

# 3D-принтеры. Что выбрать?

Михаил Зленко, д.т.н. (Центр Аддитивных Технологий ФГУП "НАМИ")

Аббревиатура **AF** (*Additive Fabrication*), принятая в англоязычной литературе, означает изготовление изделия путем "добавления" (*add*) материала, в отличие от традиционных технологий механообработки, в основе которых лежит принцип "вычитания" из заготовки (съема) лишнего материала. 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 часто называют технологиями быстрого прототипирования (*Rapid Prototyping* – **RP**). Однако это первоначальное наименование очень быстро устарело, поскольку во времена зарождения *RP*-технологий никто не мог предположить, что они так быстро станут технологиями изготовления не столько моделей и макетов, сколько 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, как и пресс-форма, выращенная из инструментальной стали. Особенно быстро этот процесс развивается в аэрокосмической отрасли (изготовление штучных и малосерийных 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 XXI века, и, похоже, сейчас уже никого не нужно в этом убеждать – достаточно лишь взглянуть на статистику. **Terry Wohlers** – основатель одноименной консалтинго-аналитической компании, приводит в своём ежегодном обзоре (см. *Wohlers Report 2008*) следующие данные, характеризующие положение дел в области *RP*-технологий по состоянию на конец 2007 года:

- за четыре года (2004÷2007) рост инвестиций в *RP*-отрасли составил 116%;
- за период с 1993 по 2007 гг. 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 поставляются в 67 стран мира. При этом 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 свыше 5 000 *AF*-машин (рост – 23% по отношению к 2008 г.).

Многие другие аналитики помимо *Terry Wohlers* 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 исследований доказывает 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 *Oblet* 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*).

## Лидеры *AF*-рынка

Безусловным лидером по числу проданных машин последние годы является компания *Stratasys*. В 2007 году она поставила 2169 машин (рост за год – 26%), причем большая часть поставок (около 2000) 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 2006 г.). В силу их дешевизны они нашли 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; 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.

## Проблемы классификации

Нужно сказать, что само понятие 3D-принтер весьма условно, так что трудно безукоризненно точно определить, какую AF-машину следует отнести к этой категории, а какую нет. Четких 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 то или иное устройство 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 ZCorp. – да.

Та же неопределенность существует в отношении названий, или брендов. Нельзя сказать, что “Objet” – это 3D-принтер, потому что среди изделий фирмы *Objet Geometris* есть и модель *Eden 250* – небольшая офисная машина с ценой порядка около 50 тыс. евро, и модель *Connex 500* – тоже офисная, но стоимостью за 200 тыс. евро. Компания *Stratasys* имеет в своей продуктовой линейке как машину *Dimension*, которая интуитивно воспринимается в качестве классического 3D-принтера, так и мощный *FDM 900mc* стоимостью 250 тыс. евро.

Некоторые авторы называют 3D-принтерами все аддитивные машины, другие выделяют отдельно стереолитографические и SLS-машины, подчеркивая их аристократическое происхождение в связи с наличием лазера, а все остальные записывают в 3D-принтеры. Некоторые, как и *Terry Wohlers*, не говорят прямо, но подразумевают под 3D-принтерами изделия компаний ZCorp. и *Stratasys*, а также всё, что “ниже” их по цене, точности построения и чистоте поверхности.

Пожалуй, единственным критерием, с помощью которого более-менее объективно определяют принадлежность к категории 3D-принтеров, является цена. Большинство пользователей

подразумевает под 3D-принтером AF-машину ценой ниже 50 тыс. долл., которую (тоже, впрочем, весьма условно) можно назвать “десктопом” (*Desktop*) – то есть настольной или офисной, в противоположность солидным системам типа *Sinterstation* или *EOS P 700*, требующим для инсталляции специально оборудованных помещений. Но и тут не обойдется без исключений. Например, *ProJet 3000* сами представители компании *3D Systems* называют 3D-принтером, хотя цена этого устройства в Европе составляет 60÷70 тыс. евро.

Оставим на будущее строгое решение проблемы классификации. Чтобы избежать принципиальных ошибок и недоразумений, просто перечислим здесь машины, которые и автор, и большинство его коллег воспринимают как 3D-принтеры. Таковых не так много:

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

Последние два устройства 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. Сразу же оговоримся, что это скорее справочная информация, и её следует воспринимать лишь как вспомогательную. Более полные технические данные по ряду моделей читатели смогут найти на сайтах соответствующих компаний. Это же касается и цен. Здесь указаны ориентировочные цены EXW (“франко-завод”, то есть при предоставлении продавцом товара на своём предприятии), 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 (как и с ценой, к примеру, автомобиля) вопрос решается индивидуально и зависит от многих факторов, включая

комплектацию, страну поставки, объем гарантийных и постгарантийных обязательств, количество расходных материалов, наличие вспомогательного оборудования и т.д.

### Продукция компании *Objet Geometries*

Компания *Objet Geometries* ([www.2objet.com](http://www.2objet.com)) использует технологию *PolyJet* (рис. 1), которая предусматривает 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

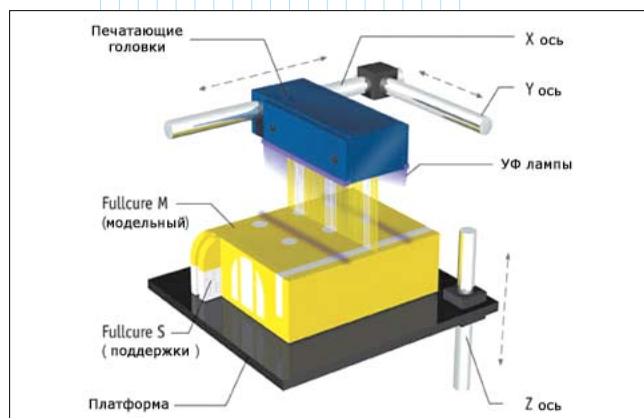


Рис. 1. Технология *PolyJet*

той же головке. Таким образом, производится засветка полосы только что сформированного слоя, в отличие от стереолитографии, где происходит “точечная” засветка движущимся пятном (точкой) лазерного луча.

Данная технология предполагает применение двух видов материала: основного и поддерживающего, для формирования так называемых поддерживающих структур (*supports*), которые удаляются после построения модели. В машинах серии *Eden* (рис. 2, табл. 1) используется специально разработанные модельные фотополимеры – акрилатные смолы, включая резиноподобные, а также легко удаляемый материал поддержки. 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 ( $\pm 0.1 \dots 0.3$  мм на длине зоны построения) и достаточно тонкий слой (0.016 мм) при весьма широких возможностях модельных материалов. 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.

Полученные таким способом модели хорошо обрабатываются, они могут быть использованы и как мастер-модели для изготовления силиконовых



Рис. 2. Машины компании *Objet Geometries*

Табл. 1. Основные характеристики машин *Objet*

	Размер рабочей зоны, мм	Шаг построения, мм	Габаритные размеры, мм	Вес, кг	Цена EXW, евро	Цена DDP, евро
<i>Alaris 30</i>	300 × 200 × 150	0.028	825 × 620 × 590	83	35÷ 37 тыс.	50÷ 55 тыс.
<i>Eden 250</i>	250 × 250 × 200	0.016	870 × 735 × 1200	280	50÷ 60 тыс.	90÷ 95 тыс.
<i>Eden 350V</i>	350 × 350 × 200	0.016	1320 × 990 × 1200	410	90÷110 тыс.	186÷190 тыс.
<i>Eden 500V</i>	500 × 400 × 200	0.016	1320 × 990 × 1200	410	140÷150 тыс.	230÷235 тыс.
<i>Connex500</i>	500 × 400 × 200	0.016÷0.03	1420 × 1120 × 1130	500	200÷220 тыс.	340÷345 тыс.

форм, а в ряде случаев – и как выжигаемые модели для получения металлических отливок. Толщина стенки – от 0.6 мм. Одна из последних машин – *Connex500*, позволяющая строить двухцветные модели, получила *Grand Prix* на выставке *Euromold 2007*.

С 2009 года начинается выпуск *Alaris30* с зоной построения моделей 300×200×150 мм; точность построения – 0.1÷0.2 мм (в зависимости от ориентации и размеров модели), толщина слоя построения – 0.028 мм, разрешение 600×600×900 точек на дюйм. Стоимость *Alaris30* в США – порядка

40 тыс. долл.; в Европе – порядка 37 тыс. евро; в России по предварительным оценкам – порядка 50÷55 тыс. евро. Следует принимать во внимание и относительно высокую (в России) цену расходных материалов – свыше 350 евро/кг. Тем не менее, *Objet* является одной из наиболее успешных и динамично развивающихся компаний на мировом рынке *RP*-технологий. В Европу поставлено свыше 600 машин. В российском парке *RP*-машин принтеры *Objet* также занимают одно из ведущих мест.

Официальными дистрибьюторами в России являются ООО “Инженерная фирма АБ Универсал” ([www.objet.ru](http://www.objet.ru)) и компания “Джетком” ([www.2objet.ru](http://www.2objet.ru)). Налажены сервис, обучение, поставка запчастей и расходных материалов.

### Продукция компании 3D Systems

В машинах серии *ProJet 3000* (индексы *SD*, *DP* и *HD*) фирмы *3D Systems* ([www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com))



Рис. 3. Машины 3D Systems

для полимеризации слоя также используется подсветка ультрафиолетовой лампой (рис. 3, табл. 2). 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 применяются поддерживающие структуры, которые после построения модели удаляются струей горячей воды.

*ProJet 3000 HD (High Definition)* и *ProJet 3000 DP (Dental Professional)* отличается от базовой версии *ProJet SD 3000* (разрешение 328×328×606 точек на дюйм) возможностью работы на уменьшенной зоне построения модели, но с повышенным до 656×656×800 dpi разрешением; предназначены они для использования в ювелирной промышленности, а также для изготовления слуховых аппаратов, зубных протезов и т.д.

Модель *ProJet DP 3000* поставляется в комплекте с высокоточным лазерным сканером для

Табл. 2. Основные характеристики серии *ProJet* от *3D Systems*

	Размер рабочей зоны, мм	Точность построения, мм (на длине 1")	Габаритные размеры, мм	Вес, кг	Цена EXW, евро	Цена DDP, евро
<i>ProJet SD 3000</i>	298×185×203	0.050...0.025	737×1257×1504	254	70÷85 тыс.	110÷120 тыс.
<i>ProJet HD 3000</i>	298×185×203 127×178×152	0.050...0.025	737×1257×1504	254	85÷89 тыс.	120÷130 тыс.
<i>ProJet DP 3000</i>	298×185×203 127×178×152	0.050...0.025	737×1257×1504	254	90÷94 тыс.	135÷140 тыс.
<i>ProJet CPX 3000</i>	298×185×203 127×178×152	0.050...0.025	737×1257×1504	254	70÷75 тыс.	110÷115 тыс.
<i>ProJet CP 3000</i>	298×185×203	0.050...0.025	737×1257×1504	254	70÷75 тыс.	110÷115 тыс.
<i>ProJet 5000</i>	300×400×500	0.050...0.025	–	–	–	–



оцифровки стоматологических моделей. Модельным материалом для этих машин является акриловый фотополимер, материалом поддержек – воск.

Модификации *ProJet CP 3000* и *ProJet CPX 3000* специально разработаны для выращивания восковых моделей для точного литья металлов в гипсокерамические и оболочковые формы. Используется специальный модельный восковой материал *VisiJet CPX200* и восковой водорастворимый материал поддержек *VisiJet S200*. Разрешение – 328×328×700 точек на дюйм, толщина слоя построения – 36 мкм; в режиме *XHD (Xtreme High Definition)* – 656×656×1600 (*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 которого в США – всего \$9900. Позиционируется он даже не как офисный, а как домашний принтер; таким образом, подчеркивается демократичный характер группы пользователей – “от инженера до домохозяйки”, от профессионалов до хоббистов (рис. 4). Модельным материалом является жидкий акриловый фотополимер. Модель строится “вверх ногами”: тонкий слой материала наносится на специальную прозрачную пластину, сверху к ней до касания с фотополимером 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 – 228×171×203 мм, толщина слоя – 0.1 мм, минимальная толщина стенки модели – 0.64 мм, скорость построения – до 13 мм в час по высоте. Габаритные размеры устройства – 660×690×790 мм, вес – 66 кг.

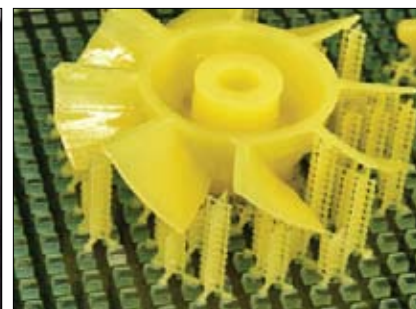


Рис. 4. Принтер *V-Flash* от *3D Systems*

Получаемые на *V-Flash* модели, безусловно, менее качественно по сравнению с теми, что дают принтеры *ProJet* и *Eden*, имеют более выраженные ступеньки, но всё же вполне пригодны для решения широкого круга дизайнерских, учебных и иных задач. Принтер *V-Flash* был достаточно агрессивно разрекламирован на выставках и интернете, были получены сотни заявок на его приобретение, но проблемы с доводкой конструкции заставили отложить коммерциализацию данного проекта почти на два года. Официально объявлено о начале продаж в 2009 году, причем лишь в США. Сроки поставки принтера в Европу и Россию пока не определены.

### Продукция компании *EnvisionTEC*

Немецкую фирму *EnvisionTEC* ([www.envisiontec.de](http://www.envisiontec.de)) можно отнести к новичкам на *RP*-рынке, свои первые машины семейства *Perfactory* она выпустила на рынок в 2003 году. В 2004 году было продано 137 машин, в 2007-м – 300, прогноз на 2008 год – порядка 400 инсталляций. В этих машинах тоже применяется акриловый фотополимер и специальная технология *DLP (Digital Light Procession)*. 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 каждого слоя и засветка лучами видимого спектра происходит относительно быстро – за 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. Таким образом, если в *SLA*-машинах применяется “точечный” принцип засветки, в машинах *Objet* и *ProJet* – “линейный”, то здесь – “поверхностный”, то есть осуществляется засветка всей поверхности



*Perfactory Desktop*



*Perfactory Mini*



*PerfactoryXede*

Рис. 5. Машины компании EnvisionTEC

слоя. Качество моделей весьма высокое, в целом – на уровне моделей *Objet* и *ProJet*.

Машины *Perfactory Desktop*, *Mini* и *Standart* (рис. 5, табл. 3) в полной мере можно отнести к категории 3D-принтеров офисного типа, они хорошо зарекомендовали себя для изготовления ювелирных моделей, изделий медицинского назначения, мастер-моделей для последующего литья полиуретановых и металлических деталей. В принтере *Mini* используются сменные линзы с различным фокусным расстоянием – таким образом, размеры зоны

построения варьируются по желанию заказчика от 44×33×203 мм до 90×68×230 мм.

Изделия серий *Extrim* и *Exede* позиционируются, как AF-машины для промышленного производства мастер-моделей и моделей для литья металла по выжигаемым моделям, а также как высокопроизводительное оборудование для сервис-бюро, специализирующихся на оказании услуг в области аддитивных технологий. *Extrim* имеет один цифровой прожектор с разрешением 1400×1050 пикселей, *Exede* – два, а *Exede XL* – шесть прожекторов по 1920×1080

Табл. 3. Основные характеристики машин EnvisionTEC семейства *Perfactory*

	Размеры зоны построения, мм	Толщина слоя построения, мм	Габаритные размеры, мм	Вес, кг	Цена EXW, евро	Цена DDP, евро
<i>Desktop</i>	30 × 40 × 100	0.03...0.04	450×450×780	25	30÷55 тыс.	40÷42 тыс.
<i>Mini</i>	44 × 33 × 230	0.015...0.05	480×730×1350	70	65÷70 тыс.	80÷85 тыс.
	59 × 44 × 230					
	84 × 63 × 230					
	73 × 54 × 230					
	90 × 68 × 230					
<i>Standart Zoom</i>	120 × 90 × 230 190 × 142 × 230	0.025...0.150	480×730×1350	70	70÷75 тыс.	–
<i>Perfactory Standart UV</i>	100 × 75 × 230 140 × 105 × 230 175 × 131 × 230	0.025...0.150	480×730×1350	70	70÷75 тыс.	–
<i>PerfactoryXtrim</i>	320 × 240 × 430	0.025...0.150	810×730×2200	480	170÷190 тыс.	250÷270 тыс.
<i>PerfactoryXede</i>	457 × 431 × 508	0.025...0.150	810×840×2200	520	240÷260 тыс.	–
<i>PerfactoryXede XL</i>	635 × 635 × 635	0.025...0.150	–	–	380÷420 тыс.	–

пикселей каждый. Эффективная рабочая зона построения и толщина слоя построения регулируются сменой линз оптической системы. Получаемые модели имеют поверхности высокого качества. Особенностью машин этих серий 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, дополимеризации (как и стереолитография). Несомненным преимуществом технологии *EnvisionTEC* является высокая скорость построения моделей и, следовательно, производительность *RP*-машин.

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 построения впускной трубы высотой 32 мм и ресивера высотой 100 мм (рис. 6) составляет 1.5 и 5 часов соответственно (с учетом подготовительно-заключительных операций). На сопоставимой по размерам *SLA*-машине *Viper* фирмы *3D Systems* такие модели строились бы не менее 5.5 и 16 часов. К преимуществам технологии следует отнести наличие различных видов модельных материалов, “заточенных” под различные цели прототипирования.

Автор имел возможность испытать продукцию *EnvisionTEC* в деле: были получены отливки



Рис. 6



Рис. 7. Впускной коллектор

корпуса водяного насоса, впускного и выпускного коллекторов ДВС (рис. 7) с весьма высоким качеством, оценка – “отлично”. Здесь модели использовались как выжигаемые. Недостатком можно считать относительно малую живучесть акриловых фотополимерных смол – примерно 6÷8 месяцев. За качеством смолы нужно следить и вовремя её менять. Стоимость расходных (модельных) материалов относительно высока: в США – порядка 250 \$/кг, в России – свыше 400 евро/кг (*DDP*). К цене владения нужно отнести также стоимость лампы прожектора, срок службы которой – порядка 6 месяцев; для серий *Desktop* и *Mini* – это примерно 1200 евро. Тем не менее, эти устройства за короткий срок нашли хороший сбыт в России – поставлено свыше 30 машин.

Устройства серий *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](http://www.ardos.com)), специализирующаяся на поставках технологий и оборудования для ювелирной отрасли, и фирма “Торговый Дом “Научное оборудование” ([www.tdno.ru](http://www.tdno.ru)), осуществляющая поставки научного и промышленного оборудования широкого спектра.

### Продукция компании *Sintermask*

Шведская фирма *Sintermask* ([www.sintermask.com](http://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* (рис. 8) 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 (рис. 9):

- на стеклянной пластине с помощью специального тонера печатается негативное изображение слоя-сечения детали, создается “маска”;
- маска располагается над слоем свежего порошка и за-свечивается 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 секунд, скорость построения модели – 20÷35 мм/ч, разрешение по оси Z – 50÷120 мкм. Размеры зоны построения модели – 210×300×500 мм, габаритные размеры машины – 1250×2100×1700 мм. Базовая цена – 170 тыс. евро. Перспективы коммерческой реализации этой технологии в Европе и России пока неопределенны.

### Продукция компании **Solido**

Израильская компания *Solido* ([www.solido3d.com](http://www.solido3d.com)) – еще одна фирма, претендующая, и не без основания, на своё место под солнцем AF-технологий. Эта компания выпускает принтеры, которые еще иногда называют **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 (рис. 10). До 2007 года принтер продавался под брендом *3D Systems* (модель *Invision LD*). Модельным материалом в нём служит полихлорвиниловая пленка толщиной 0.15 мм пяти цветов:



Рис. 8. Принтер Pollux 32

полупрозрачный янтарный, красный, синий, кремовый, черный. Формирование модели производится путем последовательного склеивания слоев ПВХ-пленки и вырезания контура слоя с помощью лезвия, закрепленного на подвижной головке. Модель строится на специальной магнитной подложке, устанавливаемой на подвижной (перемещается вверх-вниз) платформе. Клеевой состав наносится на всю поверхность пленки, а в тех местах, где после построения необходимо обеспечить легкое удаление пленки, наносится “антиклей”. Таким образом, тело

модели формируется за счет последовательного склеивания пленки, а будущие пустоты остаются несклеенными, что обеспечивает легкое удаление лишней пленки в процессе постобработки.

“Антиклей” наносится с помощью специальных карандашей или фломастеров с различным диаметром стержня (1, 3, 6 мм); в зависимости от размеров полости используется соответствующий фломастер. Чтобы обеспечить экономное расходование материала, принтер укладывает пленку не на всю длину зоны построения, а лишь на столько, сколько требуют габариты конкретной модели. Картридж в виде бобины весом около 7 кг устанавливается с передней стороны. Магнитная подложка подлежит замене после 5÷10 циклов построения. В принтере используются два лезвия: одно – для нарезания листов пленки; второе, установленное на подвижной головке, служит для формообразования модели. Этот инструмент требует замены из расчета одно лезвие на две-три бобины модельного материала.

Размеры зоны построения модели – 160×210×135 мм; точность построения (XY) ±0.1 мм, габаритные размеры принтера – 770×420×465 мм, вес – порядка 40 кг.

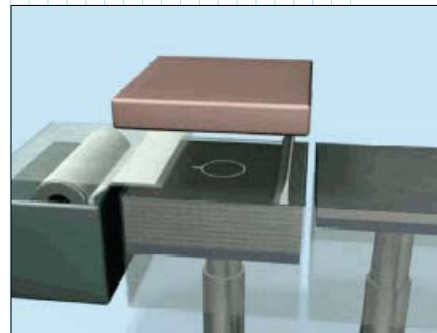
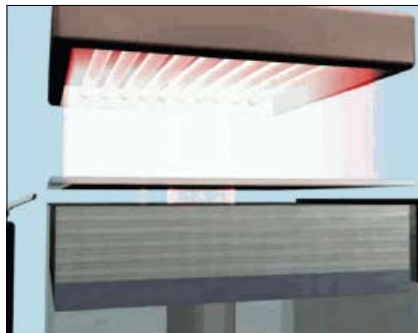
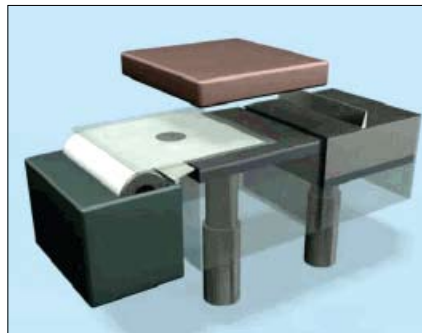


Рис. 9. Процесс Selective Mask Sintering



Применяемая *Solido* технология и сам принцип построения обуславливают определенные ограничения. К примеру, *SLS*-технология позволяет строить как одно целое модели, имеющие внутренние полости с ограниченным доступом, поскольку порошок из этих полостей можно извлечь с помощью инструментов и сжатого воздуха. Аналогично обстоит дело и с моделями, для построения которых служит водорастворимый и легко удаляемый материал поддержек (*Objet, ProJet*). В отличие от этого, для обладателя принтера *Solido* извлечение пленки из полостей может представлять трудность, либо даже оказаться в принципе невозможным. В таких случаях модель необходимо разрезать на несколько частей, чтобы обеспечить доступ к удаляемому материалу. После очистки эти части снова придется склеивать. Всё это усложняет процесс и увеличивает трудозатраты на доведение модели до требуемой кондиции.

К относительным недостаткам технологии *Solido* (как, впрочем, и всех других разновидностей *LOM*-технологий) следует отнести высокий удельный расход материала. Так, при построении наиболее типичных для прототипирования моделей корпусных деталей в отход идет более 50% использованной пленки. Этот недостаток отчасти компенсируется невысокой ценой модельного материала. Кроме того, оптимизация его расходования достигается повышением коэффициента заполнения рабочей платформы (увеличением количества строящихся моделей), правильным взаимным расположением моделей и расчленением моделей на части с целью уменьшения объема пустот.

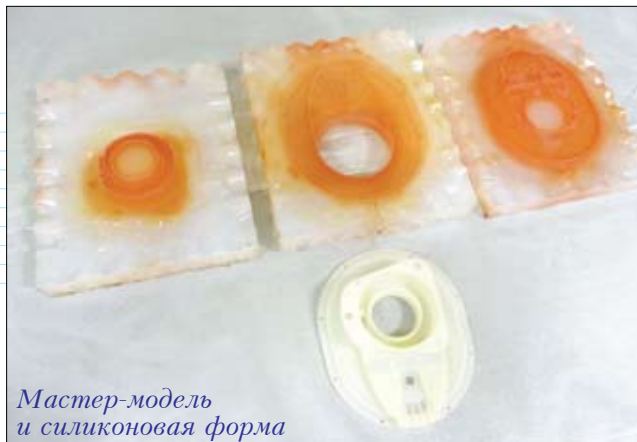


Рис. 11. Наглядные результаты тестирования *Solido SD 300*

В связи с невысокой ценой самого устройства и, что особенно важно, расходных материалов, принтеры *Solido* нашли применение в учебных заведениях, в макетных и архитектурных мастерских, дизайн-студиях. С их помощью можно также изготавливать мастер-модели для получения полиуретановых отливок в силиконовые формы, или же восковые модели для последующего литья металлов по выплавляемым моделям.

В процессе тестирования принтера автор построил мастер-модель (крышка корпуса, см. рис. 11), по которой затем были сделаны полиуретановые и металлические отливки. Точность построения оказалась в пределах  $0.1 \div 0.12$  мм по всем осям, качество отливок – на “отлично”.

С 2009 года принтер *Solido* поставляется в Россию компанией “Торговый Дом “Научное оборудование” ([www.tdno.ru](http://www.tdno.ru)), базовая цена (DDP) составляет 29÷30 тыс. евро. 🇷🇺

(Продолжение следует)



Рис. 10. *LOM*-принтер *SD 300* компании *Solido*