

3D-ПРИНТЕРЫ. ЧТО ВЫБРАТЬ?

(Михаил Зленко, д. т. н., Центр>Addитивных Технологий ФГУП «НАМИ»)

AF – **Additive Fabrication**, принятая в англоязычной литературе аббревиатура словосочетания, означающего изготовление изделия путем «добавления» (**additive**) материала в отличие от традиционных технологий механообработки, в основе которых лежит принцип «вычитания» («лишнего») материала из заготовки. Аддитивные технологии предполагают формирование детали путем последовательного «наращивания» материала слой за слоем. В качестве модельных материалов используются жидкие, порошковые, нитевидные полимеры, литейные воски, листовые материалы – металлопрокат, бумага, ПВХ-пленка, гипсовые композиции, плакированный литейный песок и ряд других. По традиции эти технологии еще часто называют «технологиями быстрого прототипирования» или **RP**-технологиями (от **Rapid Prototyping**), однако это – первоначальное, название очень быстро устарело, поскольку во времена зарождения **RP**-технологий никто не мог предположить, что они так быстро станут технологиями не столько для изготовления моделей и макетов, сколько для изготовления конечных продуктов – серийных в частности, к которым термин «прототип» применять не корректно. Протез коленного или тазобедренного сустава, выращенный из порошка титанового сплава и установленный пациенту, никак не назовешь прототипом – это вполне конечный продукт, так же как и пресс-форма, выращенная из инструментальной стали, не является прототипом. Особенно быстро этот процесс развивается в аэрокосмической отрасли (изготовление штучных и мало серийных деталей из специальных сплавов), в медицине, в частности, в хирургии, протезировании, стоматологии (инструменты, импланты, протезы и т. д.), в инструментальной промышленности и ряде других областей.

AF-технологии вполне справедливо называют технологиями 21-го века и, похоже, сейчас уже никого не нужно в этом убеждать – достаточно лишь взглянуть на статистику. В своем ежегодном обзоре **Terry Wohlers** – основатель одноименной консалтинго-аналитической компании, приводит следующие данные, характеризующие положение дел в области **RP**-технологий по состоянию на конец 2007 года (см. **Wohlers Report 2008**):

- за четыре года (2004-2007) рост инвестиций в **RP**-отрасли составил 116%;
- за период с 1993 по 2007 годы ежегодные продажи машин увеличились более чем в 30 раз; это связано с массовым внедрением систем твердотельного моделирования; за четыре последних года число (легальных) инсталляций **CAD**-программ удвоилось; отношение числа «рабочих мест» конструктора к числу **AF**-машин составило 83:1;
- **AF**-машины поставлены в 67 стран мира. Причем 71% парка машин сосредоточен в шести странах: США, Германия, Великобритания, Франция, Япония, Италия;
- 72% от общего числа проданных за четыре года **AF**-машин, составляют относительно недорогие **3D**-принтеры;
- в 2007 году рост продаж машин в Европе составил 34% (по сравнению с 12,4% в 2006 г.). В Германию, Францию, Италию и Великобританию поставлено более 5000 **AF**-машин (рост 23% по отношению к 2006 году).

Не только **Terry Wohlers**, но и многие другие аналитики отмечают возрастающую роль **AF**-технологий не только в моделировании и прототипировании, но и в изготовлении конечной продукции. Особая роль отводится **AF**-системам, «выращивающим» детали из металлических порошковых композиций (технологии **EOS**, **MTT**, **Concept Laser**, **Arcam**, **LENS**, и др.). Ряд исследователей доказывают экономическую и особенно экологическую эффективность применения **AF**-технологий для получения металлических изделий.

К наиболее популярным технологиям **Terry Wohlers** относит (очередность весьма условна):

- **PolyJet** (многоструйное нанесение материала и отверждение слоя УФ-лампой; типа **Objet** и **3D Systems**);
- **SLS** (лазерное спекание порошков, типа **EOS** и **3D Systems**);
- классическая лазерная стереолитография (**3D Systems**);
- **FDM** (построение модели с помощью нитевидных **ABS**-пластиков, типа **Stratasys**);

По числу проданных машин безусловным лидером последние годы является компания **Stratasys**. В 2007 году поставлено 2169 машин (рост за год 26%), причем около 2000 из них приходится на самую дешевую модель **3D**-принтера **Dimension** (цена в Европе около 23 тыс. евро). Второе место по продажам уверенно удерживает **ZCorporation**: продано 1022 машины (против 797 в 2006г.). Эти машины в силу их дешевизны нашло широкое применение в учебных заведениях, дизайнерских компаниях, архитектурных, макетных мастерских и т. д. Однако, несмотря на привлекательность по цене, эти машины из-за особенностей рабочего процесса могут решать далеко

не все задачи **AF**-технологий, они закрывают лишь определенную нишу, и значимость других технологий послойного синтеза от этого нисколько не уменьшается. **3D**-принтеры «оттянули» на себя значительное количество работ по изготовлению моделей, которые ранее вынужденно приходилось выполнять на дорогих **SLA**- и **SLS**-машинах, оставив последним решение более сложных и ответственных задач, где их применение экономически более оправдано. Тем не менее, **3D**-принтеры остаются самой популярной, продаваемой и коммерчески привлекательной для производителей категорией **AF**-машин.

Нужно сказать, что само понятие **3D**-принтер весьма условно и трудно безукоризненно точно определить, какую **AF**-машину следует отнести к категории **3D**-принтеров, а какую нет. Однозначных критериев пока не сформулировано, в классификации **AF**-машин до сих пор царит некая неопределенность. Ни по применяемой технологии, ни по используемым материалам, ни по размерам рабочей платформы, ни по названию фирмы невозможно однозначно сказать, является ли та или иная машина **3D**-принтером. Скажем, машины **ZCorp**. и **Voxeljet** работают по схожему принципу: послойное «склеивание» частичек порошковых материалов за счет связующего состава, впрыскиваемого на поверхность слоя через специальные форсунки. Однако машины **Voxeljet** стоимостью 500-800 тыс. евро не рассматривают в качестве **3D**-принтеров, а машины **ZCorp**. – да. То же и с названиями или брэндами. Нельзя сказать, что «**Objet**» – это **3D**-принтер, потому что у фирмы **Objet Geometris** есть и модель **Eden 250** – небольшая офисная машина стоимостью около 50 тыс. евро, и модель **Connex 500** – хотя тоже офисная, но стоимостью за 200 тыс. евро. **Stratasys** тоже имеет в своей линейке и машину **Dimension**, которая по крайней мере интуитивно воспринимается, как классический **3D**-принтер, так и мощную машину **FDM 900mc** стоимостью 250 тыс. евро. Некоторые авторы называют **3D**-принтерами все аддитивные машины. Некоторые выделяют отдельно стереолитографические и **SLS**-машины, подчеркивая их аристократическое происхождение в связи с наличием лазера, а всё остальные «записывают» в **3D**-принтеры. Некоторые, как и **Terry Wohlers**, не говорят прямо, но подразумевают под **3D**-принтерами машины **ZCorp**. и **Stratasys**, а также всё, что «ниже» по цене, точности построения и чистоте поверхности, чем у первых двух.

Пожалуй, единственным критерием, с помощью которого более-менее объективно определяют принадлежность машины к семейству **3D**-принтеров, является цена. Большинство пользователей подразумевают под **3D**-принтером **AF**-машину с ценой ниже 50 тыс. долларов, которую (тоже, впрочем, весьма условно) можно назвать «**Desk-top**» - настольной или «офисной», в противоположность солидным системам типа **Sinterstation** или **EOS P 700**, требующих для инсталляции специально оборудованных помещений. Но и тут не обойдется без исключений. Например, машину **ProJet 3000** фирмы **3D Systems** сами представители компании называют **3D**-принтером, хотя цена ее в Европе составляет 60-70 тыс. евро.

Оставим на будущее решение проблемы классификации. Здесь же, чтобы избежать принципиальных ошибок и недоразумений, просто перечислим машины, которые и автор, и большинство его коллег воспринимают, как **3D**-принтеры, благо их не так много:

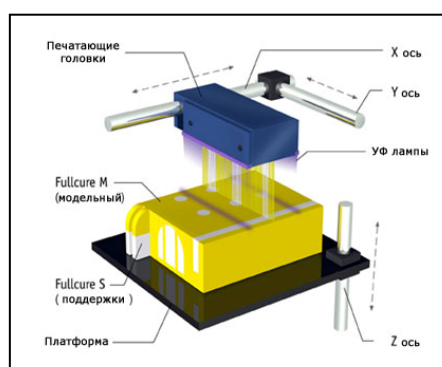
- **Objet 250, 260** и **Alaris 30** (компании **Objet Geometris**, Израиль);
- **ProJet, V-flash** (**3D-Systems**, США);
- **Perfactory Mini, Desktop** (**Envisiontec**, Германия);
- **Pollux 32** (**Sintermask**, Швеция)
- **Desktop Factory** (одноименной компании, США).
- **SD300** (**Solido**, Израиль);
- **ZCorp. 310, 450** (**ZCorporation**, США);
- **Mcor** (**Mcor Technology**, Ирландия);
- **Dimension** (**Stratasys**, США);
- **Solidscape** (одноименной компании, США)
- **DW10, 029** (**Next Factory**, Италия);

Последние два имеют ярко выраженное ювелирное применение и для общемашиностроительных целей практически не используются, поэтому здесь мы о них говорить не будем.

Ниже приведены некоторые данные по современным моделям **3D**-принтеров, которые, надеемся, помогут читателям лучше ориентироваться при рассмотрении вопроса об использовании или приобретении этой техники для своих производственных нужд. Оговоримся сразу же, что это скорее справочная информация, и ее следует воспринимать лишь как вспомогательную. По ряду моделей читатели смогут найти более полную техническую информацию на сайтах соответствующих компаний. То же касается и цен. Здесь указаны ориентировочные цены **EXW** («франко-завод»), которые получены из официальных прайс-листов, в контактах с дилерами, представителями фирм-изготовителей на выставках и в частных встречах и переписке. В отдельных случаях указаны

ориентировочные цены **DDP** ("доставлено, пошлина оплачена"). Эти сведения могут являться лишь неким ориентиром, поскольку в каждом конкретном случае вопрос цены, как и вопрос с ценой, например, на автомобиль, решается индивидуально и зависит от многих факторов, включая комплектацию машины, страну поставки, объем гарантийных и посл-гартийных обязательств, количество расходных материалов, наличие вспомогательного оборудования и т. д. В подборке материалов для данной статьи использовались также данные, выложенные на сайтах отечественных и зарубежных компаний, работающих в области **AF**-технологий.

Компания **Objet Geometries** (www.2objet.com) использует технологию **PolyJet** – нанесение слоев фотополимера струйной головкой и последующее отверждение каждого слоя за счет ультрафиолетового (УФ) излучения. Формирование слоя производится путем впрыскивания жидкого модельного материала через многосопловую головку, перемещающуюся вдоль модели. Отверждение слоя производится сразу же после его формирования с помощью УФ-лампы, установленной на той же головке. Т. е. производится засветка полосы только что сформированного слоя, в отличие от стереолитографии, где происходит «точечная» засветка - движущимся пятном (точкой) лазерного луча. Данная технология предполагает использование двух видов материала – основного и



поддерживающего, для формирования так называемых **supports** – поддерживающих структур, которые удаляются после построения модели. В машинах серии **Eden** используются специально разработанные модельные фотополимеры – акрилатные смолы, включая резиноподобные, а также легко удаляемый материал поддержек. Последний смывается в процессе пост-обработки модели струей воды. Предлагается широкая гамма модельных материалов с различными свойствами – жесткие, эластичные, полупрозрачные, непрозрачные цветные, а также материалы, пригодные для использования в медицинских целях. Машины **Eden** обеспечивают хорошую точность – $\pm 0,1...0,3$ мм на длине зоны построения, достаточно тонкий слой – 0,016 мм, при весьма широких возможностях модельных материалов, и в этом смысле их можно считать универсальными: они с успехом могут решать задачи и дизайнерские, и функционального моделирования; и в общем машиностроении, и в ювелирной промышленности, и в медицине.

Основные характеристики машин **Objet**

	Размер рабочей зоны, мм	Шаг построения, мм	Габаритные размеры, мм	Вес кг	Цена, EXW, €	Цена, DDP, €
Alaris 30	300x200x150	0,028	825x620x590	83	35...37 000	50...55 000
Eden 250	250x250x200	0,016	870x735x1200	280	50...60 000	90...95 000
Eden 350V	350x350x200	0,016	1320x990x1200	410	90...110 000	186...190 000
Eden500V	500x400x200	0,016	1320x990x1200	410	140...150 000	230...235 000
Connex500	500x400x200	0,016-0,03	1420x1120x1130	500	200...220 000	340...345 000

Модели хорошо обрабатываются, могут быть использованы и как мастер-модели для изготовления



силиконовых форм, и в ряде случаев как выжигаемые модели для получения металлических отливок. Машины могут строить модели с толщиной стенки от 0,6 мм. Одна из последних машин **Connex500** позволяет строить двухцветные модели и на выставке **Euromold 2007** получила **Grand Prix**. С 2009 года начинается



выпуск новой машины **Alaris30** с зоной построения моделей 300x200x150 мм. Точность построения 0,1-0,2 мм (в зависимости от ориентации и размеров модели), толщина слоя построения 0,028 мм, разрешение 600x600x900 точек на дюйм. Стоимость **Alaris30** в США около 40 тыс. \$, в Европе около 37 тыс. €, в России по предварительным оценкам около 50-55 тыс. €. Следует также иметь в виду относительно высокую (в России) цену

расходных материалов – более 350 евро/кг. Тем не менее, фирма **Objet** является одной из наиболее

успешных и динамично развивающихся на мировом рынке RP-технологий. В Европу поставлено более 600 машин. В российском парке RP-машин принтеры **Objet** также занимают одно из ведущих мест. Официальными дистрибьюторами машин **Objet** в России являются ООО "Инженерная фирма АБ Универсал" (www.objet.ru) и компания «Джетком» (www.2objet.ru). Налажены сервис, обучение, поставка запчастей и расходных материалов.

В машинах серии ProJet 3000 (индексы SD, DP и HD) фирмы 3D Systems (www.3dsystems.com) для полимеризации слоя также используется засветка ультрафиолетовой лампой. При построении модели слой формируется за счет впрыскивания жидкого фотополимера через многоструйную головку. Так же, как и в машинах **Objet**, для построения нависающих частей модели используются поддерживающие структуры, которые после построения модели удаляются посредством струи горячей воды. **ProJet 3000 HD (High Definition)** и **ProJet 3000 DP (Dental Professional)** отличается от базовой версии **ProJet SD 3000** (разрешение 328x328x606 точек на дюйм, **dpi**) возможностью работы на уменьшенной зоне построения модели, но с повышенным до 656x656x800 **dpi** разрешением, и предназначены для использования в ювелирной промышленности, а также для изготовления слуховых аппаратов и зубных протезов и т. д.



Модель **ProJet DP 3000** поставляется в комплекте с высокоточным лазерным сканером для оцифровки стоматологических моделей. Модельным материалом для этих машин является акриловый фотополимер, материалом поддержек – воск.

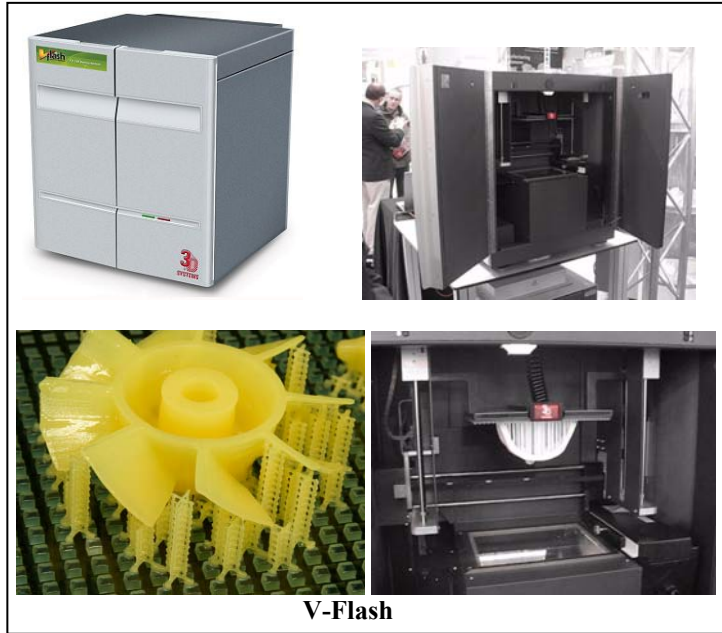
Основные характеристики машин серии ProJet

	Размер рабочей зоны, мм	Точность построения, мм (на длине 1")	Габаритные размеры, мм	Вес, кг	Цена EXW, €	Цена DDP, €
ProJet SD 3000	298x185x203	0,050...0,025	737x1257x1504	254	70...85 000	110...120 000
ProJet HD 3000	298x185x203 127x178x152	0,050...0,025	737x1257x1504	254	85-89 000	120...130 000
ProJet DP 3000	298x185x203 127x178x152	0,050...0,025	737x1257x1504	254	90-94 000	135...140 000
ProJet CPX 3000	298x185x203 127x178x152	0,050...0,025	737x1257x1504	254	70-75 000	110...115 000
ProJet CP 3000	298x185x203	0,050...0,025	737x1257x1504	254	70-75 000	110...115 000
ProJet 5000	300x400x500	0,050...0,025	-	-	-	-

Модификации **ProJet CP 3000** и **ProJet CPX 3000** специально разработаны для выращивания восковых моделей для точного литья металлов в гипсо-керамические и оболочковые формы. Используется специальный модельный восковой материал **VisiJet® CPX200** и (также восковой водорастворимый) материал поддержек **VisiJet® S200**. Разрешение 328x328x700 точек на дюйм, толщина слоя построения 36 мкм, в режиме **XHD (Xtreme High Definition)** – 656x656x1600 (xyz) точек на дюйм, толщина слоя 16 мкм. Точность (в зависимости от конфигурации, ориентации и размеров модели) 0,025-0,05 мм на длине один дюйм. Со второй половины 2009 года планируется выпуск новой универсальной машины **ProJet 5000**, использующей два модельных материала – акриловый фотополимер и воск. Принтеры серии **ProJet** компании **3D Systems**, как и принтеры **Objet** являются машинами высокого уровня, они позволяют строить качественные модели широкого спектра назначения и пользуются особой популярностью там, где необходимо получить не только прототип, но и изготовить небольшую партию полиуретановых (в силиконовые формы) или металлических (по выплавляемым или выжигаемым моделям) отливок.

С июня 2009 года компания **3D Systems** начинает коммерческую реализацию на американском рынке одной из самых дешевых RP-машин – 3D-принтера **V-Flash**. Объявленная стоимость принтера в США 9900\$. Позиционируется даже не как «офисный», а как «домашний» принтер, таким образом

подчеркивается демократичный характер группы пользователей – «от инженера до домохозяйки», от

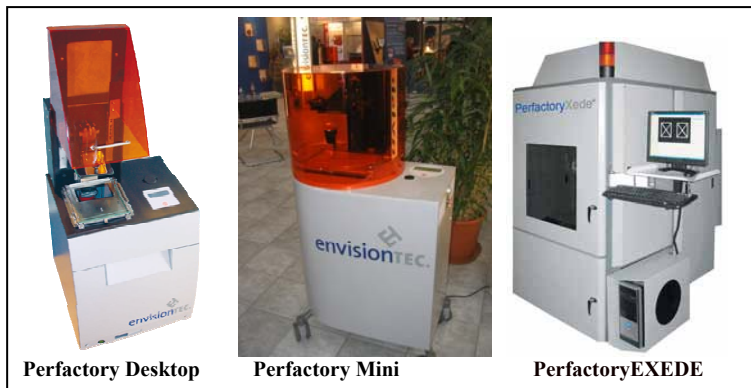


V-Flash

профессионалов до хоббистов. Модельным материалом является жидкий акриловый фотополимер. Модель строится «вверх ногами»: тонкий слой материала наносится на специальную прозрачную пластину, сверху к ней до касания в фотополимер опускается платформа, происходит засветка слоя за счет облучения УФ-лампой, платформа с засвеченным и полимеризованным слоем поднимается вверх, на пластину наносится новый слой материала, платформа снова опускается вниз до касания со слоем фотополимера, происходит засветка следующего слоя и т. д. Размеры зоны построения модели 228x171x203 мм. Толщина слоя 0,1 мм. Минимальная толщина стенки модели 0,64 мм. Скорость построения модели – до 13 мм в час по высоте. Габаритные размеры 660x690x790мм, вес 66 кг. По сравнению с

принтерами **ProJet** и **Eden**, модели, безусловно, менее качественны, с более выращенными ступеньками, но они вполне пригодны для решения широкого круга дизайнерских, учебных и иных задач. Принтер **V-Flash** был достаточно агрессивно разрекламирован на выставках и Интернете, получены сотни заявок на приобретение, но проблемы с доводкой конструкции машины заставили отложить коммерциализацию данного проекта почти на два года. Официально объявлено о начале продаж в 2009 году лишь в США. Сроки поставки принтера в Европу и Россию пока не определены.

Фирму **Envisiontec** (Германия, www.ensoniontec.de) можно отнести к новичкам на **RP**-рынке, свои первые машины семейства **Perfactory** она выпустила на рынок в 2003 году. В 2004 году продано 137 машин, в 2007 -300, прогноз на 2008 год – около 400 инсталляций. В этих машинах также применяется акриловый фотополимер и специальная технология **DLP - Digital Light Proccession**. Суть процесса в использовании «маски» каждого текущего сечения модели, проецируемой на рабочую платформу через специальную систему зеркал очень малого размера с помощью прожектора с высокой яркостью света. Формирование и засветка видимым светом каждого слоя происходит относительно быстро – 3...5 секунд. Этим объясняется весьма высокая скорость построения моделей – в среднем 25 мм в час по высоте при толщине слоя построения 0,05 мм. Материал поддержек – тот же, что и основной материал. Таким образом, если в **SLA**-машинах применяется «точечный» принцип засветки, в машинах **Objet** и **ProJet** – «линейный», то в машинах **Envisiontec** – «поверхностный», т. е. осуществляется засветка всей поверхности слоя. Качество моделей весьма высокое, в целом на уровне моделей **Objet** и **ProJet**. Машины **Perfactory Desktop**, **Mini** и **Standart** в полной мере можно отнести к категории **3D**-принтеров



Perfactory Desktop

Perfactory Mini

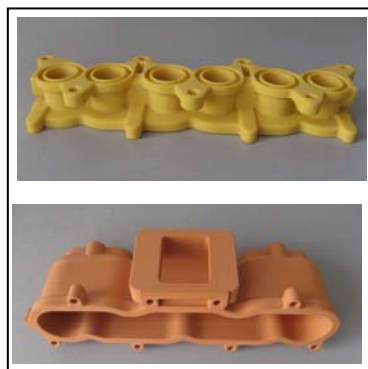
Perfactory EXEDE

офисного типа, они хорошо зарекомендовали себя для изготовления ювелирных моделей, изделий медицинского назначения, мастер-моделей для последующего литья полиуретановых и металлических деталей. В машине **Mini** используются сменные линзы с различным фокусным расстоянием и таким образом размеры зоны построения по желанию заказчика варьируют от 44x33x203 мм до 90x68x230 мм.

Машины серий **Extrim** и **XEDE** позиционируются, как **AF**-машины для промышленного производства мастер-моделей и моделей для литья металла по выжигаемым моделям, а также как высокопроизводительные машины для сервис-бюро, специализирующихся на оказании услуг в области аддитивных технологий. **Extrim** имеет один цифровой прожектор с разрешением 1400x1050 пикселей, **EXEDE** - два, а **EXEDE XL** – шесть прожекторов по 1920x1080 пикселей каждый. Эффективная рабочая зона построения и толщина слоя

построения регулируются сменой линз оптической системы. Машины строят модели с высоким качеством поверхности. Особенностью машин серий **Extrim** и **EXEDE** является то, что в отличие от других технологий, здесь используется не дискретное, пошаговое, а непрерывное движение платформы вниз с малой скоростью. Поэтому на моделях нет ярко выраженных ступенек, характерных для других способов построения. Модели требуют пост-обработки – удаления поддержек и в ряде случаев, как и стереолитография – дополимеризации. Несомненным преимуществом технологии **Envisiontec** является высокая скорость построения моделей и, следовательно, производительность **RP**-машины.

Широкий выбор материалов для мастер-моделей, выжигаемых моделей, моделей для вакуум-



формовки (выдерживающих до 150°C), концептуального моделирования делает эти машины особенно привлекательной в тех случаях, когда требуется изготавливать большое количество и большую номенклатуру моделей в широком спектре назначения. Время (с учетом подготовительно-заключительных операций) построения деталей, приведенных на рисунке – впускной трубы высотой 32 мм и ресивера высотой 100 мм составляет 1,5 и 5 часов соответственно. Тогда как на сопоставимой по размерам **SLA**-машине **Viper** (стереолитографическая машина фирмы **3D Systems** - прим. авт.) такие модели строились бы не менее 5,5-ти и 16-ти часов. К преимуществам технологии следует отнести наличие различных видов модельных материалов, «заточенных» под различные цели прототипирования.

Основные характеристики машин **Envisiontec** семейства **Perfactory**

	Размеры зоны построения, мм	Толщина слоя построения, мм	Габаритные Размеры, мм	Вес, кг	Цена, EXW €	Цена, DDP €
Desktop	30x40x100	0,03...0,04	450x450x780	25	30...55 000	40...42 000
Mini	44x33x230 59x44x230 84x63x230 73x54x230 90x68x230	0,015...0,05	480x730x1350	70	65-70 000	80..85 000
Standart Zoom	120x90x230 190x142x230	0,025...0,150	480x730x1350	70	70...75 000	-
Perfactory Standart UV	100x75x230 140x105x230 175x131x230	0,025...0,150	480x730x1350	70	70...75 000	-
Perfactory Extrim	320x240x430	0,025...0,150	810x730x2200	480	170...190 000	250...270 000
Perfactory EXEDE	457x431x508	0,025...0,150	810x840x2200	520	240...260 000	-
Perfactory EXEDE XL	635x635x635	0,025...0,150	-	-	380...420 000	-

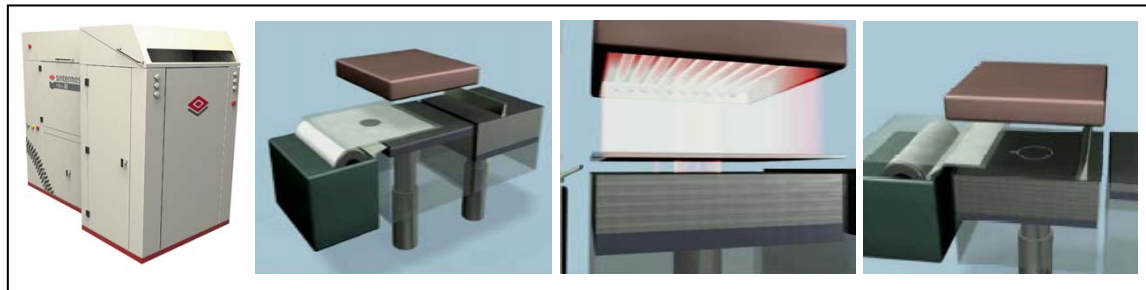
Автор имел возможность испытать модели **Envisiontec** «в деле» - были получены отливки корпуса водяного насоса, выпускного и впускного коллекторов ДВС с весьма высоким качеством, оценка - «отлично». Здесь модели использовались как выжигаемые. Как недостаток нужно отметить относительно малую живучесть акриловых фотополимерных смол – примерно 6-8 мес. За качеством смолы нужно следить и вовремя ее менять. Стоимость расходных (модельных) материалов относительно высока – в США около 250 \$/кг, в России - более 400 евро/кг (**DDP**). К «цене владения» нужно отнести также стоимость лампы прожектора, срок службы которой около 6 мес. Для моделей **Desktop** и **Mini** – это около 1200 евро. Тем не менее, эти машины за короткий срок нашли хороший сбыт в России – поставлено более 30 машин.



Машины **Extrim** и **EXEDE** являются серьезными конкурентами по отношению к стереолитографическим установкам семейства **iPro** и **Viper** компании **3D Systems** и в ряде случаев выглядят более привлекательными по показателю «цена-качество». Дистрибьюторами машин **Envisiontec** в России являются компания «Ардос» (www.ardos.com), специализирующаяся на поставках технологий и оборудования для ювелирной отрасли, и фирма «Торговый Дом «Научное Оборудование»» (www.tdno.ru), осуществляющая поставки научного и промышленного оборудования широкого спектра.

Фирма **Sintermask** (Швеция, www.sintermask.com) предлагает новую технологию **SMS (Selective Mask Sintering)** – в отличие от технологий **Objet** и **Envisiontec**, где модельным материалом является жидкий фотополимер, в принтере **Pollux 32** используется порошковый полиамид, и частички порошка в каждом слое при построении модели связываются между собой за счет теплового воздействия инфракрасного излучения. Суть процесса в следующем:

- на стеклянной пластине с помощью специального тонера печатается негативное изображение сечения детали, создается «маска»;



- маска располагается над слоем свежего порошка и засвечивается инфракрасным излучением, происходит спекание слоя;
- рабочая платформа опускается на величину шага построения - 50-120 мкм, на рабочую платформу наносится новый слой модельного материала;
- процесс повторяется до полного построения модели.

На формирование одного слоя затрачивается 10-20 с, скорость построения модели 20-35 мм/ч, разрешение по оси **Z** 50-120 мкм. Размеры зоны построения модели 210x300x500 мм, габаритные размеры машины 1250x2100x1700 мм. Базовая цена 170 тыс. €. Однако перспективы коммерческой реализации этой технологии в Европе и России не определены.

Компания **Desktop Factory Inc.** (США, www.desktopfactory.com), как новый игрок, в 2009 году выходит на рынок дешевых моделлеров со своим порошковым принтером стоимостью 5-7 тыс.



долларов. Для полимеризации композитного пластикового порошка (нейлон с алюминиевым наполнителем) используется галогенная лампа. Размер зоны построения 127x127x127 мм. Толщина слоя построения 0,254 мм. Размер самой машины 635x508x508 мм, вес - около 40 кг. Стоимость расходного материала – 1\$/куб. дюйм

(примерно 60-65\$/кг). Принтер предназначен для широкого круга потребителей, в частности, для учебных заведений, дизайнеров и просто творческих людей, которым необходимо быстро и дешево изготовить презентационную модель. Принцип построения модели оригинальный. Каждый слой «печется», как блинчик. И затем эти «блинчики» укладываются друг на друга, формируя модель. Конечно, модели от принтера **Desktop Factory** по качеству и чистоте поверхности не могут идти ни в какое сравнение с моделями, скажем, от **3D Systems** или **Stratasys**, на нем нельзя сделать модели с толщиной стенки менее 1 мм – это чисто «дизайнерский» принтер, однако во многих случаях этого качества вполне достаточно для достижения конкретной цели в маркетинге, дизайне или при обсуждении и решении технологических вопросов. В будущем году планируется «обкатка» принтера на рынке США, а с 2010 года - в Европе.

Solido (Израиль) - еще одна фирма, претендующая, и не без оснований, на свое «местом под солнцем» на рынке **AF**-технологий. **Solido** выпускает принтеры, которые еще 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 режущим инструментом. **3D**-принтер **Solido SD 300** относится к категории самых дешевых **RP**-машин. До 2007 года принтер продавался под брендом **3D Systems** (модель **Invision LD**). Модельным материалом служит полихлорвиниловая пленка толщиной 0,15 мм пяти цветов: полупрозрачный янтарный, красный, синий, кремовый, черный. Формирование модели производится путем последовательного склеивания слоев **PВХ**-пленки и

вырезания контура слоя 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 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. Анти-клей наносится с помощью специальных «карандашей» или «фломастеров» с различным диаметром стержня 1, 3 и 6 мм. В зависимости от размеров полости модели,



Принтер и модели Solido

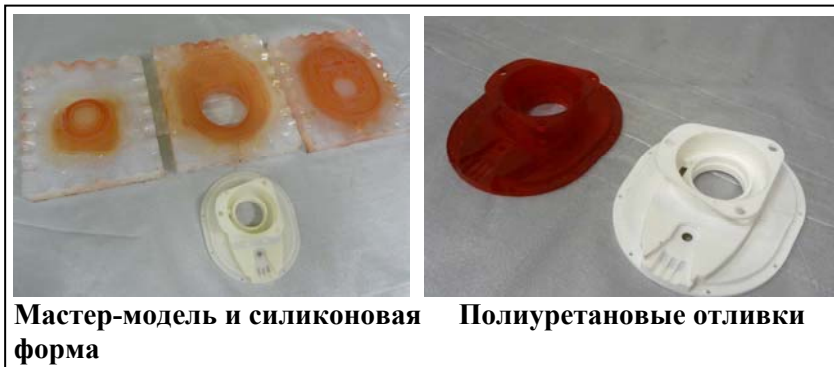


Комплект сменных картриджей

которую необходимо сформировать, используется соответствующий фломастер. Принтер укладывает пленку не на всю длину зоны построения, а лишь на столько, сколько требует длина конкретной модели. Таким образом, обеспечивается весьма

экономное расходования пленки. Картридж в виде бобины весом около 7 кг устанавливается с передней стороны принтера. Магнитная подложка подлежит замене после 5-10 циклов построения. В принтере используются два лезвия: одно для нарезания листов пленки, второе – установленное на подвижной головке, для формообразования модели и требует замены из расчета одно лезвие на 2-3 бобины модельного материала. Размеры зоны построения модели 160x210x135 мм, точность построения (XY) +/- 0,1 мм, габаритные размеры принтера 770x420x465 мм, вес около 40 кг.

Технология **Solido**, сам принцип построения модели обуславливает и определенные ограничения. Например, модели, построенные по **SLS**-технологии и имеющие внутренние полости с ограниченным доступом, могут быть построены за одно целое, поскольку порошок из этих полостей может быть извлечен с помощью инструментов и сжатого воздуха. То же и с моделями, для построения которых используется водорастворимый и легко удаляемый материал поддержек (**Objet, ProJet**). В моделях же **Solido**, извлечение пленки из полостей может представлять серьезные трудности либо быть в принципе невозможным. В таких случаях модель необходимо разрезать на несколько частей, чтобы обеспечить доступ к удаляемому материалу и затем склеивать эти части после очистки. Все это усложняет процесс и увеличивает трудозатраты на доведение модели до требуемой кондиции. К относительным недостаткам технологии **Solido** (как, впрочем, и всех разновидностей **LOM**-технологий) является высокий удельный расход материала. При построении, например, наиболее типичных для прототипирования моделей корпусных деталей в отход уходит более 50% использованной пленки. Этот недостаток отчасти компенсируется невысокой ценой модельного материала. Кроме того, оптимизация расходования материала достигается при увеличении коэффициента заполнения рабочей платформы (увеличением количества строящихся моделей), правильным взаимным расположением моделей и расчленением моделей с целью сокращения объема пустот. В связи с невысокой ценой и, что



Мастер-модель и силиконовая форма

Полиуретановые отливки

особенно важно – невысокой ценой расходных материалов, принтеры нашли применение в учебных заведениях, в макетных и архитектурных мастерских, дизайн-студиях, а также для изготовления мастер-моделей для получения полиуретановых отливок в силиконовые формы или восковых моделей для последующего литья металлов по выплавляемым моделям. В процессе тестирования

принтера автор использовал его для построения мастер-модели (крышка корпуса, см. илл.), по которой затем были сделаны полиуретановые и металлические отливки. Точность построения оказалась в пределах 0,1..0,12 мм по всем осям. Качество отливок – «отлично». С 2009 года принтер поставляется в

Россию компанией «Торговый Дом «Научное оборудование» (www.tdno.ru), базовая цена (DDP) 29-30 000 €.

ZCorporation (США, www.zcorp.com) - один из мировых лидеров продаж **3D**-принтеров, 777 проданных машин в 2006 г, 1022 шт. в 2007 г. (687 шт. в 2005 г.). План 2008 года – около 1,5 тыс. штук. Популярность продаж в Европе и США объясняется невысокой ценой принтеров – от 20 000\$ и расходных материалов 30-50\$/ кг. Принцип действия машин **ZCorp** – послойное «склеивание» частиц порошкообразных материалов с помощью связующего состава, подаваемого через струйную головку. Эта технология разработана в Массачусетском университете и иногда называется «MIT» – **Massachusetts Institute of Technology**. «Фишкой» машин **ZCorp** является возможность цветной «печати». Большое количество принтеров закупается в учебных целях. Цветные модели нужны не



только для дизайнерских задач. Они активно используются также в НИОКР, связанных с конечно-элементными расчетами. Фирма предлагает различные модельные материалы для разных целей

прототипирования. Это и специальные композиты на основе гипса, целлюлозы, и резиноподобный материал, и специальный гипсо-керамический порошок для изготовления литейных форм и стержней для цветного литья (температура заливки металла не выше 1150°C). Загрузка материала и обслуживание принтеров достаточно просты. Наиболее популярным, кроме концептуального моделирования, является литейное направление – т. е. быстрое получение металлического прототипа по выращенным литейным формам и выжигаемым моделям. Однако качество моделей по точности и чистоте поверхности существенно уступает моделям, построенным по другим технологиям. Это естественно, поскольку струйная **Inkjet**-технология дает тем выше детализацию проработки слоя и тем выше качество поверхности, чем больше плотность «точек» или «чернильных пятен», т. е. пикселей. Принтеры **ZCorp** имеют разрешение 300x450 dpi (пикселей на дюйм), тогда как машина **ProJet** имеет 656x656, а машина **Envisiontec** 1400x1050 пикселей на дюйм.

Основные характеристики RP-машин ZCorp.

	ZPrinter 310	ZPrinter 450	Spectrum Z510	ZPrinter 650
Размеры зоны построения, мм	203x254x203	200x250x200	350x250x200	254x381x203
Толщина слоя построения, мм	0,089-0,203	0,089-0,102	0,089-0,203	0,089-0,102
Кол-во печатающих головок	1	2	4	5
Кол-во форсунок	304	604	1216	1520
Габаритные размеры, мм	740x860x1090	1220x790x1400	1070x790x1270	1880x740x1450
Вес, кг	115	193	204	340
Базовая цена, EXW €	19...22 000	38...42 000	49 900...52 000	58 000
Базовая цена DDP, €	20...24 000	35...41 000	43...48 000	68...70 000

С 2009 года начнется выпуск новой модели **ZPrinter 650** с увеличенным до 600x540 dpi разрешением и уменьшенным шагом построения; к палитре красок добавлен также черный цвет.



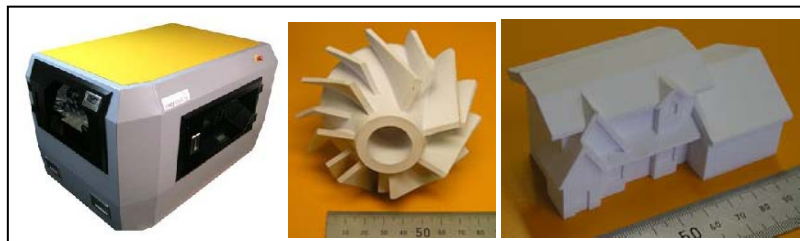
ZPrinter 650

Принтеры **ZCorp** имеют устойчивый спрос в учебных заведениях, как один из самых дешевых визуализаторов, в дизайнерских компаниях, а также у небольших сервис-бюро и предприятий, специализирующихся на оказании услуг, в частности, литье цветных металлов. Принтеры **ZCorp** моделей **310** и **510** – отличное решение для компаний, занимающихся литьем металлических изделий из цветных металлов объемами, подпадающими под понятие «малые серии». И здесь коммерческая составляющая вполне понятна и обоснована, особенно, когда речь идет о деталях с повышенными требованиями к качеству. То же можно сказать и в отношении использования принтеров в учебном процессе. В принтерах **ZCorp**

привлекает и невысокая цена приобретения, и невысокая цена владения – в России модельный материал (на условиях **DDP**) стоит примерно 500 евро/10 кг или около 0,05 евро за кубический сантиметр модели, что существенно ниже, чем стоимость расходных материалов других принтеров. Пожалуй, только **Solido** может конкурировать с **ZCorp**. по этому показателю. Однако пользователю не

следует ожидать чего-то выдающегося с точки зрения качества моделей – оно вполне соответствует цене, даже, на взгляд автора, несколько выше. Но нужно помнить, что это все-таки дешевый принтер и предназначен для решения вполне определенных задач прототипирования. Одним из дистрибьюторов оборудования **Zcorporation** в России является компания Сайберком (www.cybercom.ru).

Принтер Mcor Technology (Ирландия, www.mcortechologies.com), работает по **LOM**-технологии и использует в качестве модельного материала обычную писчую бумагу для принтеров формата **A4**. В

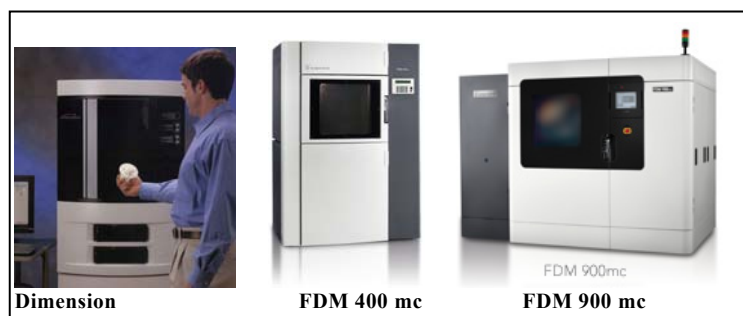
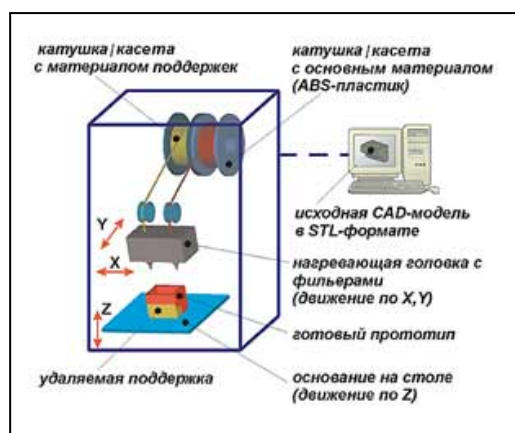


машину закладывается три стандартные пачки бумаги (что соответствует максимальной высоте модели, которую можно построить за один пуск). Толщина листа определяет шаг построения модели по высоте. Листы последовательно укладываются слой за слоем, и с

помощью режущего инструмента (ножа, изготовленного из карбид-вольфрама) и мелкодисперсного клеевого состава формируется послойная модель. Клеевой состав (на базе **PVA**) подается в то место слоя, где компьютер «видит» тело. Разрешение «печати» клеевым составом 48000 точек на один лист бумаги (слой). По завершении построения модель оказывается заключенной в блоке бумаги (как и у **Solido**), и необходимо проведение определенных операций для ее извлечения из массива лишней бумаги. С 1-го квартала 2009 года планируется начало продаж принтеров в США и Великобритании, и если опыт окажется удачным, то в 2010 г поставки расширятся до Евросоюза и других регионов. Ориентировочно базовая цена принтера составит 23-25 тыс.\$.

Машины фирмы Stratasys (США) для выращивания моделей из нитевидных **ABS-пластиков** (технология **FDM - Fused Deposition Modeling**) по праву считаются самыми популярными в мире: среди **3D**-принтеров машины **Stratasys** вот уже третий год подряд сохраняют лидирующие позиции по

числу инсталляций – 2169 машин в 2007 г., 497 в 3-ем квартале 2008 года (521 в 2007); 44% от числа **3D**-принтеров, поставленных в 2008 году, приходилось на **Stratasys**.



Популярность машин объясняется хорошим соотношением «цена-качество». В большинстве случаев машину используют для концептуального моделирования, а также в учебном процессе в колледжах и университетах. Суть технологии состоит в последовательной укладке полимерной нити в соответствии с геометрией текущего горизонтального сечения **CAD**-модели. В качестве модельного материала используется нить расплавленного **ABS**-пластика, который закладывается в машину в виде картриджа – катушки с нитевидным материалом. Поддерживающие структуры формируются таким же образом, но из легко удаляемого в процессе пост-обработки материала. Машины **FDM 400 mc** и **FDM 900 mc** имеют более широкие функциональные возможности и более широкий ряд моделирующих материалов, в частности, материал **PPSF (polyphenylsulfone)** - более гибкий, прочный, устойчивый к нагреву и агрессивным средам, и **PC (polycarbonate)**, хорошо подходящий для изготовления габаритных моделей. Модель **FDM 900 mc** позиционируется как первая машина семейства **Stratasys**, предназначенная не для классического прототипирования, а для изготовления конечных деталей (**end-use parts**), т. е. как машина, занимающая свое место в технологической цепи изготовления продукции. В последней модели машины, **Dimension Elite**, толщина слоя построения 0,178 или 0,254 мм. Машины **Dimension** выпускается в двух модификациях: **BST** – начального уровня с удаляемыми вручную поддержками, и **SST** – с вымываемыми поддержками (используются специальные материал поддержек и концентрат для их

вымывания). Главным преимуществом этой машины является стоимость, самая дешевая версия **Dimension** – 23 000 €. Надежность, простота инсталляции и обслуживания, удачная маркетинговая политика - все это обусловило успех **3D**-принтеров **Stratasys** на западном рынке.

Основные характеристики RP-машин **Stratasys**

	Размеры зоны построения, мм	Толщина слоя построения, мм	Габаритные размеры, мм	Вес, кг	Цена EXW, тыс. €	Цена DDP, тыс. €
Dimension Elite	203x203x305	0,178; 0,254	686x914x1041	136	23...26	33...35
Dimension BST		0,25; 0,33				
BST 768	203x203x305		686x914x1041	136	20...25	33...35
BST 1200es	254x254x305		838x737x1143	146	26...30	50...55
Dimension SST		0,25; 0,33				
SST 768	203x203x305		686x914x1041	136	15...20	46...48
SST 1200es	254x254x305		838x737x1143	146	26...30	58...60
FDM 360 mc	355x254x254		1281x895x1962	726	90...140	160...180
FDM 400 mc	355x254x254 406x355x406	0,127; 0,178; 0,25; 0,33	1281x895x1962		120...180	300...350
FDM 900 mc	406x355x406 914x610x914		2772x1683x2027	1134	360...400	550...600

В России принтеры **Dimension** также пользуются популярностью (дистрибьюторы - компании «Солвер», www.solver.ru, "Компания Би Эй Ви", www.bavcompany.ru). Ряд предприятий успешно использует их и для собственных нужд, и для оказания услуг в области быстрого прототипирования. Однако стоимость моделей оказывается не самой низкой из-за относительно высокой цены расходных материалов. По-видимому, ценовая стратегия компании направлена на получение основной доли прибыли не от продажи собственно машин, а от реализации расходных материалов. В России картридж и модельного, и поддерживающего материалов каждый весом чуть менее 1 кг стоит порядка 320 евро.

* * *

Многообразие технологий 3D-принтеров диктуется многообразием задач прототипирования и аддитивных технологий с целом. Для удачного выбора нужно четко ответить на вопрос: зачем, для чего приобретается принтер? для решения (в основном) каких задач? Безусловно, по точности и шероховатости моделей 3D-принтеры **ZCorp**, **Stratasys**, **Solido** или **Desktop Factory** уступают грандам AF-технологий, таким как **3D Systems** и **EOS**, однако, значительное число дизайнерских, конструкторских, технологических и других задач может быть успешно решено с помощью более доступной и дешевой FDM-, Inkjet – или LOM-технологии. Если, например, стоит задача создания высококачественной мастер-модели, по которой затем будет изготавливаться силиконовая форма для получения ответственной полиуретановой отливки, то, безусловно, предпочтение следует отдать более точным и дорогим технологиям – **SLA**, **PolyJet** или **DLP**. Если же основной задачей прототипирования является поиск форм, создание дизайнерских макетов или контроль и визуализация конструкторских работ, то в этих случаях применение простых и недорогих принтеров офисного типа вполне уместно и рационально. Поэтому при выборе RP-оборудования далеко не всегда следует стремиться к универсальности. Особенно это касается предприятий, специализирующихся на выпуске определенного вида продукции. Разнообразие RP-технологий как раз и обусловлено стремлением производителей более точно и более полно удовлетворить разнообразные запросы клиентов. Нужно реально оценить потребность в каждом типе моделей, оценить удельный вес той или иной технологии в «потребительской корзине» предприятия. Возможно, пользователь придет к выводу о необходимости приобретения дорогой, но более-менее универсальной машины типа **Sinterstation HQ** от **3D Systems**, но, возможно, что рациональным окажется приобретение специализированной машины типа **Envisiontec** или **Objet**, которые «закроют» 90% задач пользователя, а остальные 10% можно будет решить посредством аутсорсинга или взаимобмена с партнерами, имеющими RP-машины других типов, но зато приобретенная машина будет работать с наибольшей эффективностью. Если же принтер рассматривается, как инструмент для обучения, то предпочтение следует отдать машинам с наименьшей «ценой владения», с наименьшей стоимостью расходных материалов, поскольку именно они будут определять основные затраты на содержание этой техники. И в этом случае принтеры **Solido** и **ZCorp**. представляются наилучшим решением.