

Образовательные ресурсы и лучшая практика ИТ-образования

УДК 004.356.2

Иголина Е.В.¹, Дружинина О.В.²

¹Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ FDM-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ И ПРОТОТИПИРОВАНИИ 3D-ОБЪЕКТОВ

Аннотация

В статье дан сравнительный анализ аддитивных технологий, используемых при прототипировании 3D-объектов, и охарактеризованы особенности FDM-технологии. Описаны параметры 3D-принтера, использующего FDM-технология, а также предложены варианты его модификации. Обозначены перспективы применения полученных результатов по совершенствованию процесса 3D-печати и разработанных предложений по моделированию технических систем в учебных курсах для студентов и аспирантов ИТ-специальностей.

Ключевые слова

Аддитивные технологии; FDM-технология; прототипирование, трехмерная печать, моделирование технических систем, использование FDM-технологий в образовательном процессе.

Igonina E.V.¹, Druzhinina O.V.²

¹Bunin Yelets State University, Yelets, Russia

²Federal Research Center Computer Science and Control of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

PARTICULAR QUALITIES OF THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF FDM-TECHNOLOGY FOR CREATING AND PROTOTYPING 3D-OBJECTS

Abstract

The article gives comparative analysis of additive technologies used in prototyping 3D-objects, and features of the FDM-technology are characterized. The parameters of the 3D printer using FDM-technology are described, and also variants of its modification are offered. The prospects for applying the obtained results to improve the process of 3D-printing and developed proposals for the modeling of technical systems in training courses for students and postgraduates of IT-specialties are indicated.

Keywords

Additive technologies; FDM-technology; prototyping; three-dimensional printing; modeling of technical systems; use of FDM-technologies in the educational process.

Введение

Разработка и применение аддитивных технологий создания и прототипирования трехмерных объектов и единичных изделий различного уровня сложности из широкого спектра материалов является интенсивно развивающимся направлением. В настоящее время

инновационные технологии 3D-печати активно востребованы в различных областях деятельности, таких как машиностроение, архитектура, медицина, искусство, сфера дизайна, пищевое производство, а также имеют значительные перспективы применения в науке и образовании [1-4]. Благодаря своим особенностям и весоному

потенциалу, они постепенно внедряются в образовательный процесс учебных заведений всех уровней образования. Находясь под пристальным вниманием многих педагогов-исследователей и педагогов-практиков [1–12], указанные технологии рассматриваются не только в качестве предмета изучения, но и как движущий фактор в появлении новых форм обучения, исследовательских методик, как один из приемов повышения уровня мотивации обучающихся, как способ развития новых компетенций учащихся и преподавателей.

На сегодняшний день имеют место проекты по обеспечению средних образовательных технических учреждений и школ устройствами 3D-печати [5], постепенно разрабатываются методики обучения с помощью применения аддитивных технологий [6]. В [7] дано описание использования персональных печатающих устройств в 5–7 классах. Однако более широкое и эффективное применение технологии быстрого прототипирования могут найти в образовательном процессе ВУЗов, где учебная деятельность находится в тесной взаимосвязи с исследовательской [8–12].

Основные этапы внедрения технологий быстрого прототипирования в учебный процесс ВУЗа представлены в [9]. Рассмотрены технологические процессы и материалы, которые могут применяться в зависимости от поставленных задач, а также перечислены возможные сферы применения технологии в различных направлениях подготовки, предложены методики развития необходимых компетенций и организации работы с оборудованием для преподавателей, которые предполагают разрабатывать свои учебные материалы. В [6] даются рекомендации по выбору аппарата прототипирования для его использования в образовательном процессе, описываются методические и педагогические аспекты применения данной технологии на примере изучения дисциплины «Детали машин» на факультете технологии и предпринимательства Новосибирского государственного педагогического университета. В [10] показаны особенности применения технологии 3D-печати в рамках изучения учебной дисциплины «Инженерная графика» в Новоуренгойском техникуме газовой промышленности. В [11] отмечается целесообразность использования 3D-печати на разных этапах обучения как одна из возможностей технологической реализации повышения эффективности учебного процесса при геометро-графической подготовке специалистов. Необходимость внедрения CAD-технологий и 3D-печати в учебный план подготовки инженеров отмечена в [12].

В [2, 6] показано, что внедрение технологий 3D-

моделирования и 3D-прототипирования в образовательный процесс способствует более эффективному формированию уровня профессиональной подготовки, чем изучение графических и технических дисциплин по традиционной методике.

Целью настоящей статьи является проведение сравнительного анализа работ по созданию 3D-принтера на основе FDM-технологии, разработка предложений по совершенствованию процесса 3D-печати и по моделированию технических систем с применением

FDM-технологии, а также анализ применимости модификаций разработанного 3D-принтера в научно-исследовательском и в учебном процессах университета. Для выполнения поставленной цели авторами рассматривается вопрос об особенностях изучения и использования аддитивных технологий в рамках исследовательской деятельности научного студенческого общества (НСО) «Моделирование технических систем» и в учебных курсах IT-направлений кафедры математического моделирования и компьютерных технологий ЕГУ им. И.А. Бунина.

Краткий обзор и характеристика основных видов аддитивных технологий

Аддитивные технологии (от англ. add – "добавлять") представляют собой процесс постепенного создания (выращивания) изделия путем присоединения, наплавления материала слой за слоем. Они являются противоположностью классическому способу производства – субтрактивному (от англ. subtraction – "изымать"), в ходе которого изделие изготавливается за счет постепенного отъема материала (путем фрезерования, штамповки, резки и т.д.). Начало промышленному использованию аддитивных технологий 3D-печати было положено в 1986 году Ч. Халлом – основателем компании 3D Systems. За этот период технологии шагнули от быстрого прототипирования до практически конвейерного производства готовых изделий, причем процесс совершенствования аддитивных технологий сопровождался развитием семи их видов [13].

Приведем краткую характеристику основных видов аддитивных технологий создания 3D-объекта.

1. *Стереолитография* (Stereo Lithography Apparatus, SLA-технология) получила наибольшее распространение среди технологий 3D-печати благодаря низкой себестоимости готовых изделий. SLA-технология состоит в следующем: сканирующая система направляет на фотополимер лазерный луч, под действием которого материал твердеет. В качестве фотополимера используется хрупкий и твердый полупрозрачный материал, который коробится под действием

- атмосферной влаги. Материал легко склеивается, обрабатывается и окрашивается. Рабочий стол находится в емкости с фотополимерной композицией. После прохождения лазерного луча и отверждения очередного слоя его рабочая поверхность смещается вниз на 0,025-0,3 мм.
2. *Лазерное спекание порошковых материалов* (Selective Laser Sintering, SLS-технология) является единственной технологией 3D-печати, которая может быть использована при изготовлении металлических формообразующих для металлического и пластмассового литья. Пластмассовые прототипы обладают хорошими механическими свойствами, благодаря которым они могут быть использованы для изготовления полнофункциональных изделий. В SLS-печати используются материалы, близкие по своим свойствам к конструкционным маркам: металл, керамика, порошковый пластик. Порошковые материалы наносятся на поверхность рабочего стола и запекаются лазерным лучом в твёрдый слой, соответствующий сечению 3D-модели и определяющий ее геометрию.
 3. *Послойная печать расплавленной полимерной нитью* (Fused Deposition Modeling, FDM-технология) применяется для получения единичных изделий, приближенных по своим функциональным возможностям к серийным изделиям, а также для изготовления выплавляемых форм для литья металлов. FDM-технология печати заключается в следующем: выдавливающая головка с контролируемой температурой разогревает до полужидкого состояния нити из АВС-пластика, воска или поликарбоната, и с высокой точностью подает полученный термопластичный моделирующий материал тонкими слоями на рабочую поверхность 3D-принтера. Слои наносятся друг на друга, соединяются между собой и отвердевают, постепенно формируя готовое изделие. FDM-технология была разработана в 1988 году С. Крампом.
 4. *Технология струйного моделирования* (Ink Jet Modelling) имеет следующие запатентованные подвиды: 3D-Systems (Multi-Jet Modeling или MJM), PolyJet (Objet Geometries или PolyJet) и Solidscape (Drop-On-Demand-Jet или DODJet). Перечисленные технологии функционируют по одному принципу, но каждая из них имеет свои особенности. Для печати используются поддерживающие и моделирующие материалы. К числу поддерживающих материалов чаще всего относят воск, а к числу моделирующих – широкий спектр материалов, близких по своим свойствам к конструкционным термопластам. Печатающая головка 3D-принтера наносит поддерживающий и моделирующий материалы на рабочую поверхность, после чего производится их фотополимеризация и механическое выравнивание. Технология струйного моделирования позволяет получить окрашенные и прозрачные модели с различными механическими свойствами, это могут быть как мягкие, резиноподобные изделия, так и твёрдые, похожие на пластики.
 5. *Технология склеивания порошков* (Binding powder by adhesives) позволяет не просто создавать объёмные модели, но и раскрашивать их. Принтеры с технологией binding powder by adhesives используют два вида материалов: крахмально-целлюлозный порошок, из которого формируется модель, и жидкий клей на водной основе, проклеивающий слой порошка. Клей поступает из печатающей головки 3D-принтера, связывая между собой частицы порошка и формируя контур модели. После завершения печати излишки порошка удаляются. Чтобы придать модели дополнительную прочность, её пустоты заливаются жидким воском.
 6. *Ламинирование листовых материалов* (Laminated Object Manufacturing, LOM-технология) предполагает изготовление 3D-моделей из бумажных листов при помощи ламинирования. Контур очередного слоя будущей модели вырезается лазером, а ненужные обрезки режутся на небольшие куски, которые впоследствии удаляются из принтера. Структура готового изделия похожа на древесную и обладает сниженной влагостойкостью.
 7. *Облучение ультрафиолетом через фотомаску* (Solid Ground Curing, SGC-технология) предполагает создание готовых моделей из слоев распыляемого на рабочую поверхность фоточувствительного пластика. После нанесения тонкого слоя пластика он через специальную фотомаску с изображением очередного сечения обрабатывается ультрафиолетовыми лучами. Неиспользованный материал удаляется при помощи вакуума, а оставшийся затвердевший материал повторно

облучается жестким ультрафиолетом. Полости готового изделия заполняются расплавленным воском, который служит для поддержки следующих слоев. Перед нанесением последующего слоя фоточувствительного пластика предыдущий слой механически выравнивается.

Анализ существующих аддитивных технологий, проведенный студентами и преподавателями по критериям технической оснастки принтера, технологического процесса печати и экономической составляющей, позволил сделать вывод, что для создания и прототипирования трехмерных объектов целесообразно и экономически выгодно использовать принтеры, функционирующие на основе FDM-технологии. Подробно ряд преимуществ данного вида технологии быстрого прототипирования описан в [2–10] и работах других авторов. Важно отметить, что FDM-технология обладает рядом важных и существенных характеристик, позволяющих говорить об ее преимуществах по сравнению с другими видами технологии 3D-печати, а именно:

- наиболее простой принцип печати, легко реализуемый на основе распространенных электронных компонентов;
- возможность использования широкого спектра термопластичных материалов с различными характеристиками, в том числе безопасных для здоровья (как во время процесса, так и использования готового изделия) и не требующих специальных условий хранения и работы с ними;
- реализация в виде компактных персональных печатающих устройств, не требующих специализированных знаний по установке, подключению и эксплуатации;
- прототипирование объектов со сложной геометрией и полостями, которые оказываются не по силам другим технологиям;
- отсутствие шумовых загрязнений и отходов производства, требующих утилизации или специальных мест для установки;
- высокая разрешающая способность (до 20 микрон), возможность одновременной печати несколькими материалами или материалами нескольких цветов;
- низкая себестоимость как самих устройств, так и используемых материалов, возможность самостоятельной сборки печатающего устройства из готового конструктора или набора компонентов;
- распечатанные изделия имеют высокие эксплуатационные характеристики и могут применяться как серийные изделия;
- открытость технологии позволяет работать над совершенствованием и внедрением 3D-печатающих устройств в различные сферы.

Вышеперечисленные характеристики позволяют использовать печатные устройства, созданные на основе FDM-технологии, для решения широкого спектра исследовательских и научных задач и могут быть использованы в различных организационных формах взаимодействия участников образовательного процесса. Отметим, что необходимость использования других видов аддитивных технологий может быть определена на более поздних этапах с точки зрения целесообразности и получения изделий с конкретными параметрами. Возможно, что следующим витком развития технологии 3D-печати станет усовершенствование SLS-технологии и ее широкое распространение. Переход от FDM-технологии к SLS-технологии в некотором роде будет подобен переходу от струйных 2D-принтеров к лазерным 2D-принтерам.

Технические параметры и особенности 3D-принтера на базе FDM-технологии

Приведем описание технических параметров и эксплуатации 3D-принтера, разработанного студентами НСО ЕГУ им. И.А. Бунина. Процесс работы созданного печатного устройства на базе FDM-технологии характеризуется последовательным выполнением следующих этапов:

1. *Предварительная обработка.* Программное обеспечение для подготовки к печати делит на секции и размещает файл 3D CAD, а также просчитывает путь выпрессовки термопластика и необходимого вспомогательного материала.
2. *Производство.* 3D-принтер нагревает термопластик до полужидкого состояния и выдавливает его крошечными каплями по пути выпрессовки. Расплавленный вязкий пластик спекается с предыдущим слоем, формируя будущий объект. На рис.1 проиллюстрирован процесс послойной печати расплавленной полимерной нитью. Дополнительный обдув, непосредственно после прохождения сопла, предотвращает естественную деформацию слоя, что заставляет его оставаться на своем месте. Технический FDM-процесс позволяет с достаточно высокой точностью (минимальная толщина слоя 0,1 мм) изготавливать полностью готовые к использованию детали довольно большого размера. Если необходима поддержка или буфер, 3D-принтер использует удаляемый материал – своего рода «леса».
3. *Постобработка.* Пользователь отделяет поддержку или растворяет ее в водном растворе моющего средства, после чего деталь готова к использованию.

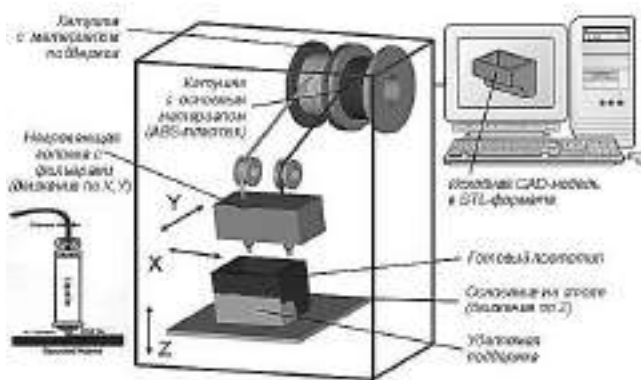


Рис. 1. Принцип создания моделей-прототипов по FDM-технологии

Внешний вид устройства объемной печати, использующего FDM-технологии, представлен на рис. 2.



Рис.2. 3D-принтер, созданный студентами НСО ЕГУ им. И.А. Бунина

В таблице 1 приведены основные технические характеристики печатного устройства.

Таблица 1. Основные параметры и их характеристики 3D-принтера

Толщина нити	1,75/3 мм
Максимальная температура головки	260 ⁰ С
Максимальная температура стола	110 ⁰ С
Платформа	Arduino Mega 2560 + Ramps 1.4
Прошивка интерфейса	Marlin 1.1.0
Скорость печати:	до 120 мм/с
Материал печати:	ABS пластик и PLA
Технология печати:	FDM
Габариты	580×580×730 (мм)
Масса	12 кг

Комплектующими электронного блока 3D-принтера являются:

- материнская плата (Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4);
- LCD дисплей с энкодером и картридером;
- электроника экструдера (нагреватель, термистор, вентилятор охлаждения, турбина обдува);

- 5 шаговых двигателей и 5 драйверов шаговых двигателей;

- 3 концевых выключателя 3-х осей.

Плата Arduino преобразует G-коды в сигналы и управляет 3D-принтером посредством силовой части RAMPS 1.4. Плата RAMPS 1.4 устанавливается поверх Arduino. Все подключения, кроме USB, осуществляются через плату RAMPS 1.4, и через нее же подается напряжение 12 В на Arduino. Схема подключения электроники 3D-принтера приведена на рис.3.

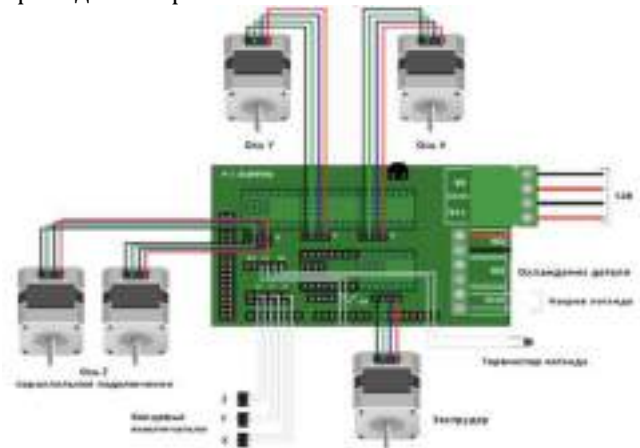


Рис. 3. Схема подключения электроники 3D-принтера

По своим параметрам и характеристикам 3D-принтер, сконструированный студентами НСО ЕГУ им. И.А. Бунина, в целом аналогичен устройству 3D-печати, описанному в работе [3]. Однако можно выделить следующие отличия: использование композитных материалов в виде тканевого и фольгированного стеклотекстолита, увеличенные размеры рамы, спецпрофиль дюралевый на 40 с Т-образными пазами, нагрев стола нихромовый. Перечисленные отличия обеспечивают ряд преимуществ в процессе прототипирования 3D-объекта. В дальнейшем планируется модификация печатного устройства путем присоединения к нему механизма дробления и плавления использованных пластиковых изделий.

Направления совершенствования процесса 3D-печати и предложения по моделированию технических систем в учебных курсах для студентов и аспирантов ИТ-специальностей

Результаты работы по исследованию и применению FDM-технологии, как одного из способа прототипирования, обсуждаются на семинаре научного студенческого общества ЕГУ им. И.А. Бунина (руководители М.А. Губин, Е.В. Игонина) и на научном семинаре «Качественная теория и теория устойчивости дифференциальных уравнений и их приложения в математике, информатике и технических науках» (руководители О.Н. Масина, О.В. Дружинина) кафедры математического моделирования и компьютерных технологий ЕГУ им. И.А. Бунина.

Вопрос о разработке 3-D принтера на основе метода послойной печати расплавленной полимерной нитью докладывался на научно-практической конференции представителем НСО «Моделирование технических систем» студентом группы ИиВТ-31 Трубицыным А.А. [14]. В ходе доклада были намечены перспективы дальнейшей работы НСО по усовершенствованию FDM-технологии, направленные на устранение таких ее недостатков, как: 1) растекание пластика из-за нагрева за границы печатаемой области; 2) ограничение применения других материалов, кроме тех, которые поддаются расплавлению и продавливанию; 3) чувствительность к перепадам температур во время процесса печати.

Проведение научных семинаров НСО, как показал опыт, имеет большое значение, т.к. большинство и преподавателей, и студентов имеет лишь поверхностное представление о технологиях 3D-прототипирования. Из опрошенных преподавателей, которые принимали участие в семинарах, проводившихся НСО ЕГУ им. И.А. Бунина, лишь около 20% были знакомы непосредственно с особенностями технологии и сферами ее применения. Большинство из опрошенных проявило интерес к возможностям 3D-печати для использования в преподавательской деятельности. В ходе дискуссий было отмечено, что FDM-технология в целом должна иметь не узкую направленность, т.е. должна изучаться не только студентами и аспирантами ИТ-специальностей. Указанная технология может быть внедрена в учебный и научно-исследовательские процессы ВУЗа любых направлений подготовки. Также немаловажно на сегодняшний день ее изучение для направления подготовки: 44.03.01 – Педагогическое образование различных профилей [15; 16]. Несмотря на то, что каждое из различных направлений подготовки имеет свою специфику, можно выделить общие для них варианты применения 3D-печати:

1. Объект для развития практических навыков и получения новых компетенций.
2. Технология или инструмент исследовательской деятельности.
3. Инструмент для совершенствования учебного процесса и обеспечения электронного обучения.

О вариативности изучения FDM-технологии и о целесообразности ее использования в образовательном процессе гуманитарного, естественнонаучного, физико-математического направлений подготовки ВУЗов изложено в работе [9].

В Елецком университете технология 3D-печати пока находит применение в контексте проводимой учебной и исследовательской деятельности при подготовке студентов таких ИТ-специальностей

как: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 – Информационные системы и технологии, 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника (профиль подготовки: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ). В рамках учебных занятий по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика», проводимых на втором и третьем курсах бакалавриата указанных выше направлений, имеет место обучение черчению и чтению чертежей различных деталей. Чертеж дает представление о форме и размерах предмета, но не обладает нужной наглядностью. Возникает необходимость вычерчивания дополнительного изображения заданной детали в аксонометрии. Для изучения темы «Аксонометрия» и вычерчивания деталей в объеме традиционно используют модели деталей, изготовленных из дерева и металла в виде макетов. Такие макеты зачастую оказываются примитивными. Металлические детали упрощаются из-за сложности изготовления фигурных плоскостей. С помощью 3D-принтера студенты получают модели деталей любой сложности, включая наклонные и фигурные поверхности. Безусловно, такое представление детали способствует развитию у обучающихся пространственного мышления. Кроме того, формируются навыки выполнения чертежей деталей различной степени сложности. На занятиях студентам предлагаются различные задания с целью тренировки пространственного мышления и приобретения навыков вычерчивания 3D-моделей деталей в графическом редакторе КОМПАС. Также студенты получают навыки в определении размеров, взаимного расположения поверхностей и базирования модели (или нескольких моделей) на рабочем столе 3D-принтера. Модель пересчитывается в программе Repetier-Host (слайсинг), и производится демонстрация послойной технологии печати расплавленной полимерной нитью с последовательным наращиванием поверхностей детали. При изучении темы «Детализация» студенты, пользуясь сборочным чертежом, собирают сборочную единицу и в случае необходимости изготавливают на 3D-принтере недостающие детали. Кроме того, студенты самостоятельно выбирают эргономические показатели изготавливаемой детали.

Дополнительную возможность работы с 3D-принтером студенты ИТ-специальностей университета могут получить в рамках работы НСО, основными направлениями научно-исследовательской деятельности которого является: моделирование в различных областях, разработка механизмов и их частей, исследование физических процессов, автоматизация лабораторного эксперимента и т.п. Особенно следует выделить такое инновационное

направление, реализуемое в НСО, как DIY-робототехника (от англ. do it yourself – "сделай это сам"). Концепция DIY-робототехники предполагает более творческий подход в разработке собственных идей и реализацию механических составляющих, чем те, которые предлагаются в готовых робототехнических конструкторах.

В стратегии развития научно-исследовательской деятельности важно отметить роль совместного сотрудничества ЕГУ им. И.А. Бунина с Федеральным исследовательским центром «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), г. Москва. Ежегодно научные сотрудники центра ФИЦ ИУ РАН принимают участие в научно-практических конференциях и семинарах, организованных преподавателями кафедры математического моделирования и компьютерных технологий и членами НСО на базе ЕГУ им. И.А. Бунина. В рамках таких встреч проходит обмен опытом и практическими разработками по различным вопросам в области математического моделирования технических систем с применением комплексов проблемно-ориентированных программ, а также рассматриваются возможности применения инновационных информационных технологий в сфере образования, научных исследованиях, технических разработках. Итогом таких конференций является издание сборника научных трудов, куда обязательно входят работы молодых ученых, студентов и аспирантов.

Для установления междисциплинарных связей и расширения области применения 3D-технологий аспирантам ИТ-специальности предлагается прохождение практики на кафедре дизайна и народной художественной культуры. Практиканты под руководством опытного педагога проводят лабораторные занятия для студентов направления подготовки 54.03.01 – Дизайн, знакомят их с CAD/CAM технологиями (Computer Aided Design – технологии компьютерного проектирования изделий; Computer Aided Machinery – технологии изготовления изделий на станках с числовым программным управлением) и показывают их применимость.

На кафедре дизайна и народной художественной культуры студенты выполняют работы с применением числового программного управления (ЧПУ). С помощью 3D-технологий будущие дизайнеры могут разрабатывать дизайн предметов, деталей и макетов прямо в аудитории, изготавливать прототипы с помощью 3D-принтера, оценивать и тестировать их, реализовывать самые смелые проекты, экспериментировать с материалами и формами. Возможность быстрой визуализации и физического воплощения собственных проектов позволит студентам гораздо быстрее освоить

многие аспекты будущей профессии.

В настоящее время использование 3D-печати в образовательном процессе вузов находится еще на этапе становления, но при этом просматриваются достаточно широкие перспективы дальнейшего применения с учетом совершенствования аддитивных технологий. Членами методического совета ЕГУ им. И.А. Бунина и преподавателями кафедры математического моделирования и компьютерных технологий было принято совместное решение о необходимости внедрения в учебные дисциплины (пока профильной направленности) модулей, раскрывающих сущность и применение аддитивных технологий, в том числе процесс использования FDM-технологии при прототипировании 3D-объектов. Список приоритетных дисциплин и элементов учебного процесса ИТ-направлений, в рамках которых планируется изучение технологий 3D-печати и по которым ведется разработка рабочих программ на ближайшие учебные периоды, представлен следующим образом.

Уровень образования: бакалавриат

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

1. Инженерная и компьютерная графика (Зкурс, 5-6 семестры).

2. Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков (в том числе научно-исследовательской деятельности) (4 курс).

Направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии

1. Информационные технологии (1 курс, 2 семестр).

2. Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков (в том числе научно-исследовательской деятельности) (4 курс).

Уровень образования: магистратура

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника

1. Высокопроизводительные системы и технологии (1 курс, 2 семестр).

2. Проектирование в графическом дизайне (2 курс, 3 семестр)

3. Научно-исследовательская работа (2 курс, 4 семестр)

Уровень образования: аспирантура

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

(математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)

1. Методология научных исследований по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника».

Актуальным на сегодняшний день является вопрос о разработке дополнительных факультативных курсов по применению FDM-технологии в различных областях деятельности (с

учетом промышленной или отраслевой направленности и востребованности региона) и об их внедрении в учебные планы для перечисленных выше ИТ-направлений. Технологии 3D-печати также открывают дополнительные перспективы для научно-исследовательской деятельности студентов и аспирантов ИТ-специальностей и инженерно-технических специальностей.

Заключение

Таким образом, с учетом сравнительного анализа аддитивных технологий, используемых в процессе прототипирования 3D-объектов, и особенностей FDM-технологии описаны параметры и варианты модификации 3D-принтера.

Описаны перспективы применения FDM-технологии при моделировании технических систем в учебных курсах для студентов и аспирантов ИТ-специальностей. Разработанные предложения по использованию указанной технологии в учебном процессе могут найти применение в научно-педагогической практике высших учебных заведений и в работе молодежных научных коллективов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность И.Н. Сеницыну за внимание к работе, ценные замечания и поддержку исследователей.

Литература

1. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Романов В.В. Области применения технологий 3D печати // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 12-2. – С. 165-169.
2. Шайхутдинов Т.Ф., Гильманова А.М. 3D-принтеры в современном мире и образовании // Материалы 42-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов: сборник научных трудов в 2 т. Т. 1. – Уфа: УГНТУ, 2015. – С. 323-334.
3. Астахова Т.Н., Капанов А.А., Косолапов В.В., Мещеряков Е.Е. Применение систем 3D-печати для прототипирования технических идей // Электронные библиотеки. – 2017. – Т.20. – №2. – С.110-120.
4. Канесса Э., Фонда К., Зеннаро М. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития. – Изд-во: МЦТФ, 2013. – 192 с.
5. Окладникова Т.В., Литвинцева Е.А., Окладников А.П., Неvedимова Л.В. 3D-печать в образовании // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке». – Тамбов, 2014. – С. 108-109.
6. Лейбов А.М., Каменев Р.В., Осокина О.М. Применение технологий 3D-прототипирования в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 93.
7. Eisenberg M. 3D printing for children: What to build next? // International Journal of Child-Computer Interaction. 2013. №1. С. 7-13.
8. Сябренко А. П., Тынченко В.С. Использование технологии 3D-печати в образовательном процессе вуза // Развитие современного образования: теория, методика и практика: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7). – С. 244-247.
9. Заседатель В.С. Образовательный потенциал технологий быстрого прототипирования // Интернет-журнал «Наукоеведение». – Том 7. – №5 (2015). – <http://naukovedenie.ru/PDF/220PVN515.pdf>
10. Филиппова О.А. Применение технологии трехмерной печати в учебном процессе по дисциплине «Инженерная графика» // Наука, техника и образования. – 2015. – № 10. С. 126-130.
11. Абросимов С.Н., Тихонов-Бугров Д.Е. 3D-печать как составляющая часть учебного процесса по геометро-графическим дисциплинам // Качество графической подготовки: материалы VII Международной интернет-конференции. – 2017. – <http://dngn.pstu.ru/conf2017/papers/>
12. Зеленцов В.В., Щеглов Г.А. Опыт интеграции CAD-технологий и 3D-печати в учебном плане подготовки инженеров // Открытое образование. – 2016. – № 5. – С. 27-34.
13. Кушнир А.П., Лившиц В.Б. Классификация технологий 3D печати // Рецензируемое периодическое сетевое научное издание «Дизайн. Теория и практика». – 2014. – №18. <http://enidtp.ru/download/185/>
14. Трубицын А.А. Разработка 3-D принтера на основе метода послойного изготовления объекта // Системы управления, технические системы: устойчивость, стабилизация, пути и методы исследования: материалы научно-практической конференции. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, – 2017. – С.135-140.
15. Бушуева В. В., Емельянова А.М. Использование инновационного оборудования при подготовке будущих учителей технологии // Новое слово в науке: перспективы развития: материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 2 (8). – С. 67-68.
16. Головки И.С. Инженерное 3D-моделирование и прототипирование в школе // Наука и образование: векторы развития: материалы Международной научно-практической конференции и Всероссийских педагогических чтений. – Чебоксары: Экспертно-методический центр, 2016. – С. 266-271.

References

1. Lysych M.N., SHabanov M.L., Romanov V.V. Oblasti primeneniya tekhnologij 3D pechatj // Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. – 2014. – № 12-2. – S. 165-169.
2. SHajhutdinov T.F., Gil'manova A.M. 3D-printery v sovremennom mire i obrazovanii // Materialy 42-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov: sbornik nauchnyh trudov v 2 t. T. 1. – Ufa: UGNTU, 2015. – S. 323-334.
3. Astahova T.N., Kapanov A.A., Kosolapov V.V., Meshcheryakov E.E. Primenenie sistem 3D-pechatj dlya prototipirovaniya tekhnicheskikh idej // EHlektronnye biblioteki. – 2017. – T.20. – №2. – S.110-120.
4. Kanessa E.H., Fonda K., Zennaro M. Dostupnaya 3D-pechat' dlya nauki, obrazovaniya i ustojchivogo razvitiya. – Izd-vo: MCTF, 2013. – 192 s.
5. Okladnikova T.V., Litvinceva E.A., Okladnikov A.P., Nevedimova L.V. 3D-pechat' v obrazovanii // Sbornik nauchnyh trudov po

- materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauka i obrazovanie v XXI veke». – Tambov, 2014. – S. 108-109.
6. Lejbov A.M., Kamenev R.V., Osokina O.M. Primenenie tekhnologij 3D-prototipirovaniya v obrazovatel'nom processe // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2014. – № 5. – S. 93.
 7. Eisenberg M. 3D printing for children: What to build next? // *International Journal of Child-Computer Interaction*. 2013. №1. S. 7–13.
 8. Syabrenko A. P., Tynchenko V.S. Ispol'zovanie tekhnologii 3D-pechati v obrazovatel'nom processe vuza // *Razvitie sovremennogo obrazovaniya: teoriya, metodika i praktika: materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* – CHEboksary: CNS «Interaktiv plyus», 2016. – № 1 (7). – S. 244–247.
 9. Zasedatel' V.S. Obrazovatel'nyj potencial tekhnologij bystrogo prototipirovaniya // *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. – Tom 7. – №5 (2015). – <http://naukovedenie.ru/PDF/220PVN515.pdf>
 10. Filippova O.A. Primenenie tekhnologii trekhmernoj pečati v uchebnom processe po discipline «Inzhenernaya grafika» // *Nauka, tekhnika i obrazovaniya*. – 2015. – № 10. S. 126–130.
 11. Abrosimov S.N., Tihonov-Bugrov D.E. 3D-pechat' kak sostavlyayushchaya chast' uchebnogo processa po geometro-graficheskim disciplinam // *Kachestvo graficheskoy podgotovki: materialy VII Mezhdunarodnoj internet-konferencii*. – 2017. – <http://dngn.pstu.ru/conf2017/papers/>
 12. Zelencov V.V., SHCHeglov G.A. Opyt integracii CAD-tekhnologij i 3D-pechati v uchebnom plane podgotovki inzhenerov // *Otkrytoe obrazovanie*. – 2016. – № 5. – S. 27–34.
 13. Kushnir A.P., Livshic V.B. Klassifikaciya tekhnologij 3D pečati // *Recenziruемое periodicheskoe setevoe nauchnoe izdanie «Dizajn. Teoriya i praktika»*. – 2014. – №18. <http://enidtp.ru/download/185/>
 14. Trubicyn A.A. Razrabotka 3-D printera na osnove metoda poslojnogo izgotovleniya ob"ekta // *Sistemy upravleniya, tekhnicheskie sistemy: ustojchivost', stabilizaciya, puti i metody issledovaniya: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii*. – Elec: Eleckij gosudarstvennyj universitet im. I.A. Bunina, – 2017. – S.135–140.
 15. Bushueva V. V., Emel'yanova A.M. Ispol'zovanie innovacionnogo oborudovaniya pri podgotovke budushchih uchitelej tekhnologii // *Novoe slovo v nauke: perspektivy razvitiya: materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – CHEboksary: CNS «Interaktiv plyus», 2016. – № 2 (8). – S. 67–68.
 16. Golovko I.S. Inzhenernoe 3D-modelirovanie i prototipirovanie v shkole // *Nauka i obrazovanie: vektory razvitiya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii i Vserossijskih pedagogicheskikh chtenij*. – CHEboksary: EHkspertno-metodicheskij centr, 2016. – S. 266–271.

Поступила: 10.05.2017

Об авторах:

Игонина Елена Викторовна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры математического моделирования и компьютерных технологий, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, elenaigonina7@mail.ru;

Дружинина Ольга Валентиновна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, ovdruzh@mail.ru.

Note on the authors:

Igonina Elena V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Mathematical Modeling and Computer Technologies, Bunin Yelets State University, elenaigonina7@mail.ru;

Druzhinina Olga V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center Computer Science and Control of the Russian Academy of Sciences, ovdruzh@mail.ru.