

ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ВО ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ ОСНОВНОГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Фаритов Анатолий Тависович,

*аспирант ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет
имени И.Н. Ульянова», г. Ульяновск*

В СТАТЬЕ АВТОРОМ РАССМОТРЕН ВОПРОС ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ. ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛУЧЕНЫ ПОСРЕДСТВОМ ПЕРВИЧНОГО СОДЕРЖАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТ-АНАЛИЗА ТЕМАТИЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, ОБОБЩЕНИЯ И СТРУКТУРИРОВАНИЯ СОБРАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДСТАВЛЕНЫ СОВОКУПНОСТЬЮ ОБЩЕНАУЧНЫХ (ОПИСАНИЕ, СРАВНЕНИЕ, ОБОБЩЕНИЕ, ГИПОТЕТИКО-ИНДУКТИВНЫЙ МЕТОД, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ) И ЧАСТНО НАУЧНЫХ (ОПИСАТЕЛЬНЫЙ КОНТЕНТ-АНАЛИЗ) МЕТОДОВ. В СООТВЕТСТВИИ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРОВЕДЁННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В РАБОТЕ ОБОСНОВАНА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ УЧАЩИХСЯ ОСНОВНОГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, ПРИВОДЯТСЯ ПРИМЕРЫ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ КАЖДОЙ ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ.

• основное общее образование • инженерная компетенция • 3D-принтер • прототипирование • моделирование • аддитивная технология • учебный процесс • послойная печать • трёхмерная графика • пространственное мышление

Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ) в 2018 г. провёл исследование по определению профессий, которые граждане России считают наиболее престижными. Так, наиболее привлекательной является профессия врача — 26% респондентов, тогда как только 8% респондентов предпочли профессию инженера. Стоит отметить, что в 2006 г. инженерную деятельность считали привлекательной всего лишь 2%. Сегодня более четверти россиян (28% респондентов) утверждают, что на их выбор профессии повлияли «собственные интересы и увлечения», однако 23% респондентов (в возрасте 18–24 года) признались, что так «сложилось обстоятельство» [1].

По данным исследования, проведённого А.В. Меренковым и соавт., только у 43% абитуриентов имеется возникшая в школе потребность в получении инженерного образования (при этом указанная потребность возникла в последние 1–2 года обучения), у 40% абитуриентов выявлено желание получить любое техническое образование. По другим данным, предостав-

ленным авторами, лишь порядка 14% абитуриентов определились со своей будущей инженерной специальностью до 8–9-го классов школы [2]. Приведённые сведения наглядно свидетельствуют о том, что инженерное образование, осуществляемое в профильных классах, не решает проблем с профессиональной ориентацией. Здесь затронут значимый вопрос о гранях профориентационной работы, которая предусматривает как раннее выявление способностей учащихся с рекомендацией получения соответствующих им специальностей, так и раннюю работу по развитию выявленных качеств и свойств личности. В этой связи следует подчеркнуть важность профориентационной функции инженерной деятельности.

Технология 3D-прототипирования на сегодняшний день является одной из актуальных. Исследованию проблемы применения 3D-печати в образовательном процессе посвящены работы учёных: А.М. Лейбова, Р.В. Каменева, Р.Ф. Салахова, О.А. Филипповой, М.А. Гриц и др. Использование 3D-принтера во внеурочной деятельности рассмотрено

в трудах И.С. Головки, А.М. Рытова, Е.В. Игониной, Л.А. Липницкого, В.В. Зеленцова, В.С. Заседатель, А.П. Сябенко и др. В работах перечисленных авторов представлен ответ на вопрос о целесообразности и пользе применения 3D-печати в обучении, но не даётся конкретная технология применения аддитивного оборудования во внеурочной деятельности учащихся основного общего образования.

Так, О.А. Филиппова рассматривает технологию 3D-печати в качестве вспомогательного инструмента в процессе обучения профильным дисциплинам. Учащиеся распечатывают недостающие детали к конструируемому изделию, состоящему из различных материалов (металл, дерево и т.д.), изготавливают компоненты для электрических схем, цепей и процессоров. В работе учащихся данный автор отводит прототипирование на второй план [3].

Исследователь Р.Ф. Салахов в своей работе определяет роль 3D-печати при выполнении практической части лабораторных работ. Учащиеся переносят свои идеи с чертежа в 3D-программу для дальнейшей печати. Так, студенты инженерных специальностей могут получить прототип реактивного двигателя или автомобиля, студенты-дизайнеры — смоделировать исторический артефакт [4].

М.А. Гриц отмечает достоинства применения аддитивной технологии, такие как наглядность обучения, развитие творческих способностей, мотивации учащихся. 3D-принтер можно использовать для печати уменьшенной копии реальных объектов, больших моделей сложных форм, геометрических фигур. 3D-технологию автор относит к активным методам обучения, направленным на активизацию исследовательской деятельности учащихся [5].

По мнению Л.А. Липницкого, 3D-печать в образовательном процессе развивает у учащихся мышление, способствует возрастающему интересу к обучению и профессии инженера. Школьники не просто моделируют объект на компьютере, но и воочию видят результат своего труда у себя в руках, производят различные манипуляции и приходят к выводу, правильно ли построена модель, необходима ли доработка.

Появляется возможность сопроводить свой проект наглядным материалом [6].

Согласимся с мнением И.С. Головки о том, что применение технологии 3D-прототипирования во внеурочной деятельности активизирует творческие способности, повышает познавательный интерес, направлено на раннюю профориентацию учащихся. В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта второго поколения (ФГОС) основу технологии обучения составляет принцип метапредметности [7].

3D-моделирование мы будем трактовать как процесс создания виртуального трёхмерного объекта в графической компьютерной программе или системе автоматизированного проектирования (САПР) [7–9]. Программное обеспечение включает в себя несколько функций: создание объекта и сцены; рендеринг (визуализация) модели; анимация объекта; передача данных для печати на 3D-принтер.

Выделим основные способы моделирования.

1. Полигональный. Наиболее распространённый и популярный способ, заключается в редактировании сетки полигонов, состоящих из вершин, рёбер, граней. Применяется для создания моделей любых органических и неорганических объектов. Преимущество данного способа — в возможности «упрощения» структуры объекта: перевод в низкополигональную модель, что значительно экономит ресурсы и время печати.
2. Сплайновый. Используются кривые или сплайны. Объекты состоят из геометрических фигур (дуга, окружность, прямоугольник и т.д.), что обеспечивает плавные формы. Применяется для создания моделей растений, людей и животных, в мультипликации и кинопроизводстве.
3. Точный способ построения моделей применяется в системах САПР (Blender, DesignSpark, 3D Builder). С помощью математических формул производят построение цельных форм сложных объектов. При масштабировании изделия качество не теряется.

Большинство программных продуктов способны конвертировать модель в файл с расширением STL, который необходим для работы 3D-принтера. Необходимо оптимизировать разработку в 3D-редакторе, увеличив число полигонов, «сгладить» поверхность для получения качественного результата.

Сегодня существует множество программных продуктов для 3D-моделирования (табл. 1). На наш взгляд, начинать изучение инженерного дела необходимо с программного комплекса 123D Design, которое отличается интуитивным и понятным интерфейсом. Учащиеся 5–6-х классов с лёгкостью освоят работу с примитивами (базовыми фигурами) и модификаторами над ними [7]. Для проектирования сложных моделей с 7-го класса возможно применять программу Blender 3D. Это бесплатный продукт для создания и редактирования трёхмерных объектов, который практически не уступает платным пакетам 3D-графики, таким как 3Ds MAX, Maya. Учащиеся с лёгкостью освоят работу с полигонами, сплайнами или кривыми Безье, а булевы операции помогут облегчить решение поставленных задач. Большое количество модификаторов позволяют смоделировать любой по сложности объект. Всегда есть возможность отредактировать, исправить или дополнить 3D-модель. Просмотр объекта в разных проекциях, режим «вращения сцены» делают процесс наглядным, интересным и познавательным.

Под 3D-прототипированием мы понимаем технологию послойной печати (тонкой полимерной нитью, склеивание порошков, ламинирование листовых материалов и др.) физического объекта на основе компьютерной модели с целью изучения свойств, анализа работы, проведения эксперимента [4, 5, 10].

На сегодняшний момент технология 3D-печати применяется в различных областях деятельности: архитектуре, медицине, современном искусстве и даже в пищевом производстве [11].

Другое название данной технологии — аддитивное производство, представляющее собой процесс создания объектов из поли-

меров по цифровому файлу. Одним из типов этой технологии является послойная печать расплавленной полимерной нитью — Fused Deposition Modeling (FDM) [9]. Изделие получается путём последовательного наложения слоёв материала. Каждый из слоёв является тонким поперечным сечением объекта. Печать происходит с помощью экструдера, который под высокой температурой выплавляет пластиковую нить. В зависимости от принтера толщина нити может варьироваться от 15 до 50 микрон [6]. Точность и качество конечного продукта зависят от запрограммированной скорости печати, используемого материала и типа экструдера. Время печати одной небольшой модели составляет несколько часов. В последние десять лет технология 3D-печати стала более доступной. Принтеры с высоким разрешением, простые в использовании можно приобрести для работы в общеобразовательных учреждениях [9].

В качестве материала применяют термопласты. Наиболее распространёнными являются два вида. Полилактид (PLA) относится к биоразлагаемым веществам, в основе которых — сахарный тростник и кукуруза. При 3D-печати данные материалы не нуждаются в охлаждении, нет необходимости в подогреваемой рабочей области со специальным покрытием, отсутствуют вредные испарения и химический запах. Именно PLA является самым распространённым видом материала при использовании в домашних условиях или учебных заведениях [11]. Однако PLA-пластик недолговечен из-за химического состава: созданный прототип прослужит не больше года. Печать с ABS (акрилонитрил бутадиен стирол) обеспечит ударопрочность. В составе использованы нефтяные продукты, что позволяет избежать разложения. Из ABS получают различные изделия, например детали детского конструктора. К плюсам материала можно отнести широкую цветовую гамму, глянцевую поверхность готового изделия, возможность корректировки и доработки после печати. Учитывая вышесказанное, можно однозначно утверждать, что ABS-пластик предпочтительнее использовать на занятиях по внеурочной деятельности при «чистой» печати, а для пробной печати хорошо подходит PLA-материал.

Программное обеспечение для 3D-моделирования, доступное для 3D-печати

Программный продукт	Сайт разработчика	Лицензия	Плюсы/минусы
Sketchup	www.sketchup.com	Бесплатное программное обеспечение (за дополнительные функции предусмотрена оплата)	+ Лёгкость освоения, простота интерфейса; + подходит для дизайна интерьеров, архитектуры зданий; + доступна база моделей; – отсутствие возможности моделировать органические объекты; – нет инструментов редактирования искривлённых поверхностей; – конвертация в STL требует наличия дополнительного плагина
123D Design	www.autodesk.com	Бесплатное программное обеспечение (за дополнительные функции предусмотрена оплата)	+ Интерфейс понятен и интуитивен; + библиотека объектов; + легко сделать простой объект; – нет детализации модели
Blender 3D	www.blender.org	Бесплатное программное обеспечение	+ Полигональное и сплайновое моделирование; + режим «лепки» и частиц объектов; + не требует мощной конфигурации компьютера
Компас-3D	www.kompas.ru	Коммерческое программное обеспечение	+ Большой функционал для двумерного черчения и пространственного проектирования; + максимально подходит для обучения будущих инженеров; + удобный интерфейс; – нефотореалистичные изображения, нет привлекательности, для детей 5–7-х классов будет скучной; – ограниченность в пространственном моделировании; – высокая цена
Autodesk Maya, 3Ds MAX	www.autodesk.com	Коммерческое программное обеспечение	+ Много инструментов для работы с объектами при полигональном и сплайновом моделировании; + дополнительные встроенные плагины для моделирования динамики твёрдых тел; – сложность обучения; – требует мощных компьютеров; – большая стоимость

Порядок создания 3D-прототипа включает следующие этапы:

- 1) компьютерное моделирование. Построение объектов в графической программе;
- 2) конвертирование в формат STL для передачи данных на 3D-принтер. Расположение объекта на печатном столе. Выбор масштаба, разрешения печати или степени детализации модели (количество треугольников на поверхности);
- 3) генерирование G-кода. Специальная программа-слайсер готовит маршрут или траекторию направления движения экструдера принтера, разбивая модель на горизонтальные пластины;
- 4) подготовка 3D-принтера. Загрузка полимерной нити, оборудование рабочей зоны;
- 5) печать 3D-объекта. Платформа передвигается по вертикальной оси, экструдер, двигаясь в горизонтальной плоскости,

- выплавляет полимерную нить, формируя объект по слоям;
- 6) доработка изделия после печати. Необходимо удалить вспомогательные поддерживающие конструкции, выступы, неровности, придать фактуру поверхности;
 - 7) эксперимент. Произвести необходимые измерения, испытания, изучить свойства модели. Внести корректировки в компьютерную модель.

Внедрение 3D-прототипирования в образовательный процесс нам представляется в четыре последовательных шага.

1. Базовое обучение работе в среде программ 3D-моделирования.
2. Ознакомление с принципами работы 3D-принтера.
3. Интеграция урочной и внеурочной деятельности.
4. Выполнение проектной деятельности, кейс-метод.

Проекты по 3D-прототипированию должны предусматривать разработку учащимися собственных уникальных моделей, обладающих определённой практической или эстетической пользой. То есть необходимо не просто произвести печать, а выявить потребность, определиться с параметрами, разработать модель и получить готовый продукт. Сложность применения 3D-принтера во внеурочной деятельности состоит в том, что на учебных занятиях устройство и принцип работы 3D-печати не изучаются. Поэтому при формировании учебной группы необходимо рассмотреть принцип работы 3D-принтера. Объяснить настройку программного обеспечения, установку оптимальных параметров печати, особенности подбора материала, реальные способности принтера к печати тех или иных предметов, алгоритм построения модели и др. Целесообразным представляется синтез урочных и внеурочных форм работы, когда базовое обучение 3D-печати будет производиться на основе блочно-модульной программы на начальном этапе деятельности совместной группы.

3D-прототипирование — это новый мир образовательных возможностей для современного подростка. Из пассивных потребителей готовых товаров и услуг учащиеся

становятся креативными изобретателями. Изучать строение объектов, модифицировать, дорабатывать, вносить новые элементы, придумывать собственные, — всё это способствует развитию познавательной и творческой деятельности школьников, критического мышления, формированию исследовательских навыков.

Опыт автора по ведению внеурочной деятельности в гимназии показывает, что учащиеся с 5-го класса, проявляя неподдельный интерес, с лёгкостью осваивают азы 3D-моделирования. Учащиеся создают рисунки (чертежи) на бумаге, которые учитель затем переносит в 3D-программу, корректирует и распечатывает на 3D-принтере. Из-за высоких температур экструдера принтера нецелесообразно, чтобы дети в этом возрасте работали с аппаратом. В дальнейшем, в 7–9-х классах, учащиеся уже самостоятельно разрабатывают модели в системе компьютерной графики и под присмотром преподавателя работают с 3D-принтером.

Приведём несколько примеров применения 3D-печати при изучении тем из различных областей науки.

Занятия необходимо проводить в качестве внеурочной деятельности, используя междисциплинарные связи. 3D-печать можно применить при изучении математики в 5-м классе, проводя занятия параллельно с уроками по учебному плану для лучшего понимания того или иного материала. Так, например, при изучении темы «дроби» или «проценты» можно визуализировать части целой фигуры. Необходимо создать сферу, состоящую из различных сегментов. Сегменты имеют разные размеры: $1/16$, $1/8$, $1/4$ или $1/2$ (рис. 1). Собрать сферу можно



Рис. 1. Пример модели для печати.
1/4 часть сферы

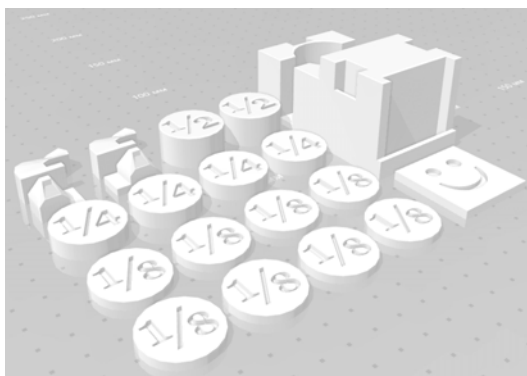


Рис. 2. Пример модели для печати.
Игра «живот зверя»

различными способами, закрепив её в специальном держателе. Также интересна будет игра «живот зверя» (рис. 2). С помощью прямоугольников разной высоты необходимо заполнить полость внутри фигуры и дополнить элементами: лапами, хвостом и мордочкой. Такие игры позволяют не просто мысленно представить части от целого, а почувствовать материальные объекты в своих руках, производить с ними различные манипуляции.

При изучении темы «единицы измерения» учащимся можно предложить разработать различные конструкции. Так, для понимания времени ученики моделируют настенные часы. Большая и малая стрелки, все элементы циферблата напечатаны на 3D-принтере. Для визуализации единиц измерения массы нами предлагается применить простую игру — математические качели, или весы. Используется шкала от 0 до 10 с обеих сторон (рис. 3). Для балансировки весов необходимо навесить небольшие прямоугольные плашки. Данная игра позволяет отработать вычислительные навыки, такие как сложение, вычитание, деление и умножение.

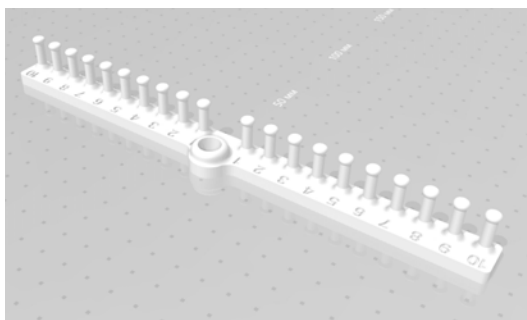


Рис. 3. Пример модели для печати.
Математические качели

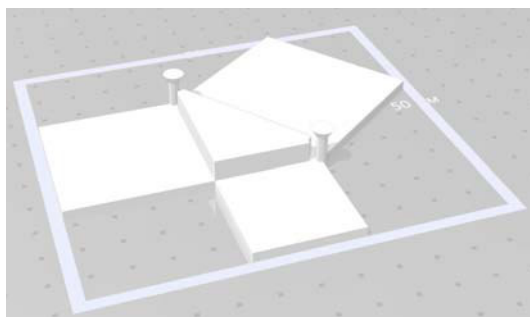
Начиная с 7-го класса, учащиеся могут проектировать, изменять и дорабатывать собственные 3D-модели в графической программе, прибегая к помощи учителя. Необходимость делать бумажный чертёж отпадает, так как программные средства позволяют редактировать модель (менять размер, форму и т.п.), исправлять недочёты, видеть результат непосредственно на экране монитора компьютера. Однако предварительный рисунок необходим для более глубокого понимания конечного результата прототипирования.

Рассматривая темы о взаиморасположении фигур в пространстве, о симметрии, изучая понятия «поворот» и «движение» при прохождении курса геометрии, учащиеся могут придумать и изобразить объекты, части которых поддаются симметрии относительно прямой или при вращении. Далее ученики выбирают наиболее интересные из них для печати на 3D-принтере. Данная работа позволяет детям почувствовать и понять взаиморасположение объектов и их свойства посредством кинестетического обучения. В качестве примера можно привести мозаику Эшера (рис. 4). Дети создают шаблоны для печати, как для игры-головоломки. При поиске подходящих элементов у учащихся развивается математическое мышление.

В математике 3D-печать применима как для понимания натуральных чисел, так и проектирования сложных форм и объектов, для изменения тел в пространстве. Учащиеся применяют творческие способности и математическое мышление для создания интересных и необычных проектов для печати на 3D-принтере. При изучении темы «уравнения» можно разработать нестандартную игру по принципу весов.



Рис. 4. Пример модели для печати.
Элементы мозаики Эшера



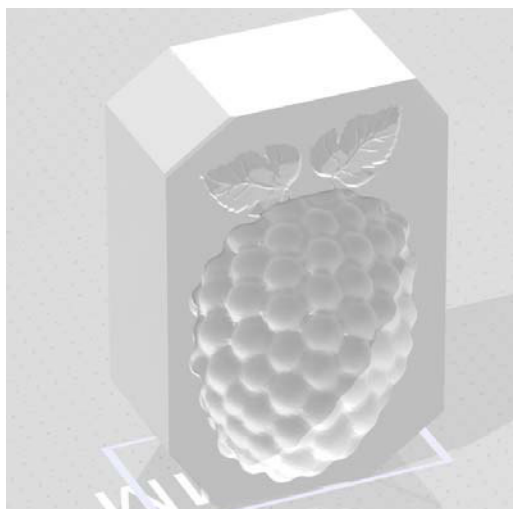
*Рис. 5. Пример модели для печати.
Доказательство теоремы Пифагора*

Пронумерованные кубики имеют одинаковую массу, что позволяет работать с многозначными числами, составляя из них различные комбинации. Весы являются статичными и служат больше для наглядного смысла понятия «уравнение».

При изучении сложной для понимания геометрического смысла теоремы Пифагора можно придумать трёхмерную версию теоремы, это позволит учащимся увидеть, как квадраты сторон соотносятся друг с другом. Есть один прямоугольный треугольник, на сторонах которого построено три квадрата (рис. 5). Два меньших квадрата заполняются маленькими элементами, далее из этого количества элементов заполняется большой квадрат, что и демонстрирует теорему Пифагора в реальности.

Для мотивации к использованию 3D-печати можно предложить детям создать элементарные вещи, которые они могут забрать с собой и использовать в домашнем быту: например, различные формы для мороженого (рис. 6) или пресс-формы для домашних бургеров, пластмассовый нож для резки пиццы и т.п. Всё это пробудит интерес и мотивирует детей повышать свой уровень 3D-моделирования и прототипирования для создания более сложных инженерных конструкций.

Познакомив учащихся с азами черчения и сформировав у них начальные навыки работы с программой 3D-моделирования, можно переходить к проектам в области инженерии. Например, винт Архимеда — устройство для транспортировки воды вверх по склону, которое используется до сих пор во многих отраслях производства (рис. 7). Данный проект можно задать учащимся одним из первых. Он не требует



*Рис. 6. Пример модели для печати.
Форма для мороженого*

специальных знаний в области физики или инженерного дела и состоит из четырёх деталей: винта, полый трубы, подставки и носика для слива воды в ёмкость.

Современный мир — это мир энергосберегающих технологий. Поэтому изучение альтернативной энергетики будет актуальной темой для прототипирования. В модели ветрогенератора основные детали для проектирования и последующей печати это лопасти и крепёжный столб (рис. 8). Ротор с электрическими проводами можно заимствовать из детского конструктора. Однако, если уровень учащихся достаточно высок, то можно разработать турбину самостоятельно. Это требует более детального изучения дополнительной литературы, схем и чертежей.

Аэрокосмонавтика открывает широкий спектр для фантазии учащихся. Например, им будет интересно заняться моделированием марсохода со сложной структурой



*Рис. 7. Пример модели для печати.
Элементы винта Архимеда*



*Рис. 8. Пример модели для печати.
Ветрогенератор*

подвески. Здесь нет шурупов, винтов или клея. Все детали должны плотно совмещаться между собой и поворачиваться вокруг осей. Главная цель — преодоление препятствий.

Несомненно, одним из сложных проектов является прототип реактивного двигателя. Вдохновившись реальной работой космического аппарата и упростив некоторые его конструктивные особенности, более опытные ученики очень увлечённо моделируют около 30 деталей для печати на 3D-принтере. Здесь есть и воздухозаборник, и камера внутреннего сгорания, и различные шестерёнки, которые приводятся в движение (рис. 9). Данная модель является отличным инструментом для изучения инженерного дела, проектирования и 3D-печати.



*Рис. 9. Пример модели для печати.
Реактивный двигатель
(источник: www.thingiverse.com)*

В процессе проектной работы учащиеся составляют план действий по прототипированию объекта, разбитый по этапам, начиная от постановки целей и проблемы и заканчивая описанием предполагаемых результатов. Учитель оценивает правильность чертежа, сложность и функциональность модели. Ученики переносят объекты с бумаги в программу 3D-моделирования. Они проводят необходимые измерения, доработки, проверяют правильность расположения на печатном столе для экономии ресурсов; под присмотром учителя работают с 3D-принтером. Затем проводится занятие в виде конференции, на которой учащиеся защищают проект с демонстрацией работы спроектированного изделия и доказывают целесообразность его использования в реальности.

Внеурочная деятельность по 3D-прототипированию формирует инженерную компетенцию, развивает творческие способности учащихся, позволяет педагогу применять широкий спектр возможностей проектного подхода в обучении. Учащиеся применяют знания, умения и навыки на практике при проектировании объектов, изучают их физические свойства, функционирование и действие в различных сферах деятельности. Внедрение новой технологии 3D-моделирования и прототипирования популяризирует инженерную профессию, позволяет школьникам сделать шаг к выбору своего будущего [9].

3D-моделирование и прототипирование могут быть прекрасным средством для повышения творческой активности учащихся и понимания учебного материала. Но только при верном методологическом подходе принесут пользу. Правильное планирование внеурочной деятельности в соответствии с возрастом школьников добавит креативную линию в обучение. 3D-прототипирование — это часть большого набора средств в педагогике, которые обеспечивают высокие результаты обучения школьников, обогащают их опыт, который будет необходим в дальнейшей профессиональной деятельности после окончания обучения.

Получить задуманную модель не просто на экране монитора, но и в пластмассовой копии — это прекрасный способ разнообразить учебный процесс, придать ему

наглядность, а также мотивировать детей к инженерному делу.

3D-моделирование и прототипирование предоставляют большие возможности учащимся для реализации своих самых смелых творческих замыслов: от элементарных предметов домашнего быта до сложных технических устройств, макетов зданий. □

Литература

1. Данные опроса ВЦИОМ: Престиж и доход: какие профессии выбирают россияне? №3799 24 октября 2018 г. [Электронный ресурс]. — URL: <http://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9387> (дата обращения: 23.11.2019).
2. Меренков А.В., Артем О.Я. Потребность в техническом образовании у выпускников школ // Дискуссия. — М.: ООО «Институт современных технологий управления». — 2015. — № 3 (55). — С. 85–90.
3. Филиппова О.А. Применение технологии трёхмерной печати в учебном процессе по дисциплине «Инженерная графика» // Наука, Техника и Образование. — Иваново: Олимп. — 2015. — № 10 (16). — С. 126–130.
4. Салахов Р.Ф., Салахова Р.И., Гаптраупова З.Н. Возможности 3D-печати в образовательном процессе // Филологические науки. Вопросы теории и практики. — Тамбов: ООО «Грамота». — 2017. — № 6–2 (72). — С. 196–198.
5. Гриц М.А., Дегтярева А.В., Чеботарева Д.А. Возможности 3D-технологий в образовании // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. — Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». — 2015. — Т. 2. — № 11. — С. 925–927.
6. Липницкий Л.А., Пильгун Т.В. Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процессе // Системный анализ и прикладная информатика. — Минск: Белорусский национальный технический университет. — 2018. — № 3. — С. 76–82.
7. Головки И.С. Инженерное 3D-моделирование и прототипирование в школе // Наука и образование: векторы развития. Современные тенденции развития школ-интернатов и коррекционных образовательных учреждений России: тезисы докл. Всерос. конф. (Чебоксары, 24 октября 2016 г.). — Чебоксары, 2016. — С. 266–271.
8. Рытов А.М. Из опыта обучения детей 6–9 классов основам инженерного 3D-моделирования и прототипирования [Электронный ресурс] // ЦДЮТТИТ Пушкинского района Санкт-Петербурга. — URL: <http://cttit.ru/metod/Опыт%20обучения%203D%20-%20статья%20-%20Рытов.pdf> (дата обращения: 23.11.2019).
9. Каменев Р.В., Лейбов А.М., Осокина О.М. Применение 3D-принтеров в образовании // Решетневские чтения. — Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». — 2014. — Т. 3. — С. 83–87.
10. Лейбов А.М., Каменев Р.В., Осокина О.М. Применение технологий 3D-прототипирования в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. — Пенза: Издательский Дом «Академия Естественных наук». — 2014. — № 5. — С. 93–101.
11. Канесса Э., Фонда К., Зеннаро М. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития. — М.: МЦТФ, 2013. — 192 с.

Literatura

1. Dannyye oprosa VTSIOM: Prestizh i dokhod: kakiye professii vybirayut rossiyane? №3799 24 oktyabrya 2018 g. [Elektronnyy resurs]. — URL: <http://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9387> (data obrashcheniya: 23.11.2019).
2. Merenkov A.V., Artem O.Ya. Potrebnost' v tekhnicheskom obrazovanii u vypusknikov shkol // Diskussiya. — M.: ООО «Institut sovremennykh tekhnologiy upravleniya». — 2015. — № 3 (55). — S. 85–90.
3. Filippova O.A. Primeneniye tekhnologii trokhmernoy pechati v uchebnom protsesse po distsipline «Inzhenernaya grafika» // Nauka, Tekhnika i Obrazovaniye. — Ivanovo: Olimp. — 2015. — № 10 (16). — S. 126–130.
4. Salakhov R.F., Salakhova R.I., Gaptraupova Z.N. Vozmozhnosti 3D-pechati v obrazovatel'nom protsesse // Filologicheskiye nauki. Voprosy teorii i praktiki. — Tambov: ООО «Gramota». — 2017. — № 6–2 (72). — S. 196–198.

5. *Grits M.A., Degtyareva A.V., Chebotareva D.A.* Vozможности 3D-tekhnologiy v obrazovanii // Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki. — Krasnoyarsk: FGBOU VO «Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologiy imeni akademika M.F. Reshetneva». — 2015. — Т. 2. — № 11. — S. 925–927.
6. *Lipnitskiy L.A., Pil'gun T.V.* Additivnyye tekhnologii i ikh perspektivy v obrazovatel'nom protsesse // Sistemnyy analiz i prikladnaya informatika. — Minsk: Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskii universitet. — 2018. — № 3. — S. 76–82.
7. *Golovko I.S.* Inzhenernoye 3D-modelirovaniye i prototipirovaniye v shkole // Nauka i obrazovaniye: vektory razvitiya. Sovremennyye tendentsii razvitiya shkol-internatov i korrektsionnykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniy Rossii: tezisy dokl. Vseros. konf. (Cheboksary, 24 oktyabrya 2016 g.). — Cheboksary, 2016. — S. 266–271.
8. *Rytov A.M.* Iz opyta obucheniya detey 6–9 klassov osnovam inzhenernogo 3D-modelirovaniya i prototipirovaniya [Elektronnyy resurs] // TSDYUTTIT Pushkinskogo rayona Sankt-Peterburga. — URL: <http://cttit.ru/metod/Opyt%20obucheniya%203D%20-%20stat'ya%20-%20Rytov.pdf> (data obrashcheniya: 23.11.2019).
9. *Kamenev R.V., Leybov A.M., Osokina O.M.* Primeneniye 3D-printerov v obrazovanii // Reshetnevskiye chteniya. — Krasnoyarsk: FGBOU VO «Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologiy imeni akademika M.F. Reshetneva». — 2014. — Т. 3. — S. 83–87.
10. *Leybov A.M., Kamenev R.V., Osokina O.M.* Primeneniye tekhnologiy 3D-prototipirovaniya v obrazovatel'nom protsesse // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. — Penza: Izdatel'skiy Dom «Akademiya Yestestvoznaniya». — 2014. — № 5. — S. 93–101.
11. *Kanessa E., Fonda K., Zennaro M.* Dostupnaya 3D-pechat' dlya nauki, obrazovaniya i ustoychivogo razvitiya. — M.: MT-STF, 2013. — 192 s.