

Из опыта обучения детей 6-9 классов основам инженерного 3D-моделирования и прототипирования.

Рытов Алексей Максимович,

преподаватель доп. образования, ЦДЮТТИТ Пушкинского р-на, Санкт-Петербург

Введение

Знакомство детей с «технологиями», в школе и в технических кружках, зачастую все еще сводится к освоению простейших навыков ручной работы, в то время как современное производство давно уже использует автоматизированное оборудование, технологии быстрого прототипирования и пакеты САПР. Эта ситуация нуждается в исправлении, и один из важных шагов в правильную сторону — обучение детей основам инженерного 3D-моделирования и конструирования, одним из базовых навыков современного инженера.

В ГБОУ ДОД «Центр технического творчества и информационных технологий» Пушкинского района, автор данной статьи второй год ведет занятия с детьми по инженерному 3D-моделированию, конструированию и прототипированию, на базе САПР Autodesk Inventor. Для изготовления изделий используются 3D-принтеры, лазерный и фрезерный станки с ЧПУ. Занятия посещают, в основном, ученики 6-8 классов.

Неполных два года занятий с детьми — небольшой срок, однако автор решился написать эту статью, поскольку и сама тематика инженерного 3D в образовании детей еще очень молода, развивается быстро, и каждая крупица практического опыта может пригодиться другим преподавателям.

Немного про «3D» — инженерное, и не только.

Имеется целый спектр компьютерных технологий, к которым прицепляется модная приставка «3D-», поэтому следует пояснить термины и очертить рамки предметной области, рассматриваемой в этой статье.

3D-моделирование предполагает создание трехмерной компьютерной модели чего угодно, пользуясь средствами какой угодно программы 3D-моделирования. Этот широкий термин охватывает моделирование как художественное, так и инженерное, а получаемые модели могут использоваться как для экранной визуализации, так и для физического изготовления моделируемых объектов.

Надо понимать, однако, что художественное и инженерное 3D не только различаются по программному инструментарию, по спектру изучаемых навыков, по набору смежных дисциплин, но и привлекают детей, имеющих весьма разные склонности:

Художественное 3D-моделирование — это моделирование произвольных объектов и персонажей со сложными нерегулярными формами, включая анимацию и всевозможные визуальные эффекты. Полученные модели применяются в фильмах, в играх, в меньшей степени — для физического изготовления объектов. К этой области примыкает «плоская» компьютерная графика (поскольку в моделях широко используются текстуры), создание мультфильмов, разработка игр, включая игровое программирование.

Инженерное 3D-моделирование — создание трехмерной компьютерной модели технического объекта (например, по чертежу или образцу), в какой-либо САПР-системе, обычно с целью последующего изготовления и/или документирования. В инженерном моделировании упор делается на правильность геометрических построений, точность размеров, воспроизводимость форм, технологичность изготовления полученных моделей. Работа с текстурами, эффектами, анимациями второстепенна или вовсе отсутствует. Сюда примыкает физика, механика, электротехника и электроника, программирование микроконтроллеров, робототехника.

Опыт показал, что строгость и геометричность процесса моделирования, как и общая

ориентированность на технические объекты, делают инженерное моделирование неинтересным для многих художественно ориентированных детей, особенно девочек. В идеале, обучение инженерному и художественному направлениям 3D-моделирования должно проводиться параллельно. Но поскольку интересы и опыт автора целиком сосредоточены на инженерной стороне, данная статья далее не касается вопросов преподавания художественного 3D.

3D-моделирование или конструирование?

Начиная работу с детьми по данной тематике, автор не делал четкого различия между этими терминами, однако практика показала, что такое различие есть, и оно чрезвычайно существенно. Под умением **моделировать** автор понимает способность воспроизвести средствами изучаемого пакета САПР некий существующий трехмерный объект, например по найденной в Интернете картинке. Это эквивалентно навыкам чертежника, который может начертить деталь, но не обязан понимать, как она работает.

Собственно **3D-конструирование** – это уже следующий этап развития. К сугубо техническим навыкам инженерного 3D-моделирования должно быть добавлено понимание функционирования и устройства технических систем, умение разработать, по техническому заданию, модель работоспособного технического устройства, для его последующего изготовления. Тут ребенку понадобится и развитое пространственное воображение, и знание физики, и хотя бы базовое понимание свойств различных материалов (на уровне «прочно»/«непрочно», слишком тонко/толсто и т. п.), возможностей и ограничений доступных технологий, стандартных приемов конструирования, умение решать несложные конструкторские (и даже изобретательские) задачи.

Опыт автора по преподаванию **моделирования** в Autodesk Inventor показал, что обучающиеся, начиная с 6-7 класса, достаточно легко и охотно усваивают соответствующие навыки, а затем с энтузиазмом используют их, чтобы моделировать всякие штуковины, найденные в Интернете (на этом этапе у детей уже установилось понимание правила, что взять из Интернета готовую идею для воспроизведения разрешается, но при этом моделирование должно быть выполнено самостоятельно).

При этом, к сожалению, почти у всех детей, даже неплохо овладевших техническими приемами моделирования, любая простейшая «конструкторская» задача (например, придумать деталь, соединяющую несколько других деталей с известной геометрией) вызывает затруднения, переходящие в ступор.

Еще в 2014-2015 учебном году автором была разработана учебная программа по инженерному **3D-моделированию в САПР Autodesk Inventor**, основанная на выполнении упражнений по подробным пошаговым инструкциям. Эта программа показала свою эффективность, однако она не включает общую творчески-конструкторскую подготовку. Автор считает разработку учебной программы именно по основам **конструирования** своей важнейшей задачей на последующие годы.

При этом надо понимать, что 3D-моделирование - только одна из дисциплин, которые должны входить в обучение «основам инженерного мастерства», наряду с отдельными курсами по простым машинам и механизмам, элементами ТРИЗ, электротехникой, цифровой электроникой и программированием. Как найти на все это время в расписании современного вечно занятого ребенка, автор не знает (хотя общество принимает как должное, что для успехов в спорте или в музыке ребенку необходим интенсивный режим ежедневных тренировок, а ведь вырастить из детей *конструкторов, изобретателей или ученых* гораздо важнее!).

«А теперь давайте это изготовим!»

Вот еще несколько понятий, которые нам понадобятся:

Цифровое прототипирование (или производство) - изготовление изделия по компьютерной модели на автоматизированных станках (станках с ЧПУ). Термин «прототипирование» подчеркивает быстрое изготовление единичных экземпляров изделий, с целью физической проверки конструкции. Это именно так ситуация, с которой мы и сталкиваемся на занятиях.

3D-печать – одна из технологий «цифрового производства», при которой детали изготавливаются послойным наращиванием материала (например, тонкой нитью расплавленного пластика, лазерным спеканием тонкого слоя порошка, фотополимеризацией жидкого мономера и др.).

«Цифровая мастерская» (она же **«FabLab»**) - мастерская, оборудованная набором станков для «цифрового прототипирования», в совокупности с преподавателями или инструкторами, которые помогают грамотно и безопасно использовать это оборудование для реализации разнообразных творческих проектов.

Итак, инженерное 3D-моделирование, как образовательный предмет, учит детей моделировать простые технические или декоративные объекты, используя один из доступных пакетов САПР, а затем **физически изготавливать** полученные модели, пользуясь какими-либо из доступных технологий «цифрового прототипирования». Как правило, это 3D-печать, поскольку термоэкструзионные (с выдавливанием пластиковой нити) 3D-принтеры стали в последние годы наиболее доступной и популярной разновидностью станков с ЧПУ, но также широко распространена лазерная резка из листового материала (фанеры, оргстекла) и фрезерование.

Очевидно, что основная и важнейшая часть занятий по инженерному 3D проходит за компьютером, и не требует оборудования более сложного, чем обычный компьютерный класс (хотя и с достаточно быстрыми компьютерами), а вот для физического изготовления моделей требуется сравнительно дорогостоящее и, пока еще, кажущееся экзотическим оборудование.

Возникает вопрос — а не проще ли ограничиться только моделированием, и не связываться со сложными и непонятными технологиями «цифровой мастерской»?

По мнению автора, заниматься инженерным 3D без изготовления готовых изделий – все равно, что учить детей плавать в сухом бассейне. Мы и наши дети со всех сторон окружены готовыми, покупными изделиями фабричного производства, внутреннее устройство которых зачастую скрыто или непонятно. Кажется, что вокруг нас остается все меньше места для *самodelок*, а любая самodelка будет уступать по всем характеристикам покупному аналогу. Таким образом, в людях, в первую очередь в детях, оказывается не востребована и подавлена склонность к техническому творчеству.

Возможность выразить свои идеи, через 3D-модель, в готовом изделии, чрезвычайно важна для детей. На занятиях всегда есть «очередь на распечатку», а реакции постепенно меняются от первоначального «Ничего себе, это ж я сам такое сделал!» до «не вопрос, сейчас нарисую и напечатаю». К ребенку, занимающемуся в «цифровой мастерской», постепенно приходит понимание того, что *он сам* в состоянии смоделировать и изготовить, на современных цифровых станках, уникальный предмет или устройство почти фабричного качества.

Кроме того, инженерное 3D-моделирование и конструирование, подкрепленное доступностью «цифровой мастерской» - это технологическая дисциплина, не завязанная на конкретную область техники и открытая для взаимодействия с «заказчиками» из других технических направлений. Инженерное 3D идеально сочетается, например, с изучением робототехники, с любыми техно-модельными кружками, может использоваться для создания детьми учебных пособий по физике, биологии и другим школьным предметам.

Методика обучения

Автор данной статьи на своем опыте убедился, что эффективное преподавание, в частности инженерного 3D-моделирования, невозможно без подготовленной методики и дидактических материалов. Это особенно наглядно проявляется в доп. образовании, где на занятия приходят, причем нерегулярно, дети самого разного возраста и уровня подготовки.

Только наличие подробных пошаговых инструкций по выполнению учебных заданий, выдаваемых каждому из учеников, позволяет эффективно «загрузить» каждого ребенка в соответствии с его способностями и скоростью усвоения материала, избавив преподавателя от безумных попыток одновременно вести индивидуальные занятия с каждым из детей.

В течение этого (2014-2015) учебного года, автор разработал и продолжает разрабатывать серию иллюстрированных пошаговых уроков 3D-моделирования в Autodesk Inventor. К моменту написания этой статьи, имелось уже более 20 таких уроков (из них 6 по «фанерно-лазерному» моделированию), и эта работа будет продолжаться и далее, по крайней мере до полного покрытия 72-часового учебного курса (36 уроков по 2 часа).

Пошаговые уроки демонстрируют детям основные возможности Autodesk Inventor и некоторые неочевидные приемы работы с ним, и практически показали свою эффективность в начальном обучении инженерному 3D-моделированию.

Однако, по мере обучения, дети все больше переходят от выполнения готовых заданий к реализации собственных идей, и угроза быть «разорванным на множество мелких кусочков» снова нависает над преподавателем.

Очевидно, что следующим шагом развития должна быть внятная методика управления множеством параллельно выполняющихся учебных проектов, а также включение в учебную программу ряда смежных направлений (простые механизмы, изобретательство, электротехника, электроника, программирование микроконтроллеров), без которых «инженерное» 3D-моделирование остается кружком по разработке безделушек.

Оборудование «цифровой мастерской»

«Цифровая мастерская» (FabLab) это уже довольно устоявшееся понятие, тысячи таких мастерских-лабораторий работают по всему миру, поэтому примерный список оборудования для них также уже устоялся. В него обычно включают следующее:

- Достаточное количество компьютерных рабочих мест,
- Станок с ЧПУ для резки листовых материалов, обычно лазерный.
- «Большой» фрезерный станок с ЧПУ, с 3-мя или более осями.
- 3D-принтеры, желательно несколько.
- Оборудование для изготовления печатных плат, например, прецизионный мини-фрезерный станок для их гравировки.
- Рабочие места для разработки, сборки и тестирования микропроцессорной и цифровой электроники.
- Вспомогательный ручной инструмент.

Естественно, оснащение каждой конкретной цифровой мастерской меняется в зависимости от доступных средств и общей направленности обучения/использования. Абсолютный минимум оборудования для занятий инженерным 3D - это компьютерный класс, где выполняется моделирование, и хотя бы один 3D-принтер. *Однако важнейший компонент, необходимый для успешной работы любой цифровой мастерской — наличие подготовленного преподавателя-инструктора!*

Автору данной статьи повезло — в ЦТТиИТ Пушкинского района имеется большая

часть из перечисленного выше оборудования. Далее кратко описан опыт автора по работе с этим оборудованием, с точки зрения его использования в обучении и характерных сильных и слабых сторон:

1) 3D-принтеры. Это основная «рабочая лошадка» 3D-моделиста. Технология 3D-печати позволяет изготовить (с учетом различных ограничений) почти любые геометрические формы. 3D-принтер компактен (сравнительно с другими станками), может быть установлен прямо в классе, прост и безопасен в использовании.

Основным недостатком 3D-принтера является крайняя медлительность, свойственная этой технологии. Время изготовления детали пропорционально ее объему, и кубически зависит от линейных размеров (т.е. при увеличении размеров вдвое, время печати возрастает в 8 раз). В условиях кружка 3D-моделирования (когда время ограничено, а все дети одновременно хотят «распечатать детальку»), это приводит к вынужденной миниатюризации изделий, а следовательно, к существенной потере их привлекательности / полезности.

Существенными недостатками являются также характерная слоистость изделий, малая точность и небольшой выбор материалов (пластиков).

Доступность: в С-Петербурге существует не менее десятка магазинов 3D-техники, предлагающих множество моделей 3D-принтеров. По состоянию на март 2015, цены начинаются от 45 тыс. руб. за простейшие полу-самодельные модели с одним экструдером, до 150-200 т.р. за качественные модели с закрытым корпусом и двумя экструдерами. Основным расходный материал, пластик ABS или PLA, доступен по ценам от 1300 руб/кг.

2) Лазерный станок. Его основные преимущества — скорость работы и доступность листовых материалов. Время изготовления зависит от размеров линейно, поэтому можно очень легко и быстро «нарезать на лазере» изделия, изготовление которых методом 3D-печати непрактично или невозможно. Лазерный станок прост в использовании, однако требует строгого соблюдения мер безопасности. При резке образуется заметное количество дыма и других продуктов сгорания, поэтому станок обязательно должен быть подключен к вытяжной вентиляции или оборудован дымопоглотителем.

Простейшее, и наиболее понятное, использование лазерного станка — для изготовления плоских изделий (типа «дощечка с картинкой»). На занятиях по инженерному 3D-моделированию, автор старается избегать такого примитивизма, делая упор именно на моделировании объемных конструкций для вырезания из плоских деталей на лазерном станке. По мере освоения этих навыков (и при некотором давлении преподавателя), дети охотно делают работы «для лазера» (а не «для печати»), поскольку это дает возможность быстро получить красивые и интересные предметы.

По мнению автора, основное ограничение лазерного станка — его «двухмерность» - в условиях учебного процесса является скорее интересной особенностью, способствующей развитию изобретательности и конструкторских способностей детей. Наличие лазерного станка крайне полезно для цифровой мастерской.

Доступность: станки для лазерной резки можно условно разделить на «фирменные» (европейских или американских производителей) и «дешевые китайские». «Фирменные» станки имеют более привлекательные характеристики, но и цены начинаются от 1.5 млн. рублей. В то же время, можно найти станки китайских производителей по ценам 300-500 тыс. рублей. Основным расходный материал — тонкая фанера (3-4 мм) или оргстекло (полиакрил).

3) Фрезерный станок с ЧПУ. Часто в фаблабах используется два варианта фрезеров - «большой» с плоским столом (flatbed CNC mill), предназначенный, в первую очередь, для раскроя и обработки крупных плоских деталей, таких как элементы мебели, и мини-фрезер, для изготовления точных мелких деталей. «Большой» фрезер может кроить материал, слишком толстый для лазерного станка, и выполнять на нем рельефные работы, в то время

как «малый» фрезер незаменим там, где нужна точность и высокое качество обработки поверхности, например, при изготовлении деталей механизмов.

В практике автора, фрезерный станок в учебном процессе используется лишь эпизодически. В отличие от технологий, описанных выше, правильное фрезерование не просто, и требует профессионального обучения преподавателя. Нужно уметь правильно подобрать и закрепить заготовку, подобрать инструмент, выбрать режимы резания. Фрезы недешевы и имеют свойство ломаться из-за неправильного обращения или дефектов материала. При работе, станок создает шум и вибрации, в изобилии производит стружку и пыль, поэтому должен устанавливаться в отдельном помещении. Высокоскоростной режущий инструмент травмоопасен, поэтому должны приниматься меры ограждения работающего станка от детей.

Можно сказать, что наличие фрезерного станка является очень полезным для продвинутого полу-профессионального Фаблаба, но едва ли может быть рекомендовано в составе «стартового набора».

Заключение

- На основе своего опыта автор убедился, что обучение детей, начиная с 6-7 класса, основам инженерного 3D-моделирования и конструирования возможно, целесообразно, продуктивно, с энтузиазмом воспринимается детьми и приносит им реальную пользу.
- Сочетание компьютерного моделирования и физического изготовления смоделированных изделий чрезвычайно важно и позволяет раскрыть творческий потенциал ребенка в технической области.
- Автор находится в процессе разработки методики обучения и комплекта пошаговых инструкций-уроков, которые позволяют быстро освоить принципы параметрического твердотельного 3D-моделирования, на примере САПР Autodesk Inventor.
- Качественное обучение современного «самодельщика» и, по сути, развитие у детей базовых инженерно-конструкторских и изобретательских навыков, должно включать, кроме 3D-моделирования, целый комплекс смежных дисциплин.

Автор данной статьи с радостью и гордостью наблюдает за успехами и общим развитием многих из своих учеников, но вместе с тем отчетливо сознает, насколько серьезные и комплексные задачи еще предстоит решить в последующие годы, чтобы это развитие не теряло, а ускоряло свой темп.