

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
Кафедра «Технологии обработки давлением»

Основы автоматизированного проектирования

Преподаватель: к.т.н., доцент
Алимов Артем Игоревич
alimov_ai@bmstu.ru

Москва – 2020

Цели курса

- Приобретение теоретических знаний по основам автоматизированного проектирования;
- приобретение практических навыков создания твердотельных геометрических моделей и сборок;
- освоение методов обработки, преобразования и представления геометрических моделей;
- освоение методов автоматизированной разработки конструкторской документации;
- освоение методов автоматизации инженерных расчетов.

Структура курса

Модуль 1. Основы создания твердотельных моделей, сборок и чертежей

- 1.1 Основы автоматизированного проектирования
- 1.2 Интерфейс программы Autodesk Inventor
- 1.3 Работа с эскизами
- 1.4 Создание твердотельных моделей
- 1.5 Трехмерное моделирование деталей штампов
- 1.6 Создание сборок
- 1.7 Автоматизация разработки конструкторской документации

Модуль 2. Автоматизация инженерных расчетов

- 2.1 Прочностной анализ деталей

Домашние задания и лабораторные работы

— Домашние задания:

1. Создание электронной модели сборочной единицы и разработка рабочей документации (выдача – 3 неделя, сдача – 14 неделя);

— Лабораторные работы (6 шт.):

1. Интерфейс Autodesk Inventor;
2. Работа с эскизами в программе Autodesk Inventor;
3. Основы создания твердотельных моделей в программе Autodesk Inventor;
4. Создание сборок в программе Autodesk Inventor;
5. Автоматизация разработки конструкторской документации;

Основная литература

1. Стандарты ЕСКД. – М.: Стандартинформ, 2008. – 500 с.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования : Учебник для вузов / Норенков И. П. - 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
3. Autodesk Wikihelp: <http://wikihelp.autodesk.com>

Дополнительная литература

1. Трембли Т. Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Официальный учебный курс. – ДМК Пресс, 2012. – 344 с.
2. Autodesk. Autodesk Inventor Simulation 2010. Начало работы
3. Концевич В.Г. Твёрдотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor. Киев, Москва: ДиаСофтЮП, ДМК Пресс, 2007. – 672 с.
4. Журбенко П.А. Autodesk Inventor 2012. Трёхмерное моделирование деталей и создание чертежей / П. А. Журбенко, В. Н. Гузненков. – ДМК-Пресс, 2012. – 120 с.
5. Алиева Н.П. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor. Учебное пособие" / Н. П. Алиева, П. А. Журбенко, Л.С. Сенченкова. – ДМК-Пресс, 2011. – 112 с.
6. Басов К. А. ANSYS для конструкторов. – ДМК-Пресс, 2012. – 248 с.
7. Гузненков В.Н. Autodesk Inventor в курсе инженерной графики. Учебное пособие для вузов. / В.Н. Гузненков, С.Г. Демидов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 144 с.: ил.
8. Хрящев В. Г Основы черчения в AutoCAD / В. Г. Хрящев, В.И. Серегин, В.И.Гусев. – М.: Эксмо, 2007. – 128 с.
9. Гузненков В.Н., Демидов С.Г. Autodesk Inventor в курсе инженерной графики. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2009. – 146 с.
10. Банах Д., Джонс Т., Каламейя А. Autodesk Inventor (+ CD-ROM) = Autodesk Inventor: Essentials Plus. – М.: Лори, 2007. – 752 с.

Термины и определения

- **Система** — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство.
- **Сложная система** — система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов.
- **Элемент** — самостоятельная часть, являющаяся основой чего-либо, например системы или множества.
- **Множество** (по Г. Кантору) — набор, совокупность, собрание каких-либо объектов, называемых его элементами, обладающих общим для всех их характеристичным свойством.
- **Структура** — внутреннее устройство, элементы объекта вместе с их взаимосвязями.
- **Функция** — роль объекта в рамках некоторой системы.
- **Метод** — систематизированная совокупность шагов, действий, которые необходимо предпринять, чтобы решить определённую задачу или достичь определённой цели.

Проектирование

Проектирование — процесс создания, преобразования и представления в некоторой форме образа еще не существующего объекта на основе первичного описания этого объекта.

Это определение отражает главную особенность проектирования как процесса создания образа именно **нового объекта**.

Результатом проектирования, как правило, служит комплект **конструкторской документации**, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть **проект**, то есть окончательное описание объекта.

Виды проектирования

Проектирование может быть:

- **ручным**, то есть без использования ЭВМ;
- **автоматизированным**, при котором отдельные преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования или алгоритма процесса, а также представления описаний на различных языках осуществляются при взаимодействии человека и ЭВМ;
- **автоматическим**, при котором все преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования или алгоритма процесса, а также представления описаний на различных языках выполняются на ЭВМ без вмешательства человека.

Конструкторский документ (ГОСТ 2.001-93)

Конструкторский документ — документ, который в отдельности или в совокупности с другими документами определяет конструкцию изделия и имеет содержательную и реквизитную части, в том числе установленные подписи.

К конструкторским документам относятся: графические, текстовые, аудиовизуальные (мультимедийные) и иные документы, содержащие информацию об изделии, необходимую для его проектирования, разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта (модернизации) и утилизации.

Формы представления конструкторских документов

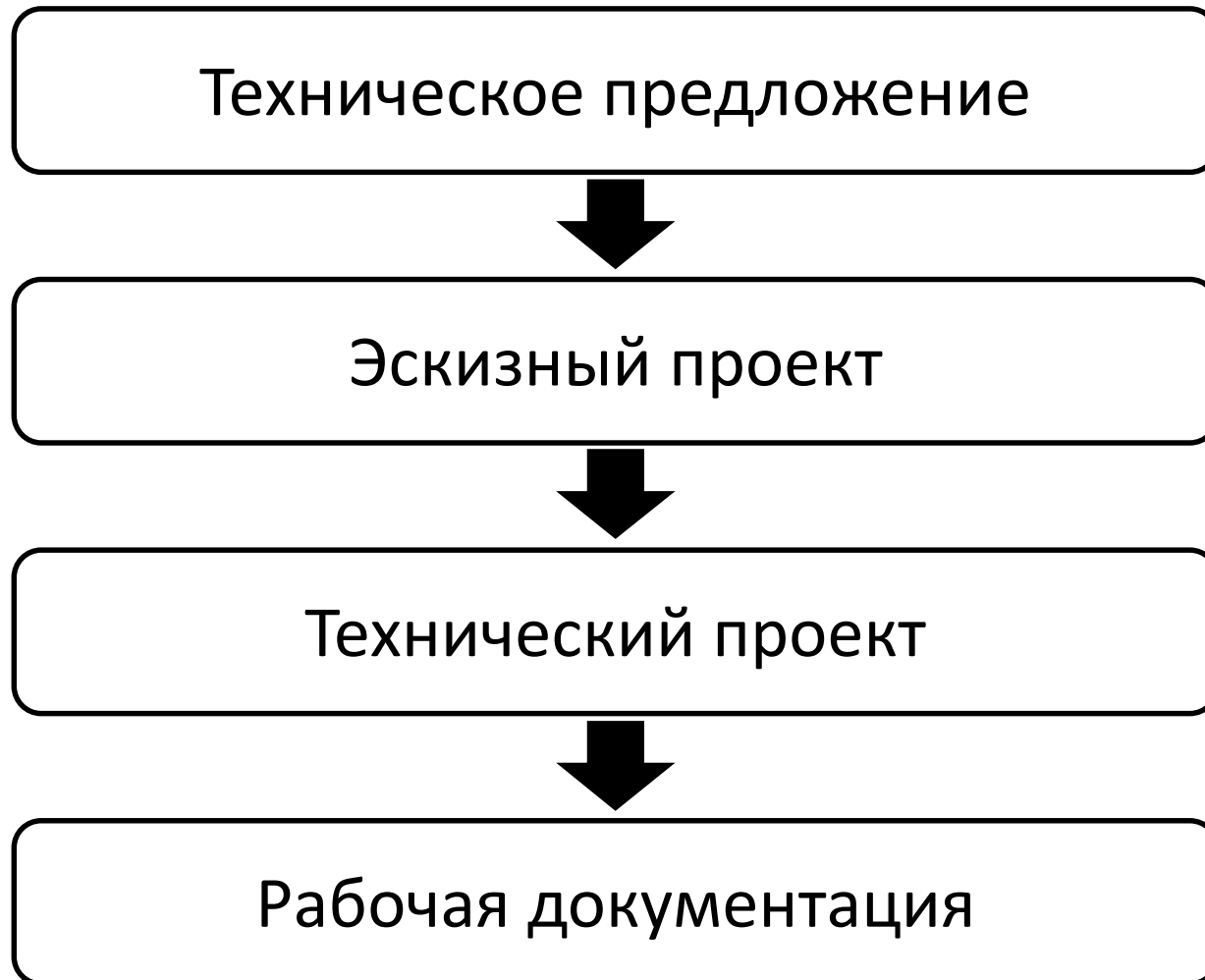
- **Конструкторский документ в бумажной форме** — документ, выполненный на бумажном или аналогичном по назначению носителе (кальке, микрофильмах, микрофишах и т.п.);
- **Конструкторский документ в электронной форме** — документ, выполненный как структурированный набор данных, создаваемых программно-техническим средством.

Таким образом, ГОСТ 2.001-93 устанавливает две **равноправные** формы представления конструкторской документации — бумажную и электронную.

Особенности проектирования сложных систем

- Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур;
- итерационный характер проектирования, заключающийся в выполнении работ параллельно с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой предыдущих этапов работы;
- типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Стадии разработки конструкторской документации (ГОСТ 2.103-68)



Техническое предложение

Техническое предложение (ТП) — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий и патентные исследования.

Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект

Эскизный проект (ЭП) — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Объем работ - по ГОСТ 2.119-73.

Технический проект

Технический проект (ТП) — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

Объем работ - по ГОСТ 2.120-73.

Рабочая конструкторская документация

Рабочая конструкторская документация — совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия.

а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления) с проведением предварительных испытаний и корректировкой конструкторской документации;

б) серийного (массового) производства с испытанием установочной серии и корректировки конструкторской документации по результатам испытаний, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия.

Особенности проектирования сложных систем

- Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур;
- итерационный характер проектирования, заключающийся в выполнении работ параллельно с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой предыдущих этапов работы;
- типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Основные понятия проектирования

- **Проектная процедура** – это взаимосвязанная, взаимообусловленная совокупность действий, направленных на получение проектных решений.
- **Проектное решение** – промежуточное или окончательное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для продолжения или окончания проектирования или вариант проекта, удовлетворяющий требованиям технического задания (ТЗ) (промежуточное или конечное описание объекта проектирования).

В этих определениях практически не оговариваются требования по качеству результатов проектирования.

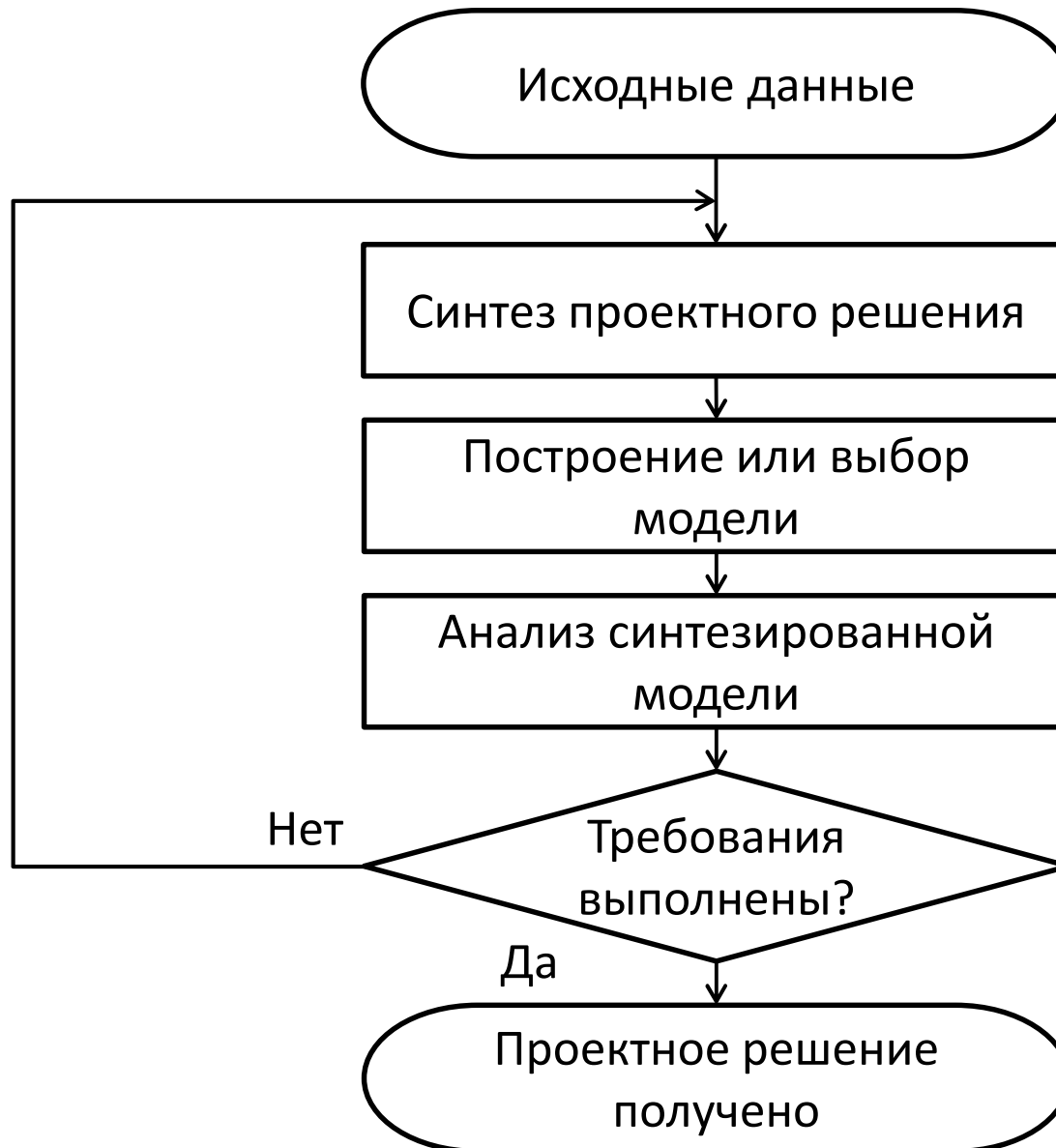
- **Эффективное проектное решение** – описание объекта, принципиально выполняющего требуемые функции или проектное решение, принципиально отвечающее требованиям ТЗ.
- **Оптимальное проектное решение** – описание объекта, наилучшим образом выполняющего требуемые функции или проектное решение, наилучшим образом отвечающее требованиям ТЗ.

Проектные процедуры принято разделять на **проектные операции**, под которыми понимаются действия, выполняемые для разных процедур по единому алгоритму.

Проектные операции

- **Синтез** – определение структуры проектируемых систем (**структурный синтез**); выбор численных значений параметров элементов систем (**параметрический синтез**).
- **Моделирование** – создание модели системы (англ. *modeling*); анализ свойств системы на основе исследования ее моделей (англ. *simulation*).
- **Анализ** – исследование свойств синтезированного варианта проекта с применением абстрактных и (или) физических моделей или исследование объект проектирования с использованием моделей.
- **Принятие проектного решения** – выбор варианта проекта из имеющихся альтернативных вариантов по результатам анализа или выбор варианта проекта с учётом требований ТЗ на основе результатов анализа.

Алгоритм принятия проектного решения



Уровни проектирования

- **Системный уровень**, на котором решают наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, диаграмм потоков данных и т.п.;
- **макроуровень**, на котором проектируют отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т.п.;
- **микроуровень**, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают:

- **восходящее проектирование** (снизу вверх) — последовательность проектирования от нижних уровней к верхним;
- **нисходящее проектирование** (сверху вниз) — последовательность проектирования от верхних уровней к нижним;
- при **смешанном проектировании** имеются элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования.

Особенности проектирования сложных систем

- Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур;
- итерационный характер проектирования, заключающийся в выполнении работ параллельно с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой предыдущих этапов работы;
- типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Система автоматизированного проектирования

Система автоматизированного проектирования (САПР, англ. CAD System — Computer Aided Design System) — это комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с коллективом специалистов (пользователей системы), которые осуществляют проектирование.

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров.

Цели САПР

- Сокращение трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращение сроков проектирования;
- сокращение себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращение затрат на натурное моделирование и испытания.

Задачи САПР

- Автоматизация оформления документации;
- информационная поддержка и автоматизация процесса принятия решений;
- использование технологий параллельного проектирования;
- унификация проектных решений и процессов проектирования;
- повторное использование проектных решений, данных и наработок;
- стратегическое проектирование;
- замена натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышение качества управления проектированием;
- применение методов вариантного проектирования и оптимизации.

CAD System = CAD + CAM + CAE + PDM

- **CAD** (англ. *computer-aided design/drafting*) — средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения;
- **CAE** (англ. *computer-aided engineering*) — средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий;
- **CAM** (англ. *computer-aided manufacturing*) — средства технологической подготовки производства изделий, которые обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудованием с ЧПУ, а также ГПС;
- **PDM** (англ. *Product Data Management*) — системы управления данными об изделии, предназначенные для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения, координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием.

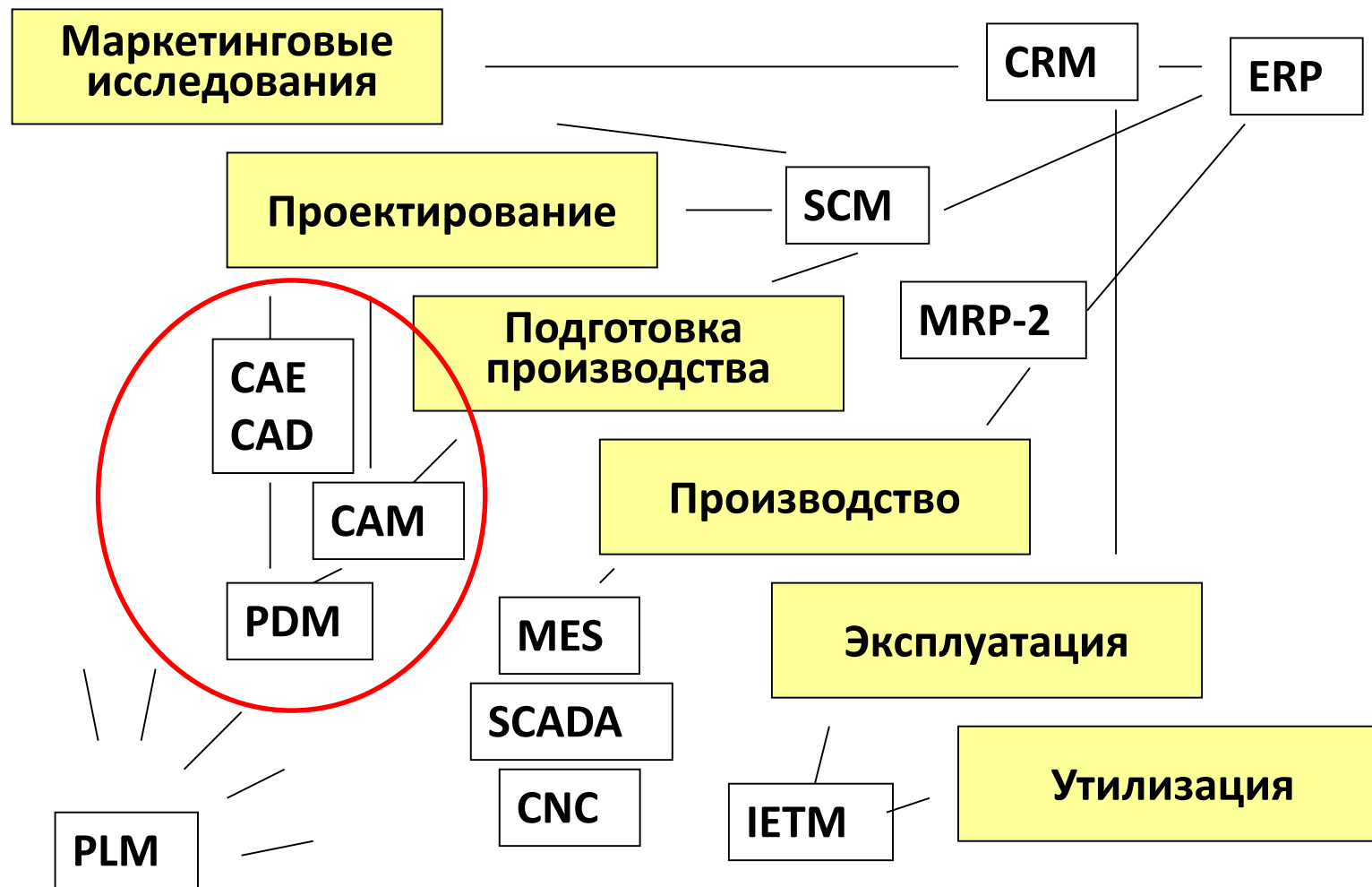
CALS-технологии

CALS-технологии (англ. *Continuous Acquisition and Lifecycle Support* — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий), или **ИПИ** (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) — подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия.

В широком смысле слова **CALS** - это методология создания единого информационного пространства промышленной продукции, обеспечивающего взаимодействие всех промышленных автоматизированных систем.

Практически синонимом CALS в этом смысле становится термин **PLM** (англ. *Product Lifecycle Management*) - управление жизненным циклом изделия.

Жизненный цикл изделия



Электронные конструкторские документы

ГОСТ 2.001-93 устанавливает две **равноправные** формы представления конструкторской документации — бумажную и электронную.

Электронные конструкторские документы разделяют на:

- **электронную модель детали;**
- **электронную модель сборочной единицы;**
- **электронную структуру изделия.**

Электронная модель изделия (ГОСТ 2.052-2006, ГОСТ 2.102-68)

Электронная модель детали — документ, содержащий электронную геометрическую модель детали и требования к ее изготовлению и контролю (включая предельные отклонения размеров, шероховатости поверхности и др.)

Электронная модель сборочной единицы — документ, содержащий электронную геометрическую модель сборочной единицы, соответствующие электронные геометрические модели составных частей, свойства, характеристики и другие данные, необходимые для сборки (изготовления) и контроля. К электронным моделям сборочных единиц также относят электронные модели для выполнения гидромонтажа и пневмомонтажа.

Виды электронных моделей

- **Геометрическая модель** — электронная модель изделия, описывающая геометрическую форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров:
 - а) твердотельная модель** — трехмерная электронная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам;
 - б) поверхностная модель** — трехмерная электронная геометрическая модель, представленная множеством ограниченных поверхностей, определяющих в пространстве форму изделия;
 - в) каркасная модель** — трехмерная электронная геометрическая модель, представленная пространственной композицией точек, отрезков и кривых, определяющих в пространстве форму изделия.
- **Электронный макет** — электронная модель изделия, описывающая его внешнюю форму и размеры, позволяющая полностью или частично оценить его взаимодействие с элементами производственного и/или эксплуатационного окружения, служащая для принятия решений при разработке изделия и процессов его изготовления и использования.

Электронная структура изделия (ГОСТ 2.053-2006)

Электронная структура изделия (ЭСИ) — электронный конструкторский документ, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и иерархические отношения (связи) между его составными частями и другие данные в зависимости от назначения изделия.

- **Функциональной ЭСИ** описывают назначение и функции изделия и его частей;
- **Конструктивная ЭСИ** предназначена для отображения конкретных технических решений, определяющих конструкцию комплексов, сборочных единиц и комплектов.
- **Производственно-технологическая ЭСИ** служит для отображения особенностей технологии изготовления и сборки изделия.
- **Физическая ЭСИ** соответствует одному конкретному экземпляру изделия и сопровождает изделие в процессе его эксплуатации.
- В **эксплуатационной ЭСИ** отображают информацию о тех частях изделия, которые подлежат обслуживанию и/или замене в ходе эксплуатации.
- **Совмещенная ЭСИ** включает в себя отдельные разновидности ЭСИ.

Обзор САПР

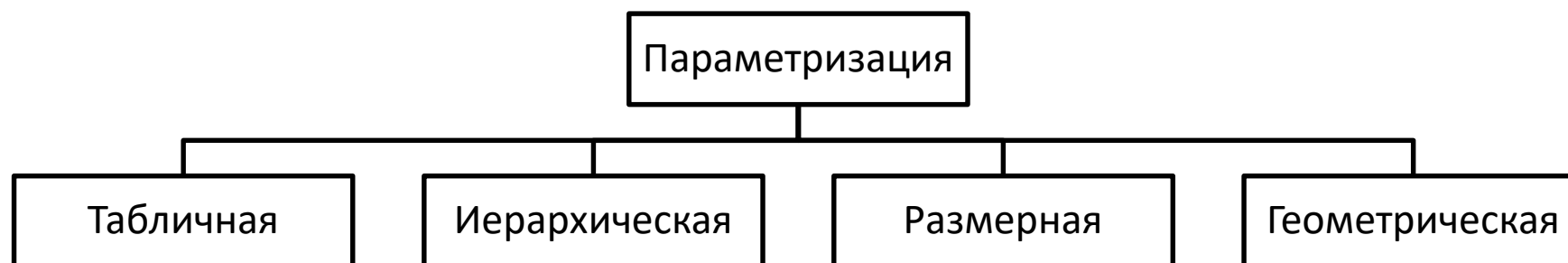
Параметризация

Класс	Продукт	Компания
Тяжелый	Unigraphics NX	UGS PLM Solutions (EDS)
	CATIA	Dassault Systemes/IBM
	Pro/Engineer	PTC
Средний	SolidEdge	UGS PLM Solutions (EDS)
	SolidWorks	SolidWorks
	Inventor и Mechanical Desktop	Autodesk
	КОМПАС(CAD/CAM/CAE/PDM)	Аскон
	T-Flex (CAD/CAM/CAE/PDM)	Топ Системы
Легкий	AutoCAD	Autodesk

«Электронный кульман»

Параметрическое моделирование

Параметрическое моделирование (параметризация) — моделирование (проектирование) с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами.



Параметрическое моделирование существенно отличается от обычного двухмерного черчения или трёхмерного моделирования. Конструктор в случае параметрического проектирования создаёт математическую модель объектов с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации детали, взаимные перемещения деталей в сборке и т. п.

Параметризация позволяет сократить время проектирования и последующих изменений в электронных моделях, а также снижает число возможных ошибок.

Табличная параметризация

Табличная параметризация заключается в создании таблицы параметров типовых деталей. Создание нового экземпляра детали производится путём выбора из таблицы типоразмеров.

Возможности табличной параметризации весьма ограничены, поскольку задание произвольных новых значений параметров и геометрических отношений обычно невозможно.

Однако табличная параметризация находит широкое применение во всех параметрических САПР, поскольку позволяет существенно упростить и ускорить создание библиотек стандартных и типовых деталей, а также их применение в процессе конструкторского проектирования.

Иерархическая параметризация

Иерархическая параметризация (параметризация на основе истории построений) заключается в том, что в ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «дерева построения». В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

Помимо «дерева построения» модели, система запоминает не только порядок её формирования, но и иерархию её элементов (отношения между элементами). Пример: сборки → под сборки → детали.

Параметризация на основе истории построений присутствует во всех САПР использующих трёхмерное твердотельное параметрическое моделирование. Обычно такой тип параметрического моделирования сочетается с вариационной и/или геометрической параметризацией.

Вариационная (размерная) параметризация

Вариационная или **размерная параметризация** основана на построении эскизов (с наложением на объекты эскиза различных параметрических связей) и наложении пользователем ограничений в виде системы уравнений, определяющих зависимости между параметрами.

Порядок размерной параметризации:

- Создаётся эскиз (профиль) для трёхмерной операции. На эскиз накладываются необходимые параметрические связи.
- Затем эскиз «образмеривается». Уточняются отдельные размеры профиля. На этом этапе отдельные размеры можно обозначить как переменные (например, присвоить имя «Length») и задать зависимости других размеров от этих переменных в виде формул (например, «Length/2»)
- Затем производится трёхмерная операция (например, выдавливание), значение атрибутов операции тоже служит параметром (например, величина выдавливания).
- В случае необходимости создания сборки, взаимное положение компонентов сборки задаётся путём указания сопряжений между ними (совпадение, параллельность или перпендикулярность граней и рёбер, расположение объектов на расстоянии или под углом друг к другу и т. п.).

Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза или величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трёхмерную модель.

Геометрическая параметризация

Геометрической параметризацией называется параметрическое моделирование, при котором геометрия каждого параметрического объекта пересчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных.

Параметрическая модель, в случае геометрической параметризации, состоит из элементов построения и элементов изображения. Элементы построения (конструкторские линии) задают параметрические связи. К элементам изображения относятся линии изображения (которыми обводятся конструкторские линии), а также элементы оформления (размеры, надписи, штриховки и т. п.).

Одни элементы построения могут зависеть от других элементов построения. Элементы построения могут содержать и параметры (например, радиус окружности или угол наклона прямой). При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания.

Геометрическая параметризация даёт возможность более гибкого редактирования модели.