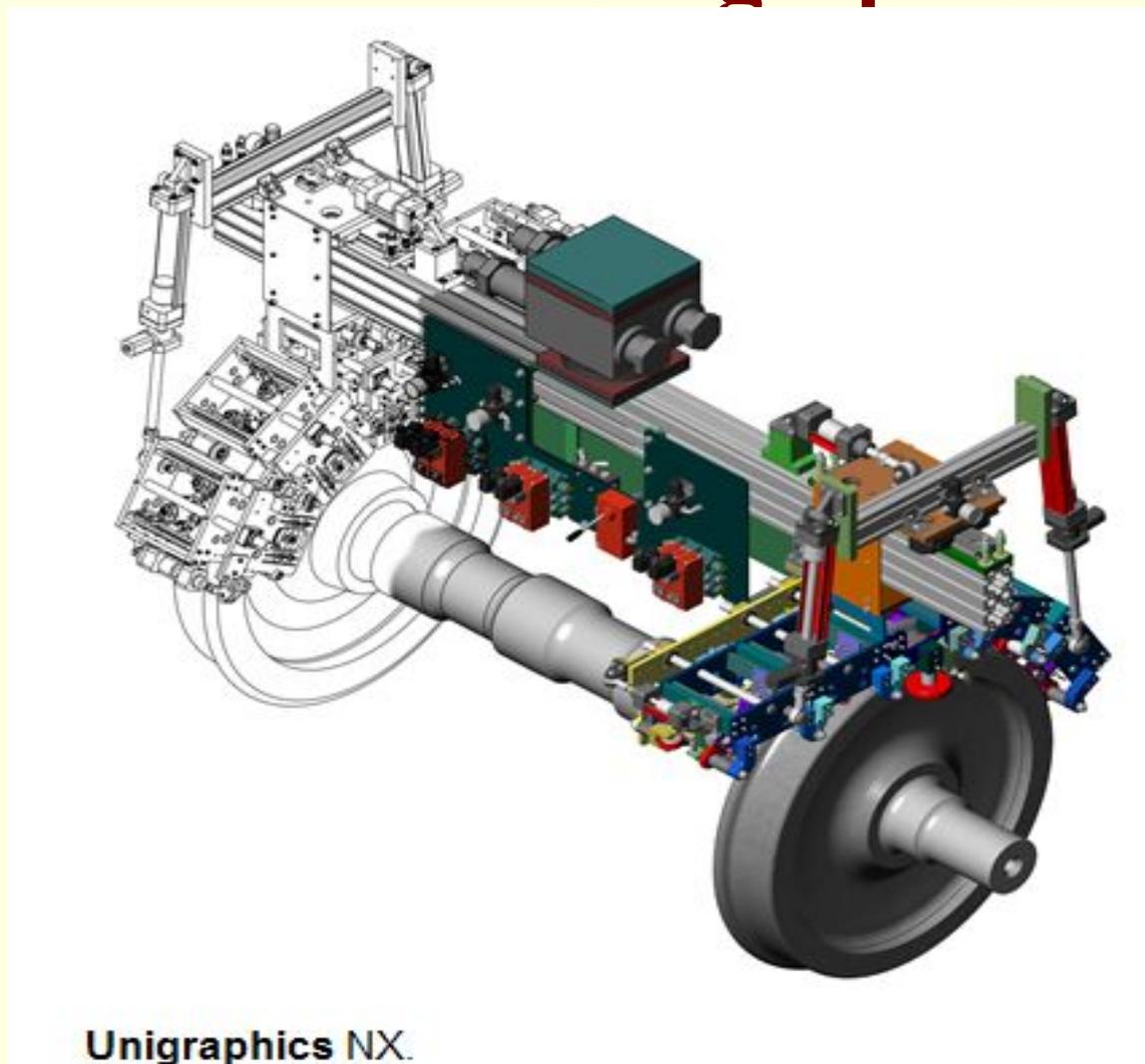
Unigraphics NX

Unigraphics входят следующие модули:

- **UG/Gateway** – этот модуль поддерживает автоматизированное рабочее место проектировщика, которое связывает все модули в единую среду;
- **UG/Solid Modeling** – обеспечивает трехмерное твердотельное моделирование;
- **UG/Features Modeling** – данный модуль позволяет создавать и редактировать типовые геометрические элементы;
- **UG/Freeform Modeling** – обеспечивает проектирование поверхностей сложной формы;
- **UG/User-Defined Features** обеспечивает интерактивные средства параметрического проектирования изделий;
- **UG/Drafting** – этот модуль обеспечивает создание чертежей из любых трехмерных твердотельных моделей;
- **UG/Assembly Modeling** – модуль создания и редактирования сборок;
- **UG/Advanced Assemblies** – это приложение, объединяющее возможности ускоренного отображения на экране тонированных или закрасенных изображений и анализа зазоров.

Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов трубного производства

Обзор CAD/CAE систем **Unigraphics NX**



CATIA Mechanical V6

- **Разработчик Dassault Systemes, Франция**
(<http://www.3ds.com>)
- **CATIA** – интегрированная CAD/CAM/CAE система для описания изделия и его моделирования на разных этапах жизненного цикла. Разработана в 1998 году на основе нового ядра CNEXT, содержащего средства как для описания геометрии изделия, так и для описания процессов его создания, с возможностью сохранять и накапливать используемые при этом приемы и методы в виде корпоративных знаний. Идеи заложенные в основе системы, позволяют исключительно быстро развивать и наращивать ее функциональность в желаемом направлении. В этом – ее основное отличие от программных продуктов других компаний-разработчиков.

Pro/Engineer

- **Parametric Technology Corporation (PTC), USA**
(<http://www.ptc.com/>)
- **Pro/Engineer** – CAD/CAM/CAE система высокого уровня. Включает в себя все необходимые модули для твердотельного моделирования деталей, сборок и создания чертежной документации. Обеспечивает анализ и оптимизацию конструкций деталей и узлов методом конечных элементов. Имеет программные модули для проектирования сварных конструкций, программирования обработки на станках с ЧПУ.

Autodesk Inventor

- **Разработчик: Autodesk, USA**
(<http://www.autodesk.com>)
- **Autodesk Inventor** – CAD система трехмерного параметрического моделирования объектов большой сложности. Имеет возможности моделирования кинематики различных механизмов. Моделирование со сборок неограниченного объема, прогрессивный интерфейс, позволяющий освоить работу с программой за несколько дней. Поддерживает данные, выполненные в программах на платформе AutoCAD.

SolidWorks

- **Разработчик: SolidWorks Corp. США.**
(<http://www.solidworks.com>)
- SolidWorks - мощное средство проектирования, базирующееся на передовых технологиях гибридного параметрического моделирования, интегрированных средствах электронного документооборота SWR-PDM/Workflow и широком спектре специализированных модулей. Русифицирован, поддерживает ЕСКД.

Обзор CAD/CAE систем

AutoCAD

Разработчик: Autodesk, USA
(<http://www.autodesk.com>)

- Самая популярная в мире среда автоматизированного проектирования, избранная многими разработчиками в качестве базовой графической платформы для создания машиностроительных, архитектурных, строительных, геодезических программ и систем инженерного анализа.
Основным преимуществом системы, является ее открытость для создания собственных высокоавтоматизированных приложений.

Обзор САД/САЕ систем

КОМПАС-3D

Разработчик: Аскон, Россия
(<http://www.ascon.ru>)

- Система КОМПАС-3D позволяет реализовать классический процесс трехмерного параметрического проектирования — от идеи к ассоциативной объемной модели, от модели к конструкторской документации.
- Основные компоненты КОМПАС-3D — собственно система трехмерного твердотельного моделирования, универсальная система автоматизированного проектирования КОМПАС-График и модуль проектирования спецификаций. Все они легки в освоении, имеют русскоязычные интерфейс и справочную систему.

Обзор САД/САЕ систем

T-Flex

- **Разработчик: Топ-Системы, Россия**
(<http://www.ascon.ru>)
- Программный комплекс T-FLEX позволяет организовать работу на всех этапах жизненного цикла изделия, Комплекс программ позволяет создать единую среду конструкторского и технологического документооборота при подготовке производства. Пользователь получает широкие возможности по управлению номенклатурой и структурами изделий. В ходе работ обеспечивается чёткое взаимодействие всех участников процесса технической подготовки производства.

- Основные программные модули **T-Flex**
- **T-FLEX Технология 2010**
- **T-FLEX CAD 12**
- **T-FLEX ЧПУ**
- **T-FLEX DOCs 2010**
- **T-FLEX Анализ**

Обзор CAD/CAE систем

T-Flex



ADEM

Разработчик: Группа компаний ADEM, Россия
(<http://www.adem.ru>)

- Интегрированная CAD/CAM/CAPP система ADEM предназначена для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.

В состав программного комплекса входят инструменты для автоматизации:

- проектирования, конструирования и моделирования изделий;
- оформления чертежно-конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД;
- проектирование техпроцессов и оформления технологической документации в соответствии с требованиями ЕСТД;
- программирования оборудования с ЧПУ;
- управления архивами и проектами.

Компьютерное моделирование и
проектирование машин и агрегатов
трубного производства

Обзор CAD/CAE систем

ANSYS

Разработчик: Ansys Inc., USA
(<http://www.ansys.com>)

Это универсальная, «тяжелая» **CAE** система, предназначенная для решения в единой среде на одной и той же конечно-элементной модели задач по прочности, теплу, электромагнетизму, гидро-газодинамике, многодисциплинарного связанного анализа и оптимизации на основе всех выше приведенных типов анализа.

Обзор CAD/CAE систем

NASTRAN

Разработчик: MSC.Software, USA

(www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/)

- **MSC.Nastran** CAE- система, обеспечивающая полный набор расчетов, включая расчет напряженно - деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и неуставившихся процессов, акустических явлений, нелинейных статических процессов, нелинейных динамических переходных процессов, расчет критических частот и вибраций роторных машин, анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок, спектральный анализ и исследование аэроупругости

APM WinMachine

Разработчик: НТЦ «АПМ», Россия
(<http://www.apm.ru/rus/>)

APM WinMachine - CAD/CAE система

автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения, разработанная с учетом последних достижений в вычислительной математике, области численных методов и программирования, а также теоретических и экспериментальных инженерных решений. Эта система в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и правил, относящихся как к оформлению конструкторской документации, так и к расчетным алгоритмам.

Современный подход к проектированию машин и механизмов предполагает создание 3D модели в одной из программ твердотельного моделирования с параллельным расчетом динамики системы и прочности элементов конструкции и ее оптимизации. Эти задачи успешно решают интегрированные CAD/CAE системы.

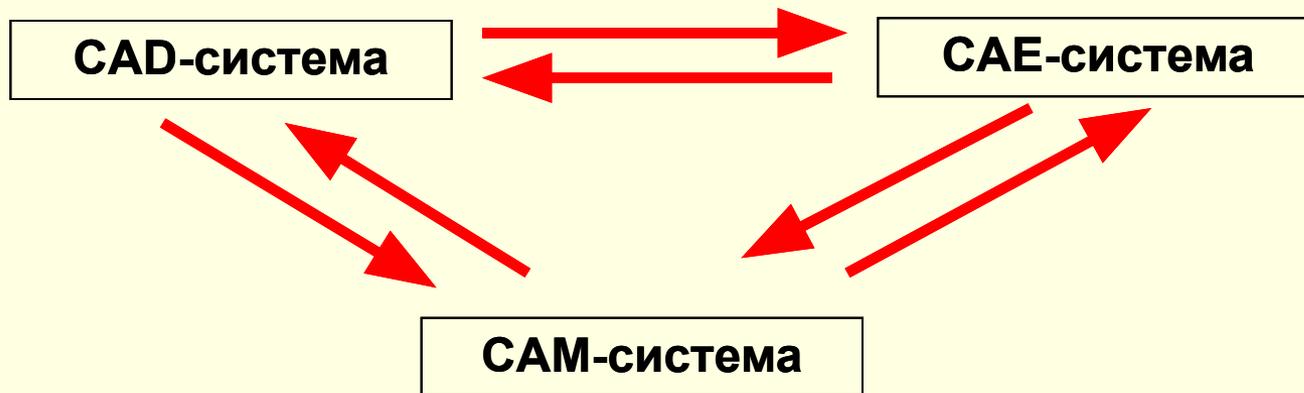
В некоторых случаях на предприятиях могут использоваться автономные CAD и CAE системы, например, AutoCAD и NASTRAN или Компас 3D и ANSYS и др.

Каждая из автоматизированных систем имеет свои форматы выходных файлов. Например, AutoCAD имеет внутренний формат данных чертежа - DWG, формат файла входных данных для расчета в FEA NASTRAN - DAT

Для решения проблемы взаимодействия различных CAD/CAM/CAE систем необходимо иметь возможность преобразовывать данные из одной системы в форму принятую в других системах и наоборот.

Интеграция CAD/CAE/CAM- систем

- Конверторы экспорта-импорта данных геометрических моделей позволяют эффективно выполнять обмен данными между конкретными парами систем. Эти конверторы для конкретной пары называют прямыми конверторами (direct translators).



- Метод прямого конвертирования не практичен, так как требует разработки большого количества конверторов. Для n систем количество требуемых конверторов составляет $n(n-1)$.

Интеграция CAD/CAE/CAM- систем

Для обмена данными между различными системами геометрического моделирования (CAD), конечно-элементного анализа (CAE) и системами программирования обработки на станках с ЧПУ (CAM) созданы утилиты обмена данными с использованием нейтральных форматов файлов (neutral file) IGES, STEP, DXF, SAT и др.



Форматы нейтральных файлов

Наиболее част применяемыми являются три типа формата нейтральных файлов:

- **IGES** (Initial Graphics Exchange Specification) – первоначальная спецификация обмена графическими данными;
- **STEP** (Standard for Exchange of Product model data) – стандарт обмена данными о модели продукта;
- **DXF** (Drawing interchange Format) – формат обмена чертежами.

IGES один из первых стандартов обмена графическими данными. **IGES**-файл состоит из шести разделов:

- Flag (Флаг - необязательный раздел);
- Start (Начало);
- Global (Глобальные данные);
- Directory Entry (Запись в каталоге);
- Parameter Data (Параметрические данные);
- Terminate (Конец).

DXF – изначально разрабатывался для обмена данными графическими данными с системой **AutoCAD**.

DXF -файл состоит из пяти разделов:

- Header (Заголовок);
- Table (Таблица);
- Block (Блок);
- Entity (Элемент);
- Terminate (Конец).

STEP – формат данных, используемый для хранения полной информации обо всем жизненном цикле продукции, включая проектирование, анализ, изготовление, контроль качества, испытания, обслуживание и утилизацию.

Для корректной записи и чтения файлов в различных системах описание данных выполняется на языке EXPRESS.

Заключение

- Системы автоматизированного проектирования занимают исключительное положение среди компьютерных приложений – это индустриальные технологии, непосредственно направленные в сферу самых важных областей материального производства.
- Сейчас можно с уверенностью сказать, что уровень развития и стратегический потенциал нации определяются не количеством запасов золота или нефти, а гораздо в большей степени тем, сколько она имеет рабочих мест компьютерного проектирования и сколько инженеров творчески владеют соответствующими методами.
- Уровень развития CAD/CAM/CAE-систем непосредственно сказывается на благосостоянии каждого члена социума, в отличие, например, от степени развитости мультимедийных технологий, что тоже важно, но все же менее существенно. Нужно принять как непреложный факт, что сегодня уже невозможно без компьютерной автоматизации производить современную технику, ставшую чрезвычайно сложной и требующей исключительной точности при изготовлении.