



# Лекция 7

---

## План лекции

Управление технологическими процессами на основе компьютерных систем

САПР в машиностроении.

Управление станками с ЧПУ

Контроль трехмерных объектов

3D- сканирование и быстрое прототипирование



# САПР в машиностроении

## **CAD – computer Aided Design**

Общий термин для обозначения всех аспектов проектирования с использованием средств вычислительной техники. Обычно охватывает **создание геометрических моделей изделия**, а также генерацию **чертежей** и их сопровождение.

## **CAM – Computer Aided Manufacturing**

Общий термин для обозначения системы подготовки информации **для станков с ЧПУ**. Традиционно исходными данными для таких систем являются геометрические модели деталей, полученных из систем CAD.

## **CAE – Computer Aided Engineering**

Система автоматического **анализа проекта**. Общий термин для обозначения информационного обеспечения условий автоматизированного анализа проекта, имеет целью обнаружение ошибок (**прочностные расчеты**) или **оптимизация** производственных возможностей.

## **PDM – Product Data Management**

Система управления производственной информацией. Инструментальное средство, которое помогает администраторам, инженерам, конструкторам и так далее **управлять как данными так и процессами разработки изделия** на современных производственных предприятиях или группе смежных предприятий.



# САПР в машиностроении

Традиционно, продукты САПР для машиностроения разделены на три класса: **тяжелый** (Catia, ProEngineer, Unigraphics), **средний** (SolidWorks, T-Flex CAD, Inventor) и **легкий** (AutoCad, Компас).

Такая классификация сложилась исторически, хотя грани между классами стираются, а системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям.

Имеются и так называемые "внеклассовые" САПР, роль которой выполнять различные специализированные задачи, например такие как расчеты коробок передач и редукторов.

Разработанный к 1950 г. **метод конечных элементов** послужил толчком к развитию систем инженерного анализа CAE. В 1963 г. был предложен способ применения метода конечных элементов для анализа прочности конструкции путем минимизации потенциальной энергии.

Так в 1971 г. компания MSC.Software выпустила систему структурного анализа MSC.Nastran, которая до сих пор занимает ведущее положение на рынке CAE систем.



# Система ЧПУ CNC ABMS-001B

---

Одним из самых широко распространенных стандартных программных языков для контроля движением является G-codes по стандартам ISO, который позволяет пользователю эффективно определять и осуществлять контроль движения и входов/выходов.

Контроллеры серии NI PCI обеспечивают полную поддержку по всему диапазону G- кодов.

Система – комбинированная (контурно-позиционная), типа CNC, со свободным программированием алгоритмов управления, с программируемой электроавтоматикой станка и возможностью адаптивного управления, выполненное на базе микропроцессора Intel и контроллера движения National Instruments, которые в совокупности с программным обеспечением реализуют заданный алгоритм управления, включая обслуживание внешних устройств ввода/вывода, вычисление траекторий и скоростей перемещения подвижных органов станка, выдачу управляющих последовательностей команд выполнения технологических циклов, решения задач редактирования управляющих программ и т.д.

# Виртуальный пульт управления

**Отключен** **ГОТОВНОСТЬ СЧПУ**

Привод подачи включен | Контроль ограждения | Задняя бабка захвата | Пиньоль захвата

Смазка отключен | Смазка шпинд. бабки отключена | Смазка напрямк. отключена | Главный привод отключен

1 2 3 4 5 6 | Пиньоль | ПОИСК

400 600 200 0 1000 | Старт | Стоп | Старт

4000 6000 2000 0 10000 | X- X+ Z- Z+ | Ход + | Ход -

Текущий файл: 78

Начальная позиция | Редактор | Открыть

Корректировка инструментов

Z1	-8,43	Z2	-9,83	Z3	-6,18
X1	19,35	X2	-6,64	X3	-5,65
Z4	5,35	Z5	0,00	Z6	0,00
X4	-6,34	X5	0,00	X6	0,00

Поиск по позиции

Z 0 | X 0

На Полице

12:28:13 Программа AutoLathe ВКЛ.  
12:28:17 стоп ВЫКЛ.  
12:29:3 Программа AutoLathe ВЫКЛ.

ручной

Control  
ПК ПУЛЬТ

Позиция энкодеров  
Z 0  
X 0

Установка начальной позиции

ПОДГОТОВКА

СТОП [Esc]



# Система ЧПУ CNC ABMS-001B

---

После включения системы ПО, нажатием “Подготовка”, станок приводится к нулевой позиции (Homing).

В левом верхнем углу изображены лампы индикаторы, показывающие готовность системы к работе, а также функционирование разных узлов станка. Некоторые из этих ламп включаются прямо из виртуального пульта управления системой.

Готовность каждого инструмента определяется нажатием на соответствующую кнопку, находящуюся под окном индикационных ламп.

Скорость вращения шпинделя и скорости подач по X и Z осям определяются с помощью регуляторов.

Кнопка “Установка начальной позиции” ставит текущую позицию энкодеров как стартовую.

Кнопка “На позицию” осуществляет корректировку Стартовой позиции.

Окно “Корректировка инструментов” предназначено для корректировки инструментов после замены каждого инструмента.





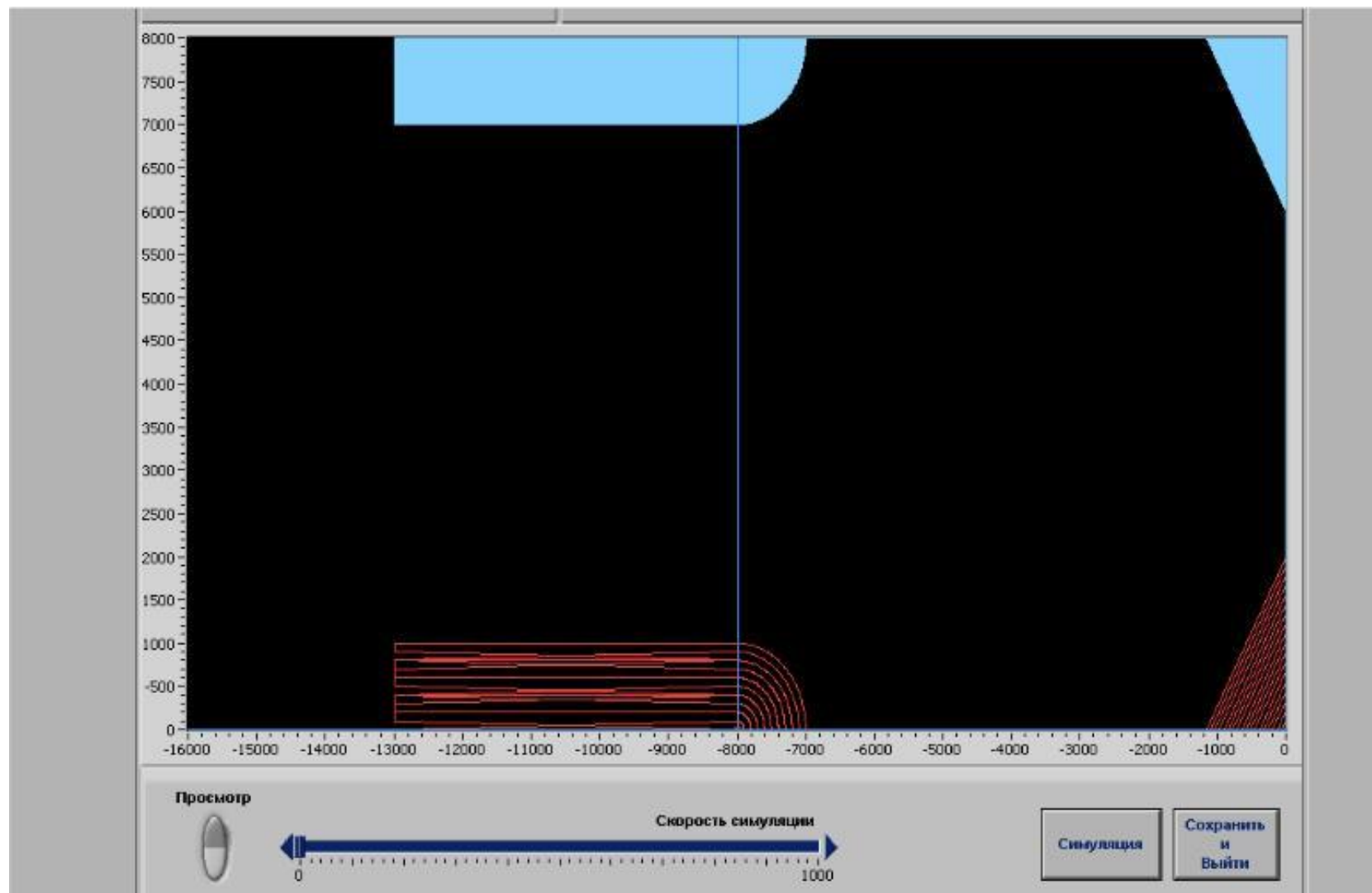
# Редактирование программы

---

M02	Конец управляющей программы
M03	Скорость шпинделя (вращение по часовой стрелке)
M04	Скорость шпинделя (вращение против часовой стрелки)
M05	Готовность шпинделя (включить/отключить)
G04	Задержка в диапазоне 0-1000 мсек.
G12	Обработка кривой поверхности
G12-N	Обработка кривой поверхности несколькими этапами
G31	Обработка винтовой поверхности
G61	Обработка наклонной плоскости
G61-N	Обработка наклонной плоскости несколькими этапами
G70	Обработка параллельно оси Z
G71	Обработка параллельно оси X
G72Z-N	Обработка параллельно оси Z несколькими этапами
G72X-N	Обработка параллельно оси X несколькими этапами
G92	Сдвиг инструмента
T01-T06	Выбор инструмента



# Режим симуляции

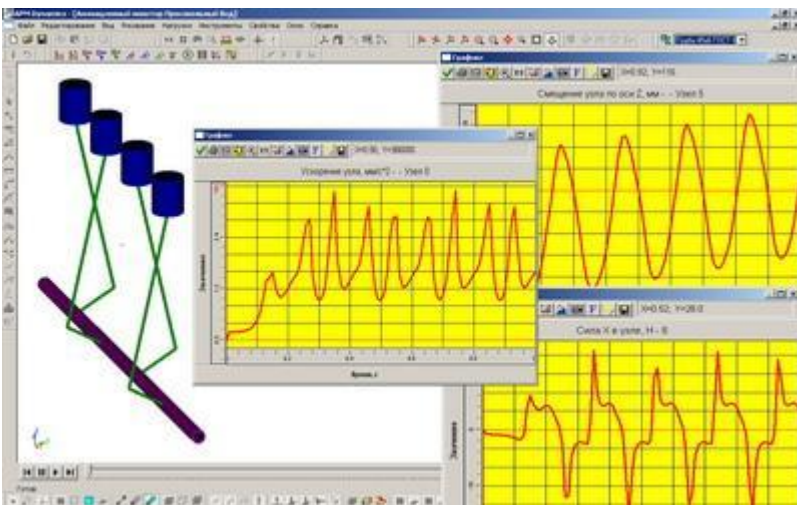
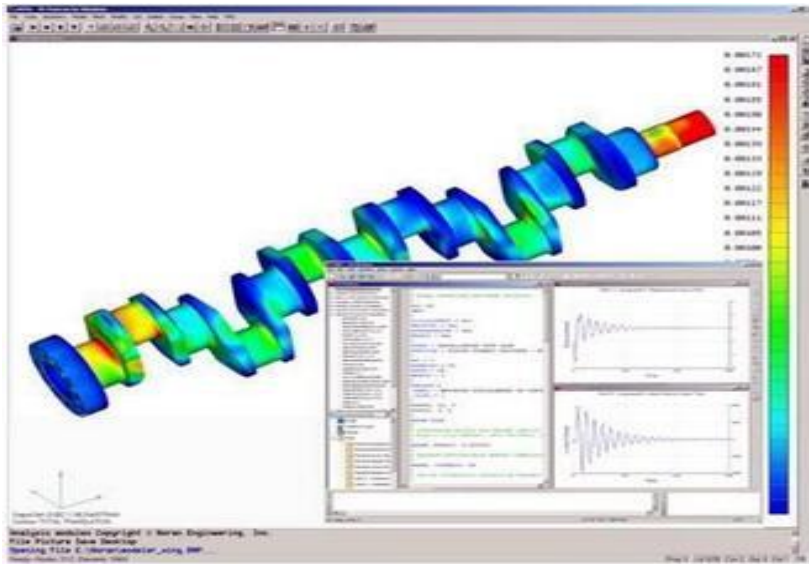


# Переход к автоматическому режиму

The interface is divided into several functional areas:

- Top Left:** A red button labeled "Отключен" (Off) and a red status indicator "ГОТОВНОСТЬ СЧПУ" (CNC Ready).
- Middle Left:** A grid of green buttons for "Привода подачи включены" (Feed drive on), "Контроль ограждения" (Guard control), "Задняя бабка захвата" (Tailstock clamp), and "Пиноль захвата" (Tool clamp). Below these are four grey buttons for "Срок отключен" (Tool off), "Связка шпинд. бабки отключена" (Spindle-tailstock link off), "Связка направл. отключена" (Direction link off), and "Главный привод отключен" (Main drive off), each with a corresponding toggle switch.
- Bottom Left:** A row of green buttons numbered 1 through 6, with a dropdown menu currently showing "6". Below this is a speedometer-style gauge with a needle pointing to "0,00" and a scale from 0 to 2000. A "ПУСК" (Start) button is located to the right of the gauge.
- Bottom Left (Status):** A label "Процесс" (Process) followed by the value "32767 %".
- Center:** A "Текущий файл" (Current file) field with a file icon. Below it are "Начальная позиция" (Initial position) inputs for Z (0) and X (0), with "Редактор" (Editor) and "Открыть" (Open) buttons. A "Корректировка инструментов" (Tool correction) section contains a grid of inputs for Z1 (-8,43), Z2 (-9,83), Z3 (-6,18), X1 (19,35), X2 (-8,64), X3 (-5,65), Z4 (5,35), Z5 (0,00), Z6 (0,00), X4 (-6,34), X5 (0,00), and X6 (0,00). A "На Позицию" (To Position) button is at the bottom.
- Center (Log):** A blue log window showing two entries: "12:30:10 Программа AutoLathe ВКЛ." and "12:30:18 Программа AutoLathe ВЫКЛ.".
- Center (Video):** A large black rectangular area, likely a video feed of the machine.
- Right Panel:** An "автомат" (auto) button at the top. Below it is a "Control" section with a "ПК" (PC) icon and a "ПУЛЬТ" (Remote) icon. The "Позиция энкодеров" (Encoder position) section has inputs for Z (0) and X (0). A "Установка начальной по позиции" (Set initial position) button is below. The "ПОДГОТОВКА" (Preparation) button is in a grey box. At the bottom is a large red "СТОП [Esc]" (Stop) button.

# CAE системы

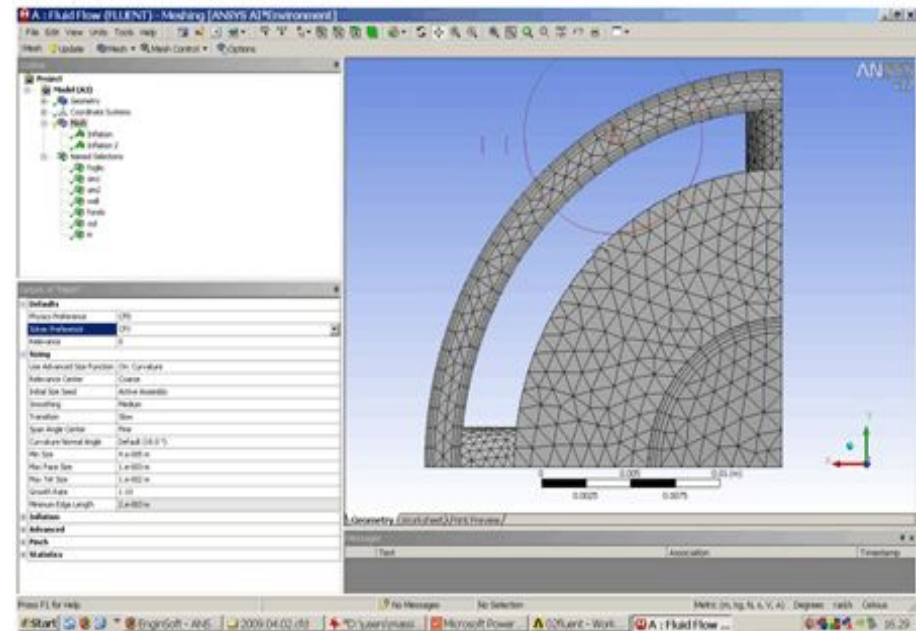


Ansys

MSC.Nastran

APM WinMachine

Adams

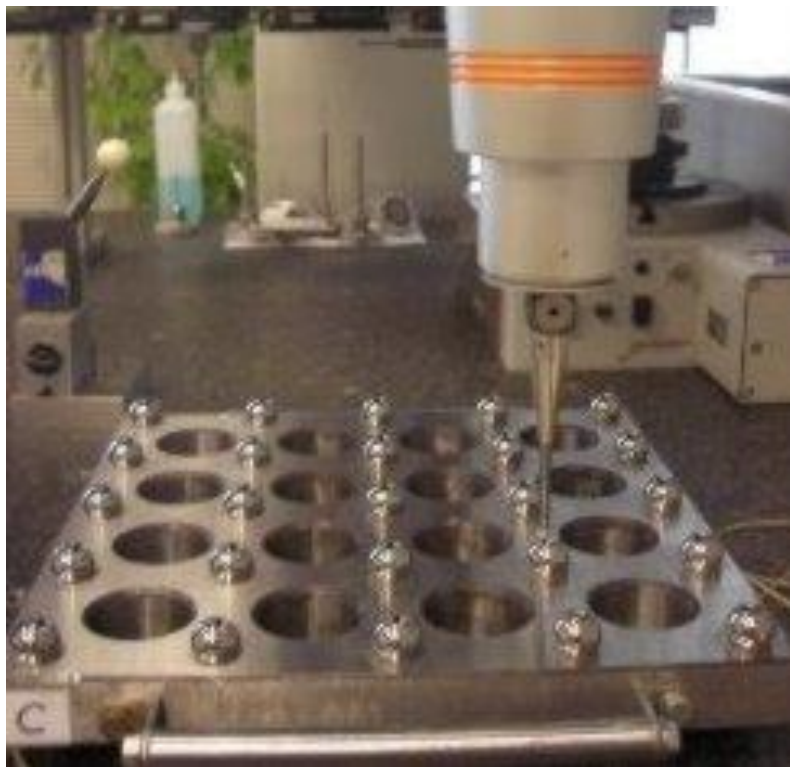


# Создание трехмерных объектов



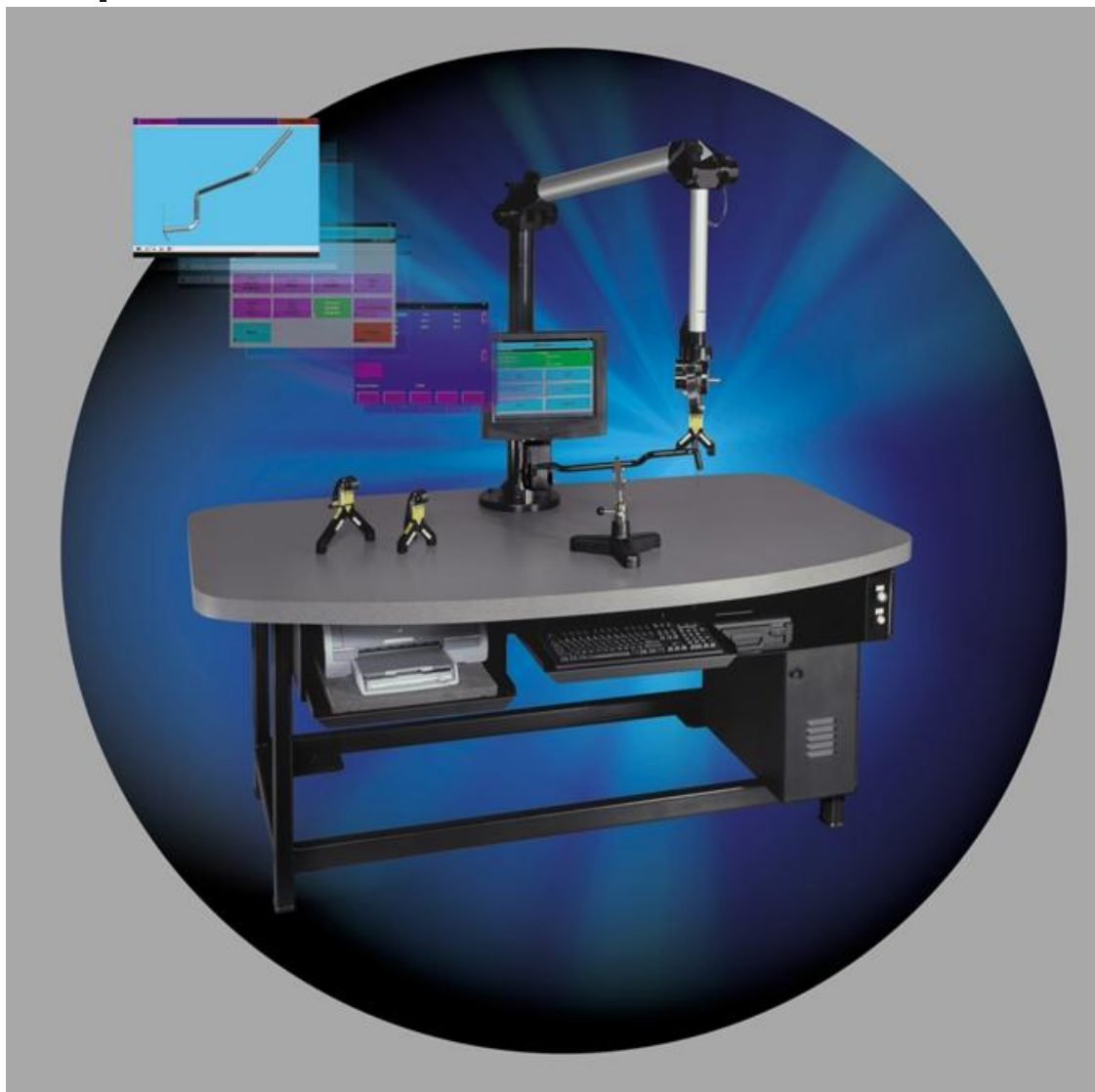
Координатно-  
измерительные  
машины контактного  
действия

# Создание трехмерных объектов



Работа контактных координатно-измерительных машин

# Создание трехмерных объектов



Бесконтактные  
(лазерные)  
координатно-  
измерительные  
машины





# Реверс-инжиниринг

---

## Реверс-инжиниринг

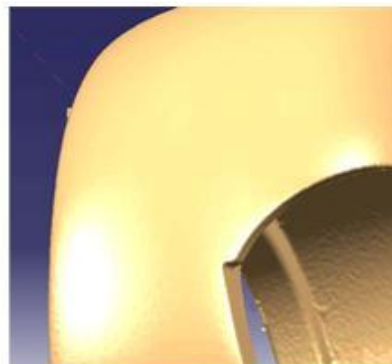
По мере развития САПР технологий реверсивный инжиниринг стал целесообразным методом создания 3D-моделей реальных физических объектов для их передачи и использования в 3D CAD, CAM, CAE и других программах.

Процесс реверс-инжиниринга включает в себя снятие размеров с объекта и создание его 3D-модели. В настоящее время наилучшим образом для решения подобной задачи служат **трехмерные сканеры** и специализированные программные средства.

На выходе со сканера пользователь получает **облако точек либо полигональную 3D-модель**, представляющую из себя множество треугольников, описывающих форму поверхности.

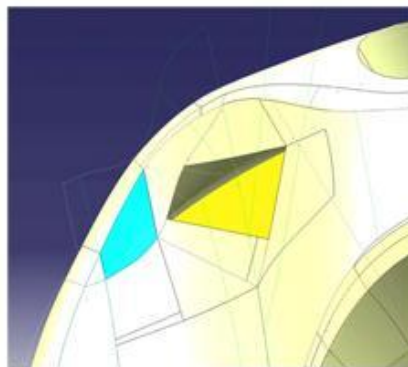
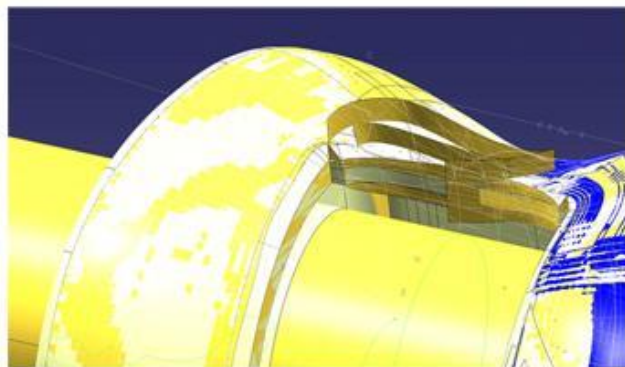
Чтобы использовать полученную модель в инженерных целях, ее необходимо преобразовать либо в поверхностную модель (NURBS), либо в параметрическую CAD-модель в зависимости от требований с использованием специального программного обеспечения.

# Реверс-инжиниринг



Сканирование образца протеза с помощью 3D-сканера smartSCAN<sup>3D</sup>-HE (2 детали)

Полигональная модель  
Получена после сканирования образца протеза коленного сустава



Моделирование

В программе для поверхностного и твердотельного моделирования на основе геометрии STL-модели была построена сначала поверхностная, а потом твердотельная модель

Верификация

Проверка точности построения твердотельной модели (сравнение с исходной полигональной моделью), проверка соблюдения условия непрерывности тангенсальности для поверхности двойной кривизны



# Создание трехмерных объектов

**Дигитайзеры** являются инструментом оцифровки трехмерных объектов. Существует несколько типов дигитайзеров, и каждый из них имеет свои преимущества и недостатки:

Ультразвуковые сканеры

Электромагнитные сканеры

Лазерные сканеры

Механические сканеры



# Создание трехмерных объектов

3D сканер ZScanner 700 PX



Сканер ZScanner 700 PX подключается к компьютеру через интерфейс FireWire. В начале работы на объект наносят **светоотражающие метки**. Далее производят калибровку сканера с помощью калибровочного поля, которое идет в комплекте. Линии, проецируемые лазерными лучами на объекте, считываются камерами, и данные посылаются **в режиме реального времени** для обработки в компьютер. Возможно наблюдать весь процесс сканирования благодаря программному обеспечению ZScan.



ZScan создает **файл формата SLT** и преобразует входные данные в полигональную сетку, генерируя поверхность сканируемого объекта в режиме реального времени. При этом можно остановить процесс сканирования и продолжить в любое удобное время.

# 3D - сканеры

## 3D СКАНЕРЫ -

высокотехнологичное устройство, предназначенное для оцифровки трехмерных твердых объектов и последующего вывода его в специализированные программы для редактирования и обработки на PC, а также для моделирования и обработки 3D объектов с помощью гравировально-фрезерных станков.

3D сканеры делятся на два типа: **бесконтактные** и **сенсорные**. Отличие состоит в типе сканирующей головки.



# 3D - сканеры

В тех случаях, когда необходимо создать «компьютерный» образ изделия, выполненного руками человека, или для восстановления детали, на которую утеряна техническая документация, или, когда нужно сделать масштабную копию имеющегося изделия и во многих других случаях лазерный сканер – идеальное решение и исключительный помощник в решении самых сложных задач. Процесс сканирования завершается получением «облака точек», которое затем преобразуется в различные CAD-форматы (iges, stl и др.) в зависимости от поставленной задачи. По полученным CAD-данным методами быстрого прототипирования может быть изготовлена копия изделия.



Сканер "рука" FARO



Стационарный сканер Optimet

# 3D – сканеры

Технология сенсорного  
3D сканирования R.A.P.S.

Область сканирования:

**PIX-4:** 152.4 x 101.6 x  
60.5 мм

Шаг сканирования: от  
0.05 мм

Программное  
обеспечение,  
поставляемое в  
комплекте,  
предоставляет  
расширенные  
функциональные  
возможности



# Комбинированные устройства

**MDX-20/15** (фирма Roland) - устройства, совмещающие в себе 3D сканер и фрезерную машину для изготовления литьевых форм, быстрого прототипирования, мелкосерийного производства и дизайна портативных изделий. При установленной сканирующей головке эта машина способна оцифровывать трехмерные объекты, создавая их точные компьютерные модели.

После смены сканирующей головки на фрезерную **MDX-20/15** превращается в полноценную трехкоординатную фрезерную машину.

Разрешение сканирования: 0.05 мм

Мощная CNC-фрезеровка легких металлов, включая алюминий и латунь

Рабочая зона: 203.2 мм x 152.4 мм x 60.5 мм



# Сканирующие головки



Сканирующая головка расширяет возможности фрезерной машины **MDX-40**, позволяя использовать станки как полноценный контактный 3D сканер, и выполнять оцифровку трехмерных объектов. Сканирующая головка оснащена новейшим сенсором "Roland Active Piezo Sensor (R.A.P.S.)" (Roland активный пьезо сенсор). ZSC-1 может сканировать и различать объекты даже толщиной в человеческий волос, передавая наиболее подробные изменения формы. Благодаря USB соединению и новому программному обеспечению Dr.PICZA3, работать со сканирующей головкой также просто, как и с обычным контактным сканером. А установка самой головки на станок занимает не больше минуты.

# Создание прототипов изделий

MDX-40R является инструментом для создания прототипов, мастер-моделей и готовых изделий из пластика, воска, дерева и т.д. А при работе без поворотной оси позволяет выполнять гравировку штампов, клише, небольших литьевых и пресс-форм на таких цветных металлах, как латунь, магний, алюминий, медь и т.д. Благодаря USB интерфейсу, автоматическому определению нулевой точки по оси Z и простому в использовании программному обеспечению, MDX-40R удобен для работы





# Быстрое прототипирование



Поддержка G-кодов

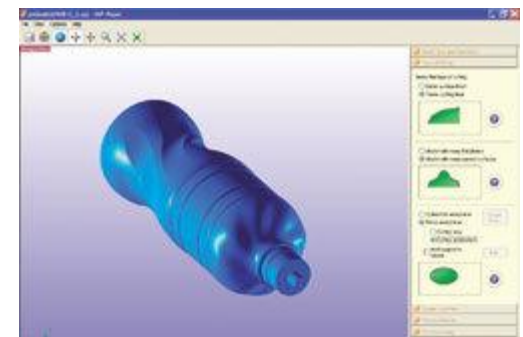
Программное разрешение 0,001мм

Механическое разрешение 0,002 мм

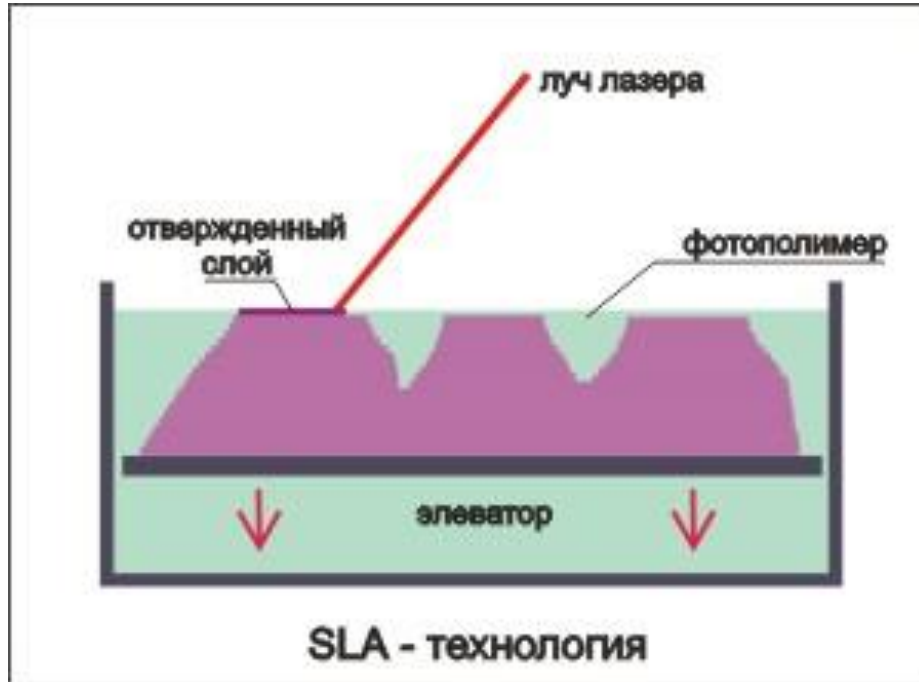
Шпиндель 15.000 об/мин с повышенным крутящим моментом и уменьшенной вибрацией

Автоматическое определение начальных точек

Программное обеспечение для трех и четырехосевой обработки в комплекте



# SLA: Стереолитография



Стереолитография является самым первым и наиболее распространенным методом прототипирования, во многом благодаря достаточно низкой стоимости прототипа. Принцип метода состоит в **последовательном отверждении жидкого фотополимера лазерным лучом**, направляемым сканирующей системой. Элеватор находится в емкости с жидкой фотополимерной композицией, и после отверждения очередного слоя смещается вниз с шагом 0,025-0,3 мм. Используется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал, подверженный короблению под влиянием атмосферной влаги. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается. Качество поверхностей без доводки хорошее.

Производители оборудования:

- 3D Systems [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)
- F&S Stereolithographietechnik GmbH [www.fockeleundschwarze.de](http://www.fockeleundschwarze.de)
- Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН [www.laser.ru](http://www.laser.ru)

# SLA: Стереолитография



SLA-машина Viper  
фирмы 3D Systems

## SLA- Stereo Lithography Apparatus, стереолитография

Технология подразумевает использование в качестве модельного материала специального фотополимера – светочувствительной смолы. Основой в данном процессе является **ультрафиолетовый лазер**, который последовательно переводит поперечные сечения модели на поверхность емкости со светочувствительной смолой. Фотополимер затвердевает только в том месте, где прошел лазерный луч.

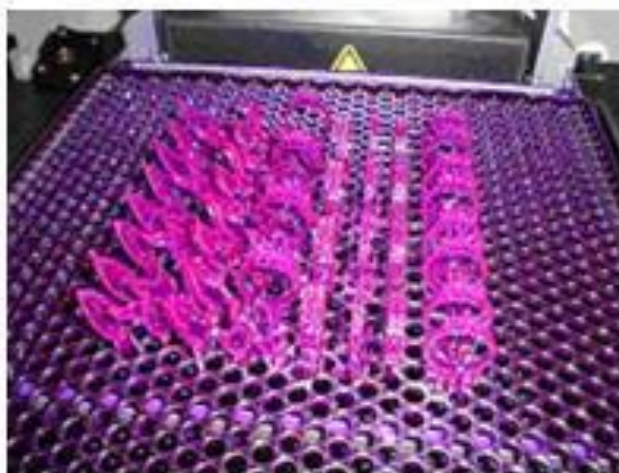
# Стереолитография



Quick-cast-модель  
головки цилиндров

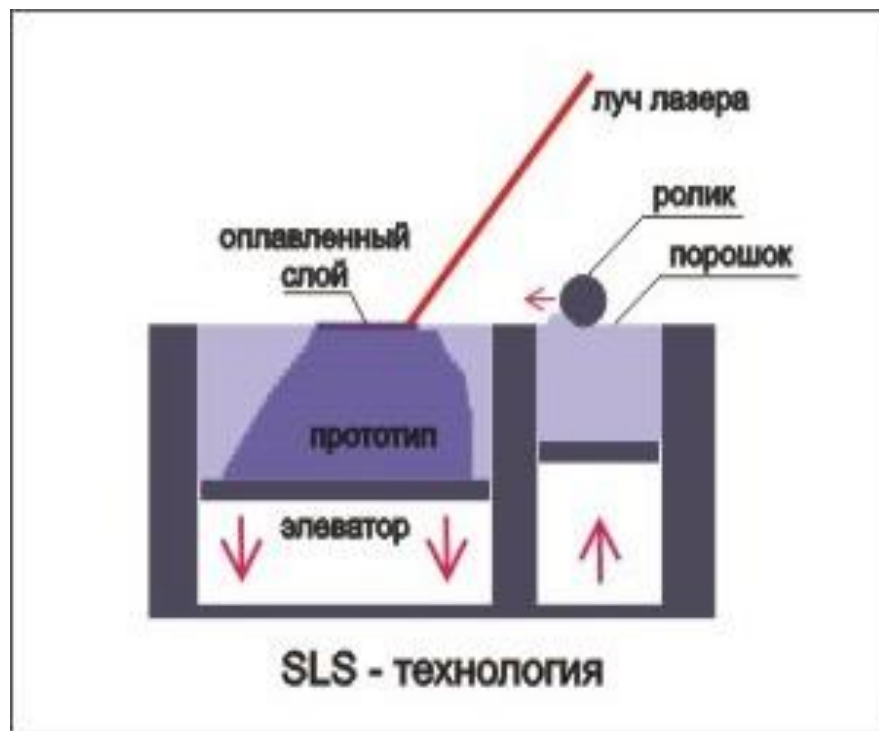


Масштабное моделирование и макетирование



Ювелирные мастер-модели

# SLS: Селективное лазерное спекание



В SLS технологии в качестве рабочего материала используются порошковый пластик, металл или керамика, близкие по свойствам к конструкционным маркам. На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали. **SLS это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлических деталей и формообразующих для пластмассового и металлического литья.** Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных изделий.

Производители оборудования:  
3D Systems [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)  
F&S Stereolithographie GmbH  
[www.fockeleundschwarze.de](http://www.fockeleundschwarze.de)  
The ExOne Company / Prometal  
[www.prometal.com](http://www.prometal.com)  
EOS GmbH [www.eos-gmbh.de](http://www.eos-gmbh.de)

# SLS: Селективное лазерное спекание



SLS-машина Vanguard  
фирмы 3D Systems

Согласно этому процессу модели создаются из порошковых материалов за счет эффекта спекания при помощи энергии лазерного луча. В данном случае, в отличие от **SLA**-процесса, лазерный луч является не источником света, а источником тепла. В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и порошки некоторых металлов. Существенным преимуществом **SLS**-процесса является отсутствие так называемых поддержек при построении модели. В процессах **SLA** и **MJM** при построении нависающих элементов детали используются специальные поддержки, предохраняющие свежестроенные тонкие слои модели от обрушения. В **SLS**-процессе в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведется в однородной массе порошка. После построения модель извлекается из массива порошка и очищается.



Модели из полистирола предназначены для получения отливок методом "выжигаемых моделей".

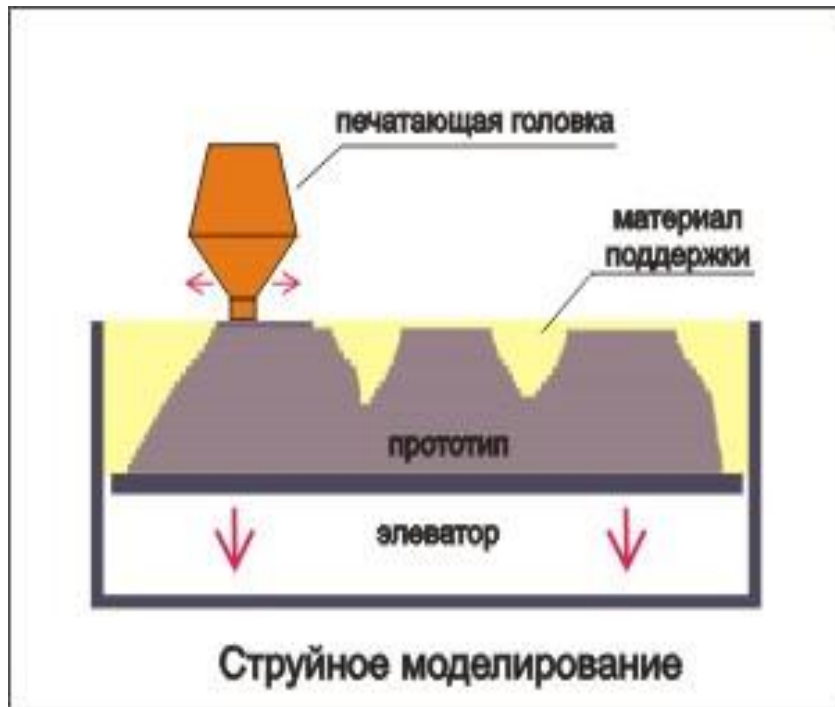
# Селективное лазерное спекание

Наиболее популярным модельным материалом является порошковый полиамид. Он применяется для создания макетов, масштабных копий, функциональных моделей, т. е. моделей способных выполнить свою функцию, как деталь машины или устройства, например, детали облицовки салона автомобиля или декоративные элементы кузова. В некоторых случаях полиамид пригоден для исследовательских работ по определению конфигурации какой-нибудь ненагруженной детали, например, впускного трубопровода автомобильного двигателя. Этот материал также удобен для **изготовления моделей с целью проверки собираемости сложного узла** или для проведения испытаний изделия. Например, модель детали самолета или головка цилиндров ДВС, изготовленные из полиамида, могут быть использованы **при проведении газодинамических исследований методами продувки**.



Прототипы построенные по SLS-технологии.

# Струйное моделирование



Различные запатентованные разновидности этой технологии называются:

MJM (Multi-Jet Modeling) - 3D Systems;

PolyJet (photopolymer jetting) - Objet Geometries;

DODJet (Drop-On-Demand-Jet) - Solidscape.

Все технологии имеют свои особенности, но функционируют по одному принципу. Головка, содержащая **от двух до 96 сопел** наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя, могут проводится его фотополимеризация и механическое выравнивание. В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного - широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами - от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики.

Производители оборудования:

3D Systems [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)

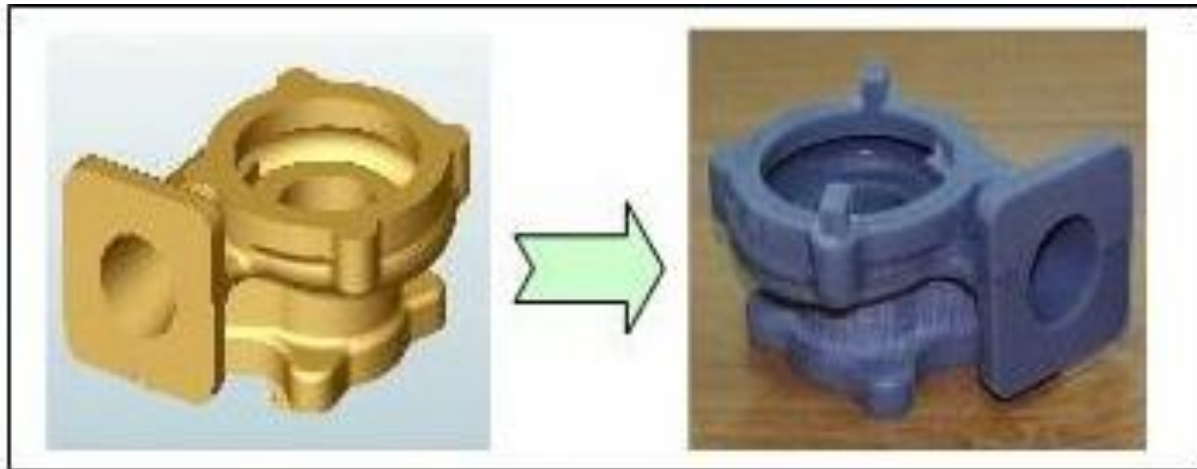
Objet Geometries Ltd. [www.2objet.com](http://www.2objet.com)

Solidscape, Inc. [www.solid-scape.com](http://www.solid-scape.com)



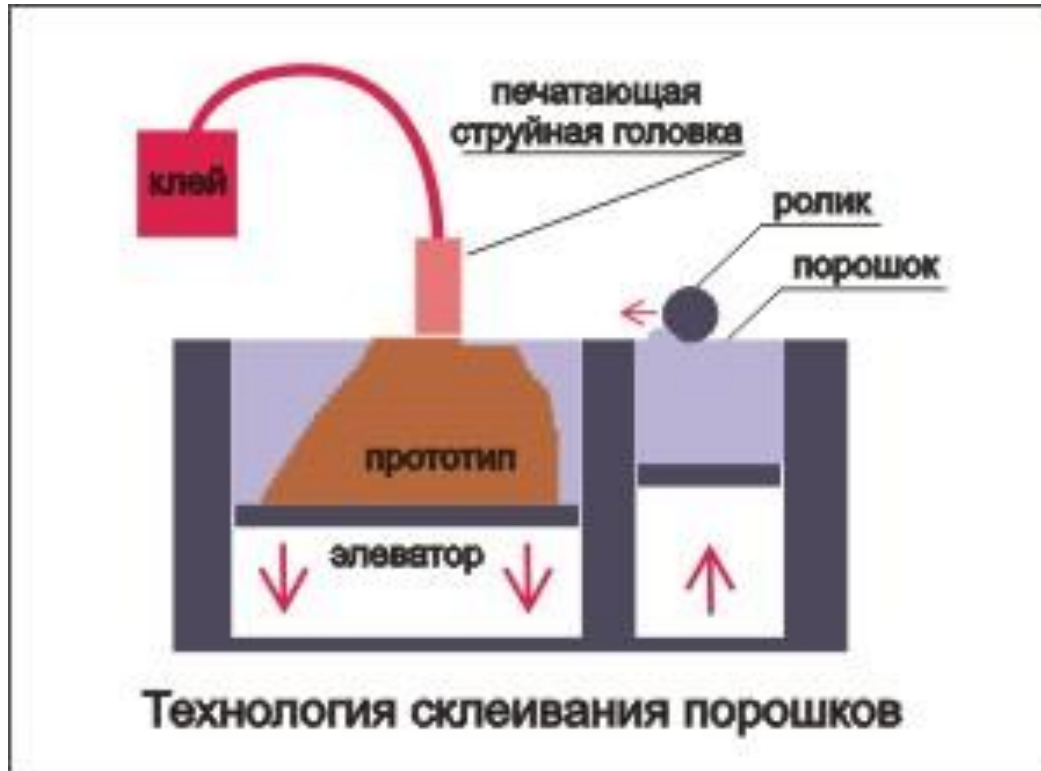
# Multi Jet Modelling

**MJM – Multi Jet Modelling, построение модели путем нанесения расплавленного материала с помощью многоструйных головок (по типу струйных принтеров) Модельный материал – литейный воск. Применяется для непосредственного выращивания восковой модели и дальнейшего получения металлической отливки методом литья в оболочковые или гипсокерамические формы. Обеспечивает возможность быстрого получения отливки из металла без изготовления литейной оснастки. Современные машины серии ProJet 3000 компании 3D Systems имеют возможность работы на двух модельных материалах – **литейном воске и акриловом фотополимере.****



**Восковой принтер ThermoJet, CAD-модель и восковая модель.**

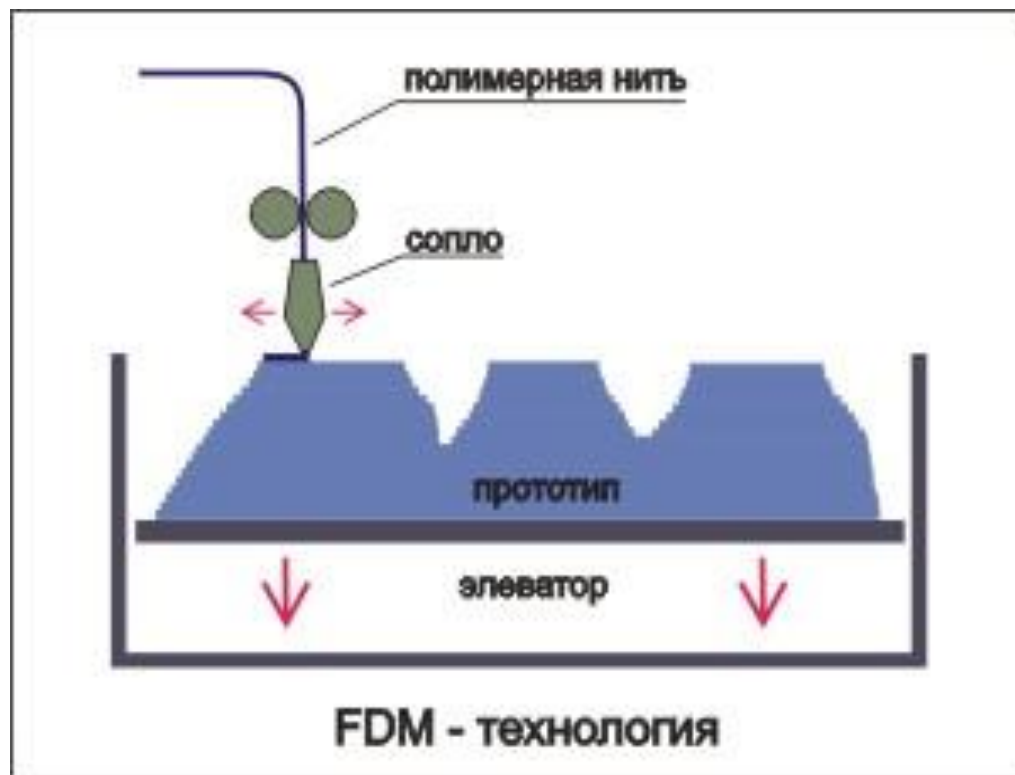
# Технология склеивания порошков (binding powder by adhesives)



Используются крахмально-целлюлозный порошок и жидкий клей на водной основе, который поступает из струйной головки и связывает частицы порошка, формируя контур модели. По окончании построения излишки порошка удаляются. Для увеличения прочности модели, имеющиеся пустоты могут быть заполнены жидким воском. Такие технологии позволяют не просто создавать 3D-объекты произвольной формы, но еще и раскрашивать их.

Производители оборудования:  
Z Corporation [www.zcorp.com](http://www.zcorp.com)

# FDM (Fused Deposition Modeling)



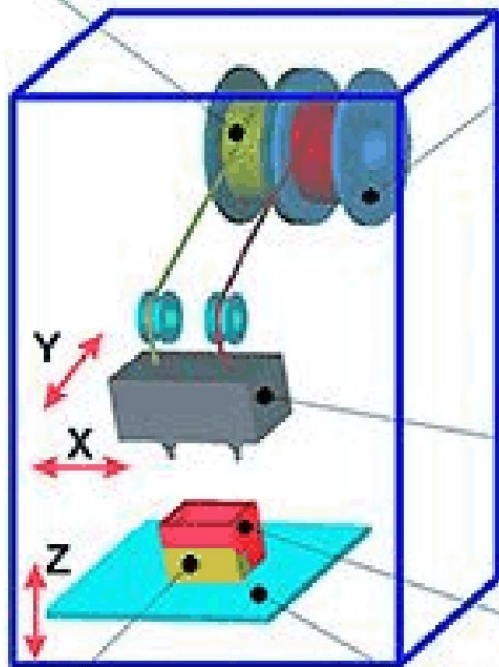
Используются **нити** из АБС, поликарбоната или воска. Свойства используемых пластиков очень близки к конструкционным маркам. Термопластичный моделирующий материал подается через выдавливающую головку с контролируемой температурой, нагреваясь там до полужидкого состояния. Головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание с высочайшей точностью. Последующие слои ложатся на предыдущие, отвердевают и соединяются друг с другом. Технология применяется для получения единичных образцов изделий, по своим функциональным возможностям приближенных к серийным, а также для производства выплавляемых моделей для литья металлов.

Производители оборудования:  
Stratasys Inc. [www.stratasys.com](http://www.stratasys.com)

# FDM (Fused Deposition Modeling)

катушка / кассета  
с материалом поддержек

катушка / кассета  
с основным материалом  
(ABS-пластик)



исходная CAD-модель  
в STL-формате

нагревающая головка с  
фильерами  
(движение по X, Y)

готовый прототип

удаляемая поддержка

основание на столе  
(движение по Z)

Принцип создания моделей-прототипов по технологии FDM (Fused Deposition Modeling) заключается в послойной укладке **расплавленной полимерной нити** в соответствии с геометрией математической модели детали, разработанной в системе CAD. Программа разбивает ее на горизонтальные сечения (слои) и рассчитывает пути перемещения головки, укладывающей нить.

# Plastic Sheet Lamination


## PSL - Plastic Sheet Lamination, построение модели путем послойного склеивания ПВХ-пленки

Компания **Solido** выпускает **3D**-принтеры, работающие по технологии **PSL - Plastic Sheet Lamination**. Такие машины иногда называются **LOM**-машинами, от **Laminated Object Manufacturing** – **послойное склеивание пленочных материалов**, например, полимерной пленки или ламинированной бумаги с последующим формированием («вырезанием») модели с помощью лазерного луча или режущего инструмента. **3D**-принтер **Solido SD 300** относится к категории **самых дешевых RP-машин**.

Формирование модели производится путем последовательного склеивания слоев пленки и вырезания контура модели с помощью лезвия, закрепленного на подвижной головке. Модель строится на специальной магнитной подложке, устанавливаемой на подвижной (вверх-вниз) платформе. Клеевой состав наносится на всю поверхность слоя пленки, а в те места, где после построения необходимо обеспечить легкое удаление пленки, наносится «анти-клей». Т. е. тело модели формируется за счет последовательного склеивания пленки, а «пустоты» остаются не склеенными, чтобы обеспечить легкое удаление «лишней» пленки из этих «пустот» в процессе пост-обработки.



**3D-принтер SD300pro  
фирмы Solido**



# Технология LOM (Laminated Object Manufacturing - ламинирование листовых материалов).

---

Слои прототипа создаются при помощи ламинирования бумажного листа. Контур слоя вырезается лазером, а поверхность, которую нужно затем удалить, режется лазером на мелкие квадратики. После извлечения детали мелко порезанные излишки материала легко удаляются. Структура полученного прототипа похожа на древесную, боится влаги.

Производители оборудования:  
Helisys, Inc. - выпуск прекращен



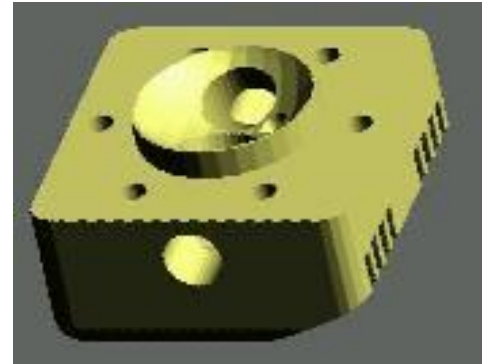
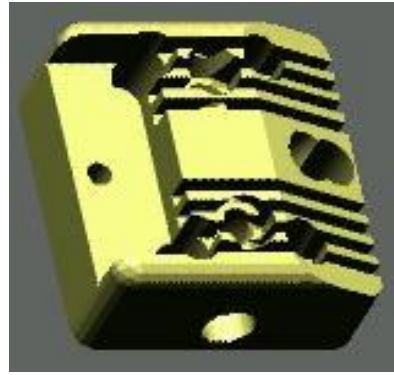
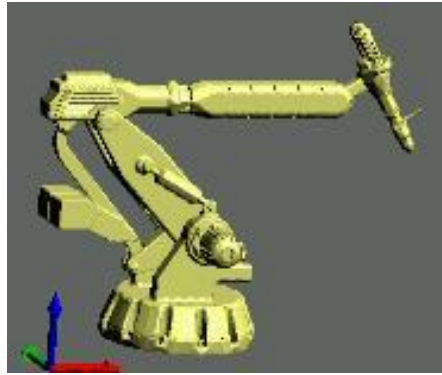
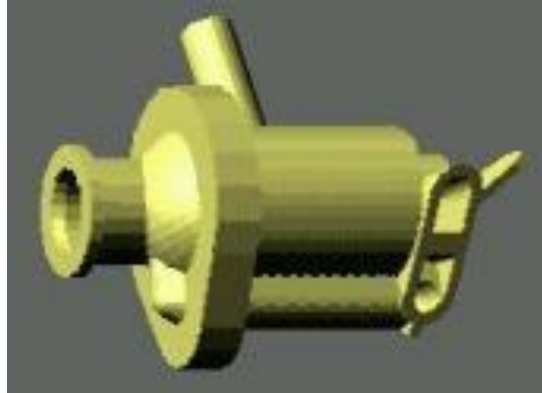
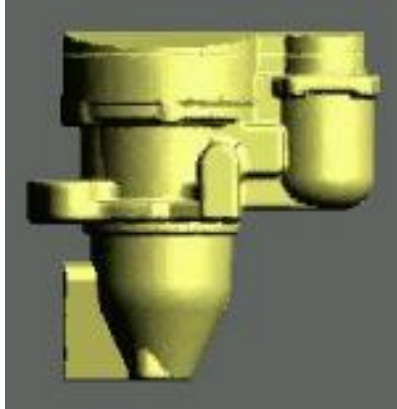
# Точность прототипирования

---

**Точность изготовления** прототипа в разных методах и на различных установках находится в диапазоне **от 0,05 до 0,2 мм** по каждой координате. **При уменьшении толщины слоя точность растет, но падает скорость изготовления, и как следствие - повышается его стоимость.**

Стоимость прототипа зависит, в первую очередь от его объема. По состоянию на 2014 год цена одного кубического сантиметра модели составляла от 0,5 до 1 долларов США, в зависимости от используемой технологии.

# 3D – модели для быстрого прототипирования







## Применение: Создание концептуальных моделей



Компьютерная модель



Пластиковая модель

# Применение: отработка дизайна и компоновки, изготовление корпусных деталей



Модель прибора ночного видения: корпусная деталь в сборе



Модель корпуса телефона



Модель корпуса светильника салона автомобиля



Модель корпуса ионизатора воздуха

## Применение:

### Изготовление оснастки для разных видов литья

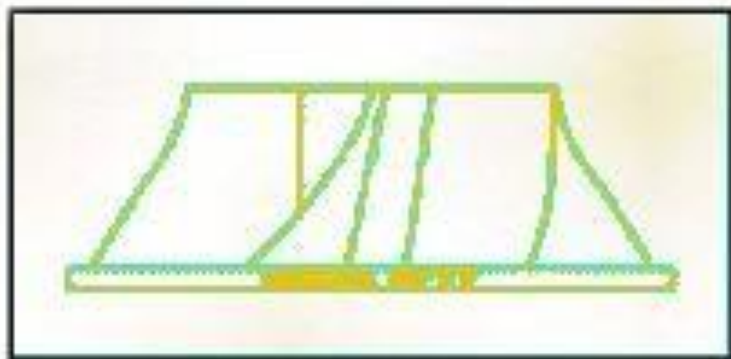
#### Точное литье по сплошным выжигаемым моделям.

Для моделей с узкими кромками ключевым свойством является малый зольный остаток



Исходная компьютерная модель

Пластиковая стереолитографическая модель



Литейная форма с пластиковой моделью

Готовая отливка

# Применение: Изготовление оснастки для разных видов литья

Точное литье по квазитонкооболочечным пластиковым выжигаемым моделям.



Диаметр - 209 мм

Толщина стенки - 0.6 мм

Минимальная толщина

пера лопатки - 0.3 мм

Квазитонкооболочечная пластиковая модель, изготовленная на ЛС-250/Э для отработки технологии изготовления оснастки путем выжигания пластиковой модели для литья жаропрочных сплавов.



Модель после окончания процесса выращивания. Видны подпорки и внутренние ребра жесткости.



Машина центробежного литья

# Применение:

## Изготовление элементов пресс-форм

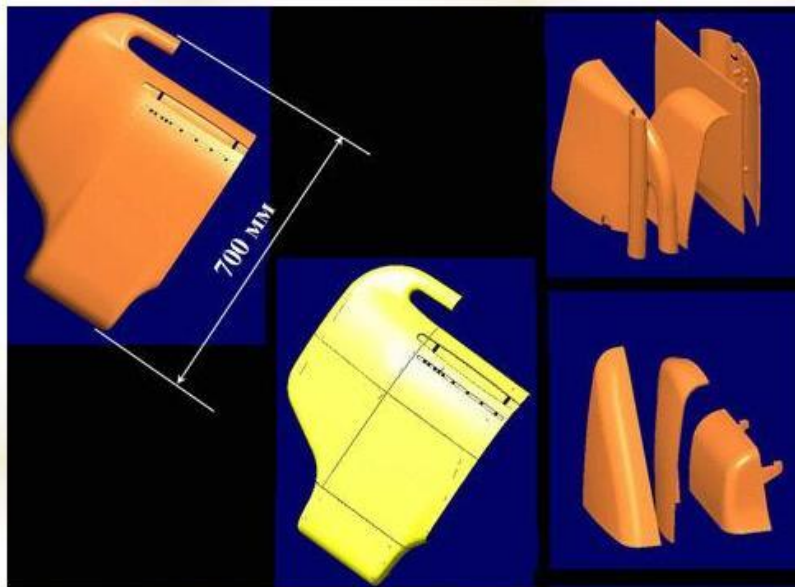


Прочность и термостойкость стереолитографических моделей достаточно для использования в качестве пресс-форм для изготовления небольших партий изделий на машинах для литья пластиков, термопласт-автоматов и т.п. в случае, если используются не слишком большие температуры и/или нагрузки

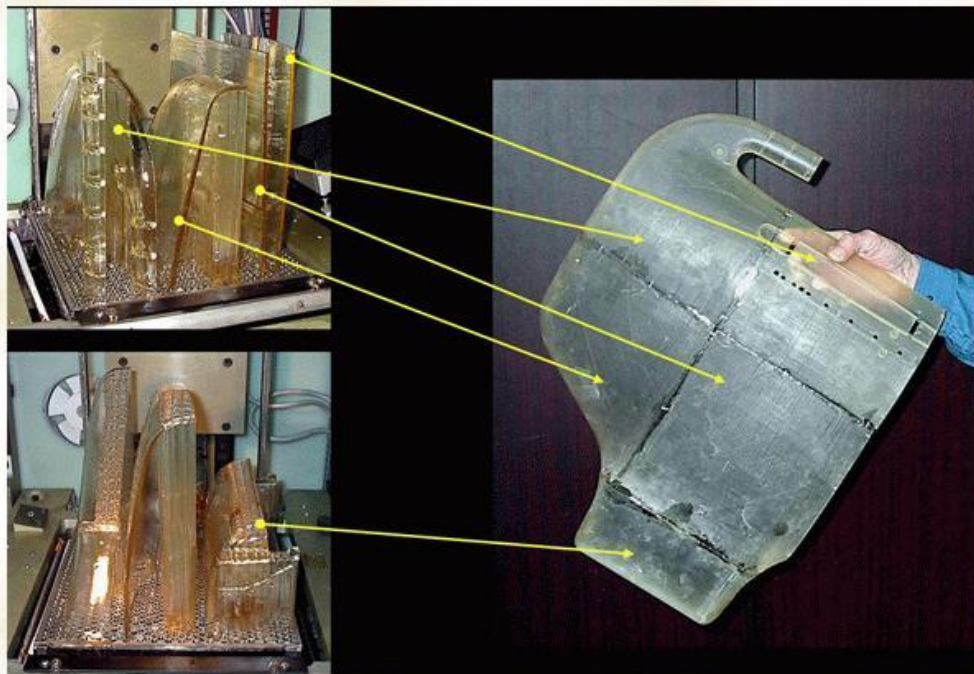


# Применение:

## Изготовление крупногабаритных корпусных изделий



Разбиение крупногабаритной детали на отдельные части



Изготовление отдельных частей и склейка готовой крупногабаритной детали