

# 1 Введение

## Трёхмерная печать достигла своего совершеннолетия

Трёхмерная печать — не просто создание моделей. В наши дни 3D печать предлагает разительные преимущества на каждом этапе создания, от разработки концепции дизайна до производства готовых продуктов и всех промежуточных этапов. Современные сложные условия рынка делают правильный выбор 3D принтеров для каждого этапа создания продукта более важным, чем когда-либо прежде.

Всего несколько лет назад 3D печать на предприятии была доступна лишь некоторым профессиональным инженерам-конструкторам и часто была ограничена печатью концептуальных и некоторых реальных моделей. Ранее считавшееся роскошью, 3D печать принесла стратегический результат, подняв эффективность разработки и производства и ускорив выход новой продукции на рынок. В наши дни технологии 3D печати позволили растущему количеству разработчиков открыть для себя и эффективно использовать преимущества быстрой 3D печати на предприятии в ходе всего процесса создания продукта.

Ведущие компании используют 3D принтеры для оценки большего количества вариантов за меньшее время, что способствует принятию важных решений на ранних стадиях разработки продукта. В ходе процесса дизайна варианты технических решений подвергаются проверке на каждом этапе с целью принятия решения различной степени важности, улучшения характеристик, снижения производственных затрат и вывода на рынок более успешного и качественного продукта. На этапе изготовления опытных образцов 3D печать позволяет ускорить производство первых образцов, что способствует продвижению на рынок и продажам, и привлекает клиентов уже на ранних этапах. А на стадии производства готовых продуктов 3D печать позволяет повысить производительность труда, экономично производить модели индивидуального дизайна, улучшить качество и достичь большей эффективности во многих отраслях, число которых растет.

# 2 Какие задачи Вы решаете при помощи 3D принтеров?

Выбор подходящего 3D принтера из столь многих вариантов может показаться нелёгкой задачей. Различные технологии превращения цифровых данных в осязаемый объект существенно отличаются. Современные 3D принтеры используют широкий спектр материалов с существенно разными структурными свойствами, возможностями формирования мелких элементов, обработкой поверхности, сопротивляемостью воздействию окружающей среды, внешним видом, точностью обработки, сроками использования, температурными свойствами и т. д. Сначала следует определить основные задачи 3D печати, которые сыграют решающую роль в выборе технологий, способных обеспечить наилучший и наиболее эффективный результат для вашего бизнеса. В этой статье будут рассмотрены некоторые основные области применения 3D печати и изложены некоторые ключевые аспекты выбора 3D принтера.

## Создание концептуальных моделей

Концептуальные модели позволяют принимать лучшие решения на начальных этапах дизайна, которые затем ускорят все последующие работы по дизайну и проектированию.

Выбор правильного пути при создании дизайна уменьшает количество последующих дорогостоящих изменений в процессе разработки и ускоряет весь цикл разработки, что позволяет раньше вывести продукт на рынок. Разрабатываете ли вы новый электроинструмент, офисную принадлежность, архитектурный проект, обувь или игрушку, 3D печать является идеальным способом оценить альтернативные концепции дизайна и обеспечить совместную работу всех участников проекта с целью принятия правильных решений.



На столь раннем этапе создания продукта требуется быстро и без лишних затрат оценить множество вариантов дизайна при помощи моделей, которые должны выглядеть как реальный продукт, хотя не обязательно должны выполнять все его функции. Участники проекта могут лучше оценить дизайн, когда могут наглядно сравнить или подержать в руках различные варианты, что способствует более быстрому и эффективному принятию решений.

Для большинства применений в области создания концептуальных моделей ключевыми



аспектами производительности 3D принтера являются скорость печати, стоимость модели и реалистичный внешний вид.

## Модели для проверки

По мере того как дизайн продукта начинает обретать очертания, конструкторы должны проверять элементы конструкции, чтобы гарантировать, что новый продукт будет работать как задумано. 3D печать на предприятии позволяет сделать проверку дизайна процессом выбора вариантов, когда конструкторы выявляют и решают проблемы конструкции в процессе создания, внедрить новые изобретения или быстро выявить необходимость изменений в конструкции.



Среди прочих, области применения включают проверку соответствия формы, размеров и функциональности. Модели для проверки позволяют быстро получить отзывы и проверить дизайнерские идеи на практике. Модели для проверки должны давать четкое представление о дизайне продукта. Свойства материала, точность моделей и детализация мелких элементов являются ключевыми аспектами в выборе 3D принтера для изготовления моделей для проверки.



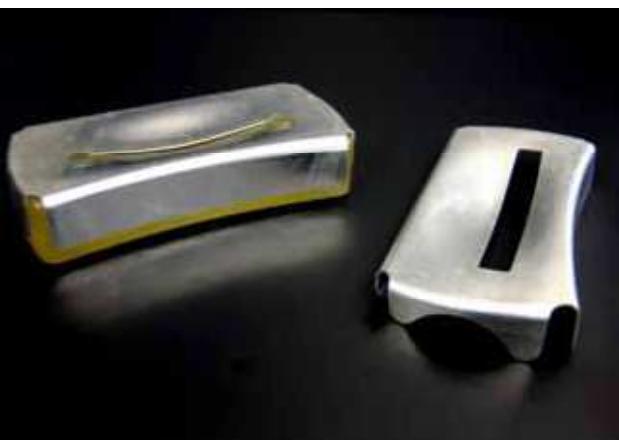
## Применение при изготовлении опытных образцов

После того, как дизайн продукта приобретает окончательную форму, внимание быстро переключается на начало производства. На этой стадии обычно необходимы существенные вложения в шаблоны, приспособления и оснастку, необходимые для изготовления нового продукта. На этом этапе система поставок дополняется закупками сырья и других необходимых компонентов. Задержка поставки этих компонентов может увеличить время выхода продукта на рынок, и 3D печать может тем или иным способом уменьшить риск при инвестировании и ускорить начало продаж продукта.



Изготовление опытных образцов при помощи 3D печати включает промежуточные инструменты, приспособления и оснастку, которые помогут ускорить начало производства и сборки готового продукта, а также реальные детали для изготовления полнофункциональных продуктов с целью проведения испытаний и выполнения ранних заказов.

На этой стадии рабочие характеристики материалов для печати имеют решающее значение. Чтобы гарантировать качество готового изделия и то, что технологическая оснастка не потребует долгой и дорогостоящей переделки, крайне важны высокая точность размеров и качество отделки.



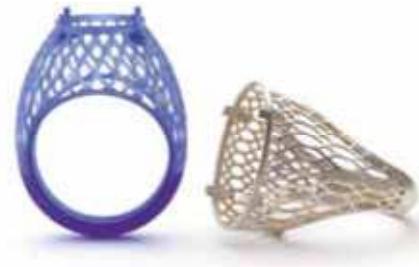
## Цифровое производство

Некоторые технологии 3D печати позволяют печатать практически любые геометрические тела без ограничений, налагаемых традиционными методами обработки, тем самым предоставляя дизайнерам большую свободу в достижении новых уровней функциональности продукта. Производственные затраты снижаются за счет устранения длительных и трудоемких этапов производства и потерь отходов сырья, свойственных традиционным субтрактивным технологиям производства.



Готовые трёхмерные элементы могут быть деталями конечного применения или расходными вспомогательными средствами, способными ускорить производство. Ведущие компании в различных отраслях, таких как ювелирная, стоматологическая, производство медицинских инструментов, автомобильная и аэрокосмическая отрасли освоили 3D печать для изготовления конечных продуктов либо литейных моделей и форм, что позволило уменьшить производственные затраты, внедрить больше индивидуального дизайна, улучшить качество и характеристики продукта и сократить время производства.

Ключевыми аспектами работы 3D принтера на производстве являются высокая точность изготовления и качество отделки поверхности, что требует специальных материалов для печати предназначенных для конкретного применения. Для некоторых видов медицинского и стоматологического применения материалы должны отвечать требованиям по биологической совместимости.



# 3 Показатели производительности 3D принтера

Выбор подходящего 3D принтера диктуется областью применения и критериями производительности, которые определят наиболее выгодную общую стоимость. Вот несколько конкретных аспектов производительности 3D принтеров, которые следует учитывать при сравнении различных 3D принтеров.

## Скорость печати

В зависимости от производителя и технологии принтера скорость печати может пониматься по-разному. Скорость печати можно определить как время, необходимое для печати на определенное расстояние по оси Z (например, дюймы или миллиметры в час по оси Z) за одно задание печати. Этот метод обычно предпочтителен для 3D принтеров с постоянной вертикальной скоростью печати, не зависящей от геометрии печатаемых моделей и/или от количества моделей, печатаемых за одно задание. 3D принтеры с высокой вертикальной скоростью печати и незначительной либо отсутствующей потерей скорости из-за геометрии модели или количества моделей в задании идеально подходят для создания концептуальных моделей, так как они позволяют быстро изготавливать множество различных моделей в кратчайший срок.

Другой способ оценивания скорости печати — это время, необходимое для печати определенной модели или определенного объема модели. Этот способ часто используется для принтеров, которые быстро печатают одиночную модель с простой геометрией, но работа которых замедляется, когда необходимо напечатать несколько моделей, либо при увеличении сложности геометрии и/или размера печатаемой модели. В итоге, сниженная скорость печати может замедлить процесс принятия решений и свести на нет сам смысл приобретения 3D принтера для создания концептуальных моделей. Хотя высокая скорость печати всегда является преимуществом, при создании концептуальных моделей она играет решающую роль. 3D принтеры, имеющие высокую скорость печати по вертикали, не зависящую от количества и сложности моделей, обычно оказываются более выгодными для создания концептуальных моделей, потому что они могут быстро напечатать большее количество различных моделей для сравнения, что ускорит и улучшит процесс принятия решений на ранних этапах.

## Стоимость модели

Стоимость модели обычно выражается в стоимости единицы объема, например,

стоимости кубического дюйма или кубического сантиметра. Стоимость различных моделей может значительно отличаться даже при их изготовлении на одном и том же 3D принтере, в зависимости от геометрии конкретной модели, таким образом, необходимо понимать, относится ли стоимость модели, заявленная производителем, к определённой модели или к «типичной» модели, которая является «средней» из группы различных моделей. Чтобы определить ожидаемую стоимость модели, часто оказывается полезным подсчитать стоимость модели на основании вашего собственного набора файлов STL, представляющих типичные для вас модели. Чтобы правильно сравнивать характеристики, заявляемые различными производителями, также важно понимать, что включено и что не включено в оценку стоимости модели.

Некоторые производители 3D принтеров учитывают только стоимость определенного объема материала для печати, который равен измеренному объему конечной модели. Такой метод не представляет точной стоимости отпечатанной модели, так как не учитывает использованного вспомогательного материала, отходов, произведенных принтером, и других расходных материалов, используемых в процессе создания модели. Существуют существенные отличия в эффективности использования материалов различными 3D принтерами, и понимание истинного расхода материала является еще одним ключевым показателем при точном сравнении стоимости печати.

Стоимость модели определяется тем, сколько всего материала потребляет 3D принтер для печати данного набора моделей и цены потребленных материалов. Самая низкая стоимость модели обычно достигается с применением порошковых технологий 3D печати. Недорогой гипсовый порошок служит основным материалом модели и формирует ее основной объем. Неиспользованный порошок постоянно перерабатывается в принтере и используется повторно, и стоимость полученной таким образом модели в два или три раза меньше, чем при других технологиях 3D печати.

Некоторые технологии создания моделей из пластика используют один расходный материал для печати самой части и опор, необходимых в процессе создания модели. Эти технологии обычно используются для создания разнесенных опорных конструкций, которые легко удалить. Для этих опор используется меньше материала, чем при других технологиях изготовления пластиковых моделей. Большинство 3D принтеров, работающих с одним материалом, не создают значительного количества производственных отходов, что делает их крайне экономичными и недорогими в эксплуатации.

Другие технологии производства пластиковых частей могут использовать специальный, менее дорогой материал опор, который удаляется после печати при помощи плавки, растворения или струйной обработки водой. Такие технологии обычно потребляют большее количество материалов для печати опор. Растворимые опоры могут требовать использования агрессивных химикатов, для которых требуется соблюдение особых норм безопасности при транспортировке и утилизации. Струйная обработка водой требует источника и слива воды, что может существенно увеличить затраты на оборудование рабочего места. Этот метод трудоёмок и может привести к повреждению мелких деталей модели, так как для удаления опор применяется сила. К тому же, опоры, расположенные в труднодоступных полостях, могут оказаться закрытыми, и удалить их будет невозможно. Наиболее быстрый и эффективный метод удаления опор заключается в использовании плавкого воска. Плавкие опоры можно быстро удалить при помощи специальной отделочной печи, прилагая минимум усилий и не рискуя повредить мелкие детали. При этом опоры можно удалить из внутренних полостей, недоступных никаким иным способом, что обеспечивает наибольшую гибкость при печати моделей со сложной геометрией. Удаление восковых опор не требует использования химикатов, и воск может быть утилизирован вместе с обычным мусором, не требуя никакого специального обращения.

Учтите, что некоторые популярные 3D принтеры во время печати соединяют дорогой материал для печати с материалом опор, за счет чего увеличивается общая стоимость материалов, используемых при печати. Также эти принтеры обычно создают большее количество отходов материалов, тем самым используя больший объём материалов для печати того же набора моделей.

## Детализация мелких элементов

Одной из самых неоднозначных характеристик 3D принтеров является детализация, и она требует особого внимания. Детализация может быть указана в точках на дюйм (DPI), толщине слоя по оси Z, размеру пикселя, размеру пятна струи и диаметру зерна, и это ещё не все варианты. Хотя эти измерения могут оказаться полезными при сравнении детализации однотипных 3D принтеров, они обычно не позволяют сравнить различные технологии 3D печати. Самое лучшее сравнение — визуальный осмотр моделей, изготовленных по различным технологиям. Осматривайте обработку острых краёв и углов, минимальный размер топологического элемента, качество стенок и гладкость поверхности. При осмотре модели может оказаться полезным цифровой микроскоп, так как эти недорогие устройства могут увеличивать и фотографировать мелкие элементы модели для сравнения. Когда 3D принтеры используются для проверки конструкции, крайне важно, чтобы созданные модели точно соответствовали чертежу. В зависимости от типа проводимой проверки недостатки обработки поверхности могут уменьшить точность результатов проверки.

## Точность размеров

При создании модели 3D печать выполняется аддитивным способом, слой за слоем, используя материалы, которые переводятся из одной формы в другую. При такой обработке могут возникнуть переменные факторы, например, усадка материала, которые нужно компенсировать на этапе печати, чтобы гарантировать точность изготовления конечной модели. Порошковые 3D принтеры, использующие связующие вещества, обычно имеют самую низкую усадку при печати и в целом дают высокую точность. Пластиковые технологии 3D печати обычно используют тепло, ультрафиолетовое излучение или и то и другое в качестве источников энергии для обработки материалов для печати и создают дополнительные переменные факторы, которые могут повлиять на точность. Также на точность 3D печати влияют размер и геометрия модели. Для определённой геометрии модели и настройки точности некоторые 3D принтеры предоставляют несколько видов инструментов подготовки к печати. Обычно производители заявляют о точности изготовления конкретных образцовых проверочных моделей, и реальные результаты могут отличаться в зависимости от геометрии модели, поэтому важно определить ваши требования к точности и проверить рассматриваемый 3D принтер с помощью вашей собственной модели.

## Свойства материала

При выборе 3D принтера важно понимать область его применения и требуемые характеристики материала. Каждая технология имеет сильные и слабые стороны, которые необходимо учесть при выборе 3D принтера. Заявления о большом количестве доступных материалов нужно рассматривать с осторожностью, так как нет гарантии, что доступные материалы предоставят необходимые рабочие характеристики. Жизненно необходимо, чтобы модели, созданные при помощи оцениваемых 3D принтеров, были испытаны в реальных условиях применения перед принятием решения о покупке. Стабильность характеристик моделей в течение длительного периода и в различных условиях не может быть определена по стандартным опубликованным характеристикам и может привести к ограничениям в реальном использовании, если этот показатель не рассмотрен и не проверен.

При создании концептуальных моделей реальные физические свойства могут быть не так важны, как стоимость и внешний вид модели. Концептуальные модели используются в первую очередь для наглядной демонстрации и могут быть утилизированы после использования. Модели для проверки могут воссоздавать конечные продукты и должны иметь функциональные характеристики, точно повторяющие материалы конечного производства. Материалы, используемые для быстрого изготовления промышленных моделей, должны быть пригодны для литья либо иметь высокую термостойкость, чтобы их можно было использовать по назначению. Модели для конечного применения обычно должны сохранять стабильность характеристик в течение длительного времени.

Каждая технология 3D печати ограничена определёнными типами материалов. Для 3D печати на предприятии материалы обычно делят на непластиковые, пластик или воск. Ваш выбор 3D принтера должен основываться на том, какие категории материалов представляют наилучшую комбинацию стоимости и диапазона применения. Сочетание нескольких технологий может добавить гибкости и расширить спектр решаемых задач за пределы того, чего можно достичь с помощью единственного 3D принтера. Часто совместное использование двух недорогих 3D принтеров оказывается более выгодным, чем одна дорогая система, и предлагает больше областей применения и более высокую скорость печати, оставаясь при этом в рамках сопоставимого бюджета.

Непластиковые материалы обычно представляют собой гипсовый порошок со

связующим веществом и дают плотные, твёрдые части, которые можно подвергнуть пропитке для придания очень высокой прочности. Из этих частей получаются прекрасные концептуальные модели и предоставляют ограниченные возможности для функциональных испытаний, не требующих высокой прочности. Наиболее белый базовый материал вместе с исключительной возможностью полноцветной печати даёт в результате правдоподобно выглядящие модели, не требующие дополнительной окраски или обработки.

Пластиковые материалы бывают как гибкие, так и жесткие. Некоторые из них имеют высокую термостойкость. Также доступны прозрачные, биологически совместимые и литьевые пластиковые материалы. Свойства пластиковых моделей, изготовленных по различным технологиям, значительно отличаются и могут не быть явно указаны в опубликованных характеристиках. Некоторые 3D принтеры создают модели, которые будут изменять свои свойства и размеры со временем или при изменяющихся окружающих условиях. Например, обычно термостойкость пластика обозначается по температуре тепловой деформации (HDT). Хотя температура HDT является важным показателем, она ничего не говорит о свойствах материала при более высокой температуре.

Свойства одних материалов могут быстро ухудшаться при температурах немногим выше указанной HDT, тогда как другой материал может сохранять форму дольше, расширяя тем самым температурный диапазон применения пластиков. Другим примером может служить влияние влажности на модель. Некоторые виды пластика, используемые при 3D печати, являются водостойкими, в то время как другие имеют пористую структуру, которая позволяет частям поглощать влагу, отчего модель может расширяться и изменять размеры. Пористые модели обычно непригодны для применения в условиях высокой влажности или высокого давления, и для их применения в таких условиях может потребоваться последующая трудоёмкая обработка.

Новые «гибридные» 3D принтеры компании 3D Systems совмещают в себе проверенные характеристики стереолитографии (SLA<sup>®</sup>) и простоту использования промышленных 3D принтеров. Такие промышленные 3D принтеры предлагают более широкий выбор пластиковых материалов, которые предлагают функциональные свойства ABS, полипропиленового и поликарбонатного пластика в одном 3D принтере. Они предлагают лёгкую, быструю и доступную замену материала, что позволяет одному 3D принтеру предоставлять широкий диапазон применения

пластиковых моделей. При рассмотрении технологий, заявляющих о работе с несколькими материалами, уделяйте особое внимание отходам материала, которые образуются при замене материала. Некоторые из этих 3D принтеров снабжены несколькими печатными головками, которые необходимо полностью продувать, в результате чего тратится дорогой материал для печати.

## Цвет

Существует три основные категории цветных 3D принтеров: принтеры с выбором цвета, которые печатают по одному цвету за раз; принтеры с базовыми цветами, которые могут напечатать несколько цветов на одной модели; и полноцветные принтеры, которые могут напечатать на одной модели тысячи цветов. Единственные доступные в настоящее время 3D принтеры, которые печатают весь спектр цветов, — это принтеры ProJet® x60 компании 3D Systems. На трёхмерных моделях они печатают такие же цвета, как и цветные принтеры отображают на бумаге, предлагая до более 6 миллионов уникальных цветов, что в итоге даёт удивительно правдоподобные модели. В дополнение к нанесению правдоподобных цветов, принтеры ProJet x60 могут наносить фотографии, рисунки, логотипы, текстуры, текстовые ярлыки, результаты FEA и многое другое и могут создавать модели, которые трудно отличить от настоящего изделия.