

УДК 004.356.2

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ИДЕЙ

Т.Н. Астахова, А.А. Капанов, В.В. Косолапов, Е.Е. Мещеряков

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

ctn_af@mail.ru, alesnim@gmail.com, vladimir.kosolapov@mail.ru,
leonline5@mail.ru

Аннотация

Представлены на данный период времени уровень разработанности технологий трехмерной печати и анализ рынка 3D-устройств. Рассмотрена возможность применения аддитивных технологий как инструментария в образовательном процессе. Проведен анализ возможности внедрения методологии RP (Rapid Prototype). Изучены вопросы модернизации 3D-принтера Prusa i3 и варианты его использования в образовательном процессе высших учебных заведений и школ. Сделаны выводы о возможностях внедрения печатающих 3D-устройств и методологии RP с целью снижения трудозатрат и стоимости проектирования.

Ключевые слова: 3D-принтер, трехмерная печать, Prusa, анализ рынка, Rapid Prototype, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире с его ускоряющимися темпами развития появилась необходимость в быстром и эффективном механизме воплощения конструкторских и инженерных идей. Если в области разработки идеи или общей концепции технического или технологического решения конструкторы могут использовать имеющееся многообразие средств моделирования и визуализации, то на этапе прототипирования возникает проблема быстрой реализации разработок в натуре и исследования их в реальном, а не виртуальном мире [1].

В настоящее время на этапе прототипирования для проведения испытаний и последующей доработки прототипа все еще применяются фрезерные, отливочные, токарные и другие технологии, зачастую малоэффективные из-за большого времени реализации образцов и экономически затратные из-за необходимости использования дорогостоящих станков и привлечения высокооплачиваемых квалифицированных кадров, что резко снижает экономическую эффективность проекта в целом. В лучшем случае прототипы выполняются на современных ЧПУ-станках, высокая стоимость которых также ограничивает круг их применения, и рядовой конструктор, не имеющий доступ к такому оборудованию, лишается возможности реализации своего проекта.

Однако интенсивное развитие современных программных систем проектирования инженерных и других специализированных конструкций, примером которых могут служить Autodesk 3Ds Max, AutoCAD и другие, позволяет воплощать конструкторские идеи не только на уровне виртуальной модели, но и на уровне создания готовых решений при помощи технологий 3D-печати [2]. На помощь инженерам и конструкторам пришли аддитивные технологии прототипирования, в процессе реализации которых модель синтезируется путем послойного наплавления или спекания слоев (в зависимости от технологии). Первый стереолитографический принтер появился в 1986 году в основном для промышленного использования, но уже в 1995 году благодаря усилиям нескольких студентов Массачусетского технологического института (в том числе, Джима Бредта и Тома Андерсона) аддитивная технология синтеза объёмных моделей стала доступной для домашнего использования [3, 4]. Вскоре достоинства прототипирования при помощи 3D-принтеров были оценены, и последние получили широкое распространение за рубежом. В настоящий момент времени аддитивная печать используется во многих сферах производства и науки, известно также много технологий 3D-печати – от самых простых до технологически сложных решений, позволяющих реализовать любую инженерную задумку в любом физическом виде и на любом материале [5].

ПРИМЕНЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

На рис. 1 представлена классификация 3D-принтеров, выполненная на основе используемой технологии печати, – представлены следующие классы печати.

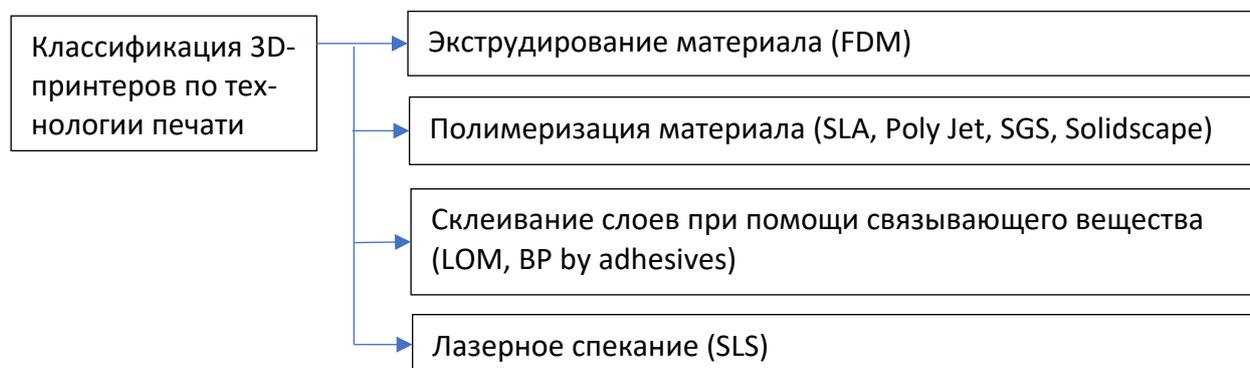


Рис. 1. Классификация 3D-принтеров на основе технологий печати

FDM (Fused Deposition Modeling) – технология печати путем выдавливания расплавленного материала (чаще АВС-пластик, реже ПВА-пластик) по определенному рисунку, который определен программным средством для конкретного слоя. Это одна из самых популярных и дешевых технологий 3D-печати. Слои наносятся друг на друга и после застывания образуют готовую модель [6].

SLA (Stereo Lithography Apparatus) – технология точечного синтеза модели путем химико-физического отвердевания под воздействием определенного типа излучения. При помощи точного наведения головки излучателя на чувствительный фотополимер модель воссоздается из него.

Binding Powder by adhesives – технология склеивания слоев порошка при помощи клея. Клей выступает из головки экструдера и путем послойного воспроизведения склеивает слои порошка. Излишки порошка после этого удаляются.

SLS (Selective Laser Sintering) – технология изготовления металлических изделий путем спекания металлического порошка лазером.

Сегодня существует насущная потребность в быстром и удобном прототипировании идей студентов и преподавателей Нижегородского государственного инженерно-экономического университета при выполнении ими научных и дипломных проектов, а также диссертационных работ – аспирантами технических специальностей. Ниже проведен анализ и предложен вариант выбора 3D-принтера как

элемента научно-технической базы проектирования и прототипирования различных технических устройств.

Анализ существующих технологий, проведенный по критериям технической оснастки принтера, технологического процесса печати и экономической составляющей, позволил сделать вывод, что в образовательной деятельности целесообразно и экономически выгодно использовать принтеры, функционирующие на основе технологии FDM. Плюсами последней также являются легкость в обслуживании; относительная дешевизна; доступность материала для печати; простая конструкция и множество вариантов исполнения.

Для повышения качества студенческих работ, кроме разработки собственной конструкции и создания 3D-принтера, планируется также внедрение методологии RP (Rapid Prototyping) в процесс разработки и проектирования. Эта методология заключается в создании физической модели (макета, образца) в едином инструменте автоматического проектирования с использованием сквозного технологического процесса создания деталей (рис. 2). Она позволяет ускорить процесс проектирования в 2–4 раза без существенного его удорожания [7].



Рис. 2. Модель общего алгоритма применения методологии RP

RP-технология подразумевает применение 3D-технологий печати, что в условиях Нижегородского государственного инженерно-экономического университета наиболее приемлемо для реализации разрабатываемого нами проекта. Была также поставлена задача выбора печатающего устройства, имеющегося в настоящее время на рынке, которое наиболее полно отвечает всем необходимым требованиям для создания базы прототипирования и проектирования устройств, его изучения и дальнейшего проектирования собственных решений.

В настоящее время на рынке представлен широчайший выбор готовых коммерческих моделей принтеров, служащих для разных целей и имеющих широкий ценовой диапазон. Нами был сформирован следующий ряд критериев для выбора печатающего устройства:

- технология печати FDM, как наиболее удобная в обслуживании;
- недорогое сырье для печати;
- невысокая цена ремонта/замены комплектующих;
- возможность доработки принтера;
- невысокая стоимость;
- достаточная компактность;
- несложная конструкция (поскольку в качестве учебного задания будут выступать сборка такого принтера и его настройка).

Таблица 1. Расчет затрат на комплект принтер + пластик для диапазона устройств, отвечающих выбранным требованиям

№	Название	Стоимость принтера, руб.	Стоимость пластика для печати, руб.	Затраты, руб.
1	PICASO 3D Designer	117900,00	1980,00	119880,00
2	PICASO Designer PRO 250	199000,00	2100,00	201100,00
3	Prusa i3 Hephestos	39950,00	1120,00	41070,00
4	Hercules Strong	147000,00	2300,00	149300,00
5	Cheap3D V300	62000,00	1760,00	63760,00
6	Prusa i3 Kit	25000,00	800,00	25800,00
7	Zortrax M200	139900,00	1600,00	141500,00
8	Magnum Creative 2 UNI	92500,00	1450,00	93950,00
9	mz3D-256	44900,00	1570,00	46470,00
10	PRISM Mini	30000,00	1300,00	31300,00
11	Ultimaker Original	119000,00	1830,00	120830,00
12	UP! Mini	39900,00	1600,00	41500,00
13	Prusa i3 Steel-DIY	26900,00	800,00	27700,00
14	UP BOX	129000,00	1080,00	130080,00

В ходе поисковых исследований с привлечением ресурсов интернета и материалов ведущих журналов, отражающих передовые технологии, был выполнен подбор моделей принтеров, отвечающих критериям, указанным выше. В итоге

выявлено несколько моделей и проведена сортировка по ряду основополагающих признаков – цене устройства, доступности комплектующих [8]. Путем суммирования стоимостей принтера и пластика для печати была рассчитана сумма затрат, необходимых для приобретения функционального экземпляра устройства:

$$\Sigma \text{затрат} = \text{Стоимость принтера} + \text{Стоимость пластика для печати.}$$

Наиболее дорогостоящими моделями являются PICASO Designer PRO 250 и Hercules Strong, в том числе, по стоимости замены комплектующих в случае их выхода из строя. Бюджетными моделями являются Prusa i3 Kit и Prusa i3 Steel–DIY. Если учесть все вышеуказанные критерии, то наиболее подходящим вариантом становится Prusa i3 Steel–DIY.

Задачу снижения себестоимости 3D-печати можно решить либо за счет уменьшения стоимости пластика, что весьма проблематично, либо за счет уменьшения стоимости самого принтера. Оптимальным решением является второй вариант.

Была также выявлена возможность замены ряда оригинальных комплектующих продаваемых устройств деталями, выпускаемыми в большом количестве и имеющими более низкую стоимость по сравнению с «родными» комплектующими, адаптировав их за счет некоторых конструктивных доработок. Сказанное позволит снизить стоимость принтера и расширить его доступность.

ИТОГОВЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

В качестве основы конструируемого принтера принято решение использовать раму из стали от 3D-принтера Prusa i3 Steel. Этот выбор основан на высокой прочности металлической рамы, что позволит снизить вибрационные нагрузки, возникающие при работе шаговых двигателей и приводящие к снижению точности печати и выходу из строя основных узлов агрегата. Также необходимо использовать направляющие шпильки из материалов, не подверженных деформации во время работы принтера: были выбраны стальные полированные шпильки валов.

Необходимы понижающий регулятор напряжения и блок питания на 12V для питания от сети электронных компонентов, обеспечивающие стабильную подачу питания.

В качестве управляющего контроллера использована доступная серия плат с микропроцессорами Arduino MEGA R3, поскольку они достаточно дешевы и предоставляют возможности для дальнейшего развития и совершенствования аппаратной части принтера.

Для управления драйверами шаговых электродвигателей использована плата расширения RAMPS 1.4. Шаговые двигатели для каждой из трех осей движения были выбраны из комплекта в 5 штук для получения идентичных свойств и исключения возможности попадания двигателей из разных партий. Такой комплект снижает стоимость каждого двигателя по сравнению с приобретаемым отдельно. Приобретя 2 комплекта, мы получили набор двигателей для трех принтеров плюс один запасной (ремонтный). Приводные ремни перемещения по осям, шестерни и ряд других механических деталей закупаются через интернет.

Основной деталью принтера является экструдер, обеспечивающий плавление пластика и его нанесение на поверхность печатающего стола и последующие верхние слои печатаемой детали. Выбору экструдера необходимо уделить особое внимание, т. к. именно от него зависят качество печати, материал, которым можно печатать, и итоговый результат. Неправильная работа экструдера может привести к полному выходу принтера из строя. Был выбран экструдер «Директ» в силу его функциональности и широкой применимости при работе с различными материалами.

Для охлаждения элементов, нагревающихся во время эксплуатации, использовано несколько кулеров (один – для обдува экструдера, один – для обдува драйверов двигателей, один – для обдува платы Arduino). Это позволило соблюсти температурный режим и увеличить сроки эксплуатации принтера. Спроектировано несколько вариантов теплосборников, направленных на повышение коэффициента теплоотвода, которые, после проведения виртуального моделирования их эффективности, также планируется сконструировать при помощи технологии 3D-печати.

Для ограничения хода по осям потребуются концевые выключатели.

В связи с выбором директ-экструдера для печати различными пластиками требуется горячий стол для подогрева заготовки во время синтеза. Для обслуживания этого устройства нужны запасные сопла для экструдера и сверло для его

очистки. Оптимальным вариантом, проверенным на других директ-экструдерах, определены специализированное сверло для принтеров семейства RepRap и запасные сопла диаметром 0,3 мм. Выбор такого диаметра обеспечивает разумный компромисс между скоростью печати и ее качеством.

Опытный образец сконструированного 3D-принтера представлен на рис. 3.



Рис. 3. Опытный образец 3D-принтера

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследована типология 3D-принтеров, отвечающих основным требованиям, предъявляемым учебным заведением к техническим средствам подобного класса. Описанный проект экономически выгоден и готов для внедрения в образовательный процесс.

Внедрение 3D-принтеров в образовательный процесс позволит выработать собственные удобные варианты и стратегии прототипирования и, следовательно, ускорить и упростить процесс разработки сложных конструктивных решений. Использование 3D-проектирования позволит также повысить творческий потенциал студентов и их заинтересованность в дальнейшем изучении моделирования.

Учитывая потребности в организации конструкторских команд, способных обеспечить процесс быстрого прототипирования, можно утверждать, что только

внедрение аддитивных технологий в процесс разработки новых устройств позволит соответствовать современному уровню технологического прогресса, не создавая инженерам, конструкторам и студентам дополнительных препятствий на этапе прототипирования [9]. Производство таких принтеров на базе вуза позволит снизить стоимость устройства, повысить его доступность и создать мощную научную и практическую базу для внедрения аддитивных технологий. При этом проведенный всесторонний анализ конструкции принтера и процессов, происходящих в нем, показал, что предложенные варианты снижения себестоимости устройства 3D-печати не повлекут за собой снижения качества готового изделия (модели, прототипа, образца).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морозевич Е.С., Багаева А.П.* 3D-печать: что ждет нас в будущем? // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. № 10. С. 384–385.
2. *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.
3. Что это такое аддитивные технологии? <https://make-3d.ru/articles/chto-eto-takoe-additivnye-technologii/>.
4. *Chee Kai Chua, Chee How Wong, Wai Yee Yeong.* Standards, Quality Control and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing. Academic Press, 2017. 266 p.
5. *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.
6. PVA-пластик (POLYVINYL ALCOHOL). <http://3dpr.ru/pva-plastik-polyvinyl-alcohol>.
7. Трехмерная печать. <http://3dpr.ru/trehmernaya-pechat>.
8. *Швец А.А., Авдеев А.Р., Дроботов А.В.* Сравнительный анализ устройств для объемной печати // Изв. Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 1 (156). С. 76–79.
9. *Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Романов В.В.* Области применения технологий 3D печати // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 12–2. С. 165–169.

APPLICATION OF 3D-PRINTING SYSTEMS FOR PROTOTYPING TECHNICAL IDEAS

T.N. Astakhova, A.A. Kapanov, V.V. Kosolapov, E.E. Meshcheryakov

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics

ctn_af@mail.ru, alesnim@gmail.com, vladimir.kosolapov@mail.ru,
leonline5@mail.ru

Abstract

So far, the level of development of 3D printing technologies and analysis of the market for 3D devices have been presented. The possibility of applying additive technologies as a tool in the educational process has been looked into. It has also been analyzed whether it is feasible to introduce the RP (Rapid Prototype) methodology. Issues associated with modernization of Prusa i3 3D-printer and options for its use in the educational process of institutions of higher education and schools have been studied. Conclusions have been made concerning possibilities of introducing 3D printing devices and RP methodology in order to reduce labor costs and design costs.

Keywords: 3D-printer, three-dimensional printing, Prusa, market analysis, Rapid Prototype, design

REFERENCES

1. *Morozevich Ye.S., Bagayeva A.P.* 3D-pechat': chto zhdet nas v budushchem? // Ak-tual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki. 2014. # 10. S. 384–385.
2. *Zelentsov V.V., Shcheglov G.A.* Opyt integratsii CAD-tekhnologiy i 3D-pechati v uchebnom plane podgotovki inzhenerov // Otkrytoye obrazovaniye. 2016. # 5. S. 27–34.
3. Chto eto takoye additivnyye tekhnologii? <https://make-3d.ru/articles/chto-eto-takoe-additivnyye-texnologii/>.
4. *Chee Kai Chua, Chee How Wong, Wai Yee Yeong.* Standards, Quality Control and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing. Academic Press, 2017. 266 p.

5. *Leybov A.M., Kamenev R.V., Osokina O.M.* Primeneniye tekhnologiy 3D-proto-tipirovaniya v obrazovatel'nom protsesse // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. # 5. S. 93.

6. PVA-plastik (POLYVINYL ALCOHOL). <http://3dpr.ru/pva-plastik-polyvinyl-alcohol>.

7. Trekhmernaya pechat'. <http://3dpr.ru/trehmernaya-pechat>.

8. *Shvets A.A., Avdeyev A.R., Drobotov A.V.* Sravnitel'nyy analiz ustroystv dlya ob"yemnoy pechaty // *Izv. Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. # 1 (156). S. 76–79.

9. *Lysych M.N., Shabanov M.L., Romanov V.V.* Oblasti primeneniya tekhnologiy 3D pechaty // *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*. 2014. # 12–2. S. 165–169.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



АСТАХОВА Татьяна Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

Tatyana Nikolaevna ASTAKHOVA – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair « Information systems and technologies » of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics

e-mail: ctn_af@mail.ru



КАПАНОВ Алексей Александрович – студент факультета «Информационные технологии и системы связи» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

Alexey Aleksandrovich KAPANOV – student of faculty Information technologies and communication systems

e-mail: alesnim@gmail.com



КОСОЛАПОВ Владимир Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

Vladimir Viktorovich KOSOLAPOV – candidate of technical sciences, associate professor of the chair « Information systems and technologies » of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics

e-mail: vladimir.kosolapov@mail.ru



МЕЩЕРЯКОВ Евгений Евгеньевич – студент факультета «Информационные технологии и системы связи» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

Evgeny Evgenyevich MESHCHERYAKOV – student of faculty Information technologies and communication systems

e-mail: leonline5@mail.ru

Материал поступил в редакцию 5 апреля 2017 года