

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ FDM ТЕХНОЛОГИЙ В 3D ПЕЧАТИ

Р. П. МИГУЩЕНКО, М. И. ОПРЫШКИНА, К. Ю. КУШТЫМ\*

НТУ «ХПИ», г. Харьков, УКРАИНА  
\*email: zlobnih@bigmir.net

**АННОТАЦИЯ** В статье рассмотрены вопросы, посвященные технологиям быстрого прототипирования: технологии 3D печати, устройство 3D принтера, преимущества и недостатки использования 3D принтера. Проанализированы области применения 3D технологий.

**Ключевые слова:** 3D принтер, экструдер, технологии (SLA, SLS, FDM, STL, LOM) быстрого прототипирования, прототипирование, рабочая платформа, 3D Studio Max, MicroStation, 3DStudio Viz, Mimics, Alias, Pro/ENGINEER, AutoCAD, Raindrop GeoMagic, SolidWorks, Rapidform, бабина, воксель.

## THE PERSPECTIVE OF FDM-TECHNOLOGIES IN 3D PRINTING

R. P. MIGUSHENKO, M. I. OPRICHKINA, K. Y. KUSTYM

NTU "KhPI", Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** To date, actively developing modern technologies of rapid prototyping. This made it possible to model 3D representation of the object. 3D printers using rapid prototyping technology to reproduce solid-state features. Design details, various mechanisms, food and more for a given program with a minimum expenditure of physical human labor. The printing process is a series of repeating cycles associated with the creation of three dimensional models by drawing on the Desk (Elevator) of layer printer consumables, by moving the desktop down to the level of the finished layer and removing from the surface of the table waste. The printing process is a series of repeating cycles associated with the creation of three dimensional models by drawing on the Desk (Elevator) of layer printer consumables, by moving the desktop down to the level of the finished layer and removing from the surface of the table waste.

In the article the questions devoted to the technology of rapid prototyping: 3D printing technology, the device 3D printer, advantages and disadvantages of using a 3D printer. Describes how to use 3D printers in production. Analyzed applications of 3D technologies. The most common problem with 3D printer ways to address them. In article it was told about the prototyping process and what stages a product passes the design process. Narrated step by step as a printing technology FDM. Constructed the block diagram and detailed description of its components and a complete description of her work, painted the algorithm works 3D printer with FDM technology, and were considered fields of application of 3D printers.

**Keywords:** 3D printer, extruder technology (SLA, SLS, FDM, STL, LOM) rapid prototyping, prototyping, working platform, 3D Studio Max, MicroStation, 3DStudio Viz, Mimics, Alias, Pro/ENGINEER, AutoCAD or Raindrop GeoMagic, SolidWorks, Rapidform, Babin, voxel.

## Введение

Благодаря активному развитию современных технологий стало возможным моделирование 3D-представления объекта. 3D-принтеры с помощью технологии быстрого прототипирования воспроизводят твердотельные пространственные объекты. Конструкторские детали, различные механизмы, продукты питания и даже целые жилые дома выращиваются по заданной программе с минимальными затратами физического труда человека. Это явный качественный скачок промышленной цифровой программируемой технологии трехмерного твердотельного компьютерного моделирования [1].

Процесс печати представляет собой ряд повторяющихся циклов, связанных с созданием трёхмерных моделей, нанесением на рабочий стол (элеватор) принтера слоя расходных материалов, перемещением рабочего стола вниз на уровень готового слоя и удалением с поверхности стола отходов (рис.1).

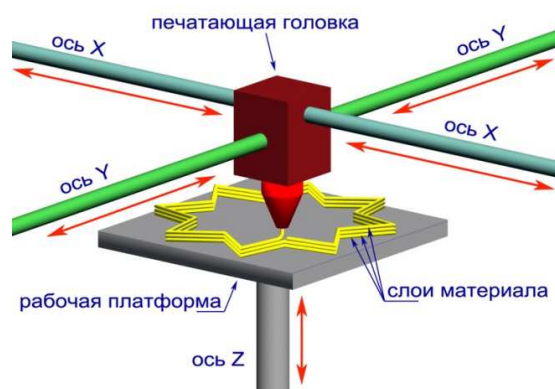


Рис.1 – Схематическое устройство механизма

Печатающая головка формирует слой материала, постепенно выращивая из них объект. Она движется только в горизонтальной плоскости (вдоль осей X и Y).

Рабочая платформа служит для размещения объекта при печати. Она передвигается по оси Z.

Вначале рабочая платформа находится в верхнем положении, а печатающая головка накладывает на нее нижний слой объекта. После того, как первый слой сформирован, рабочая платформа опускается на толщину слоя, и печатающая головка накладывает новый слой материала на предыдущий. Этот цикл повторяется до тех пор, пока не будет построен весь объект.

Одна из основных характеристик 3D-принтера – «разрешение печати» (рис.2). Под этим параметром понимают минимально допустимую высоту (т.к. ограничителя хода на оси z нет, а так же от этого зависит на сколько высокий объект 3D принтер может создать) слоя материала, с которой может печатать 3D-принтер.

На данный момент оборудование данного класса может работать с фотополимерными смолами, различными видами пластиковой нити, керамическим порошком и металлоглиной, а также с различными пищевыми продуктами.

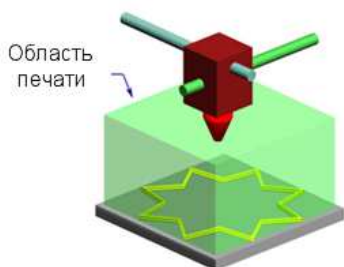


Рис. 2 – Область печати

Существуют различные технологии трехмерной печати. Разница между ними заключается в способе наложения слоев изделия.

Применяются две принципиально разные технологии трехмерной печати: лазерная и струйная [2 - 4].

В рамках лазерной технологии печати различают стереолитографию (StereoLithography или SLA), технологию лазерного спекания порошковых материалов (Selective Laser Sintering – SLS) и ламинирование (Laminated Object Manufacturing – LOM).

Струйная печать включает в себя следующие технологии:

1. Послойное наложение расплавленной полиномиальной нити (Fused Deposition Modeling – FDM).

2. Полимеризация фотополимерного пластика под действием ультрафиолетовой лампы.

Существует три разновидности технологии, запатентованные различными фирмами: Multi-Jet Modeling (MJM, компания 3D Systems), PolyJet (photopolymer jetting, компания Objet Geometries), и DODJet (Drop-On- Demand-Jet, компания Solidscape).

3. Склеивание или спекание порошкообразного материала (SLS).

В свою очередь, принтер требует для работы входные данные, представленные в формате STL

(STereoLithography), представляющем список треугольных граней, описывающих его поверхность. STL – это «мозаичный» формат, в котором для представления формы цифровой 3D-модели используется последовательность треугольников (фасетов). Трехмерная геометрия в ведущих 3D CAD-системах описывается поверхностями высокого порядка, а при триангуляции поверхность модели разбивается на маленькие треугольники. Каждый фасет описывается четырьмя наборами данных: координаты XYZ каждой из трех вершин и нормальный вектор, который описывает ориентацию фасета. Наиболее широкое распространение, благодаря высокой скорости построения объектов, получила технология стереолитографии [5, 6].

### Технология быстрого прототипирования

Трехмерная печать позволяет создавать твердотельные объекты из различных материалов (пластик, порошки металла, керамики, фотополимерные и биоматериалы и др.). В настоящее время производители 3D-принтеров работают над возможностью печати одновременно формы и содержания, например, корпуса и электронной «начинки» различных электронных устройств [7, 8].

При создании прототипа изделие проходит следующие этапы:

1. Разработка твердотельной модели или модели с замкнутыми поверхностными контурами.

2. Экспорт 3D-модели в стандартные форматы для 3D-печати (STL, WRL (VRML), PLY, 3DS и ZPR) при помощи программного обеспечения: 3D Studio Max, MicroStation, 3DStudio Viz, Mimics, Alias, Pro/ENGINEER, AutoCAD или Raindrop GeoMagic, SolidWorks, Rapidform и другие.

3. Подготовка к печати:

а) разбиение на тонкие слои в поперечном сечении (при этом толщина каждого слоя соответствует разрешающей способности оборудования по z-координате);

б) построение системы поддержки на элементы, крепление которых происходит в верхних слоях.

4. Вывод подготовленных данных на печать.

5. Послойная печать физического прототипа.

### Описание функциональной схемы

Функциональная схема работы FDM 3D принтера представлена на рис. 3.

После включения 3D принтера, происходит синхронизация с ПК. Сначала устанавливают переключатели на плате управления шаговыми двигателями для выбора драйвера (это нужно для установки шага печати: шагом, микрошагом или полушагом). Когда 3D принтер и ПК синхронизировались, пользователь может отправлять файл на печать, через специальную среду для 3D

моделирования. Далее микроконтроллер ждёт G-код. Это несложный набор команд, с помощью которых можно задавать действия принтера. Чтобы конвертировать в него модели применяют «Слайсер» – специальную компьютерную программу, которая транслирует контроллеру G-код, который в свою очередь его выполняет. Далее происходит печать, но до начала печати происходит опрос концевиков на случай, если какой вышел из строя или произошел сбой программного

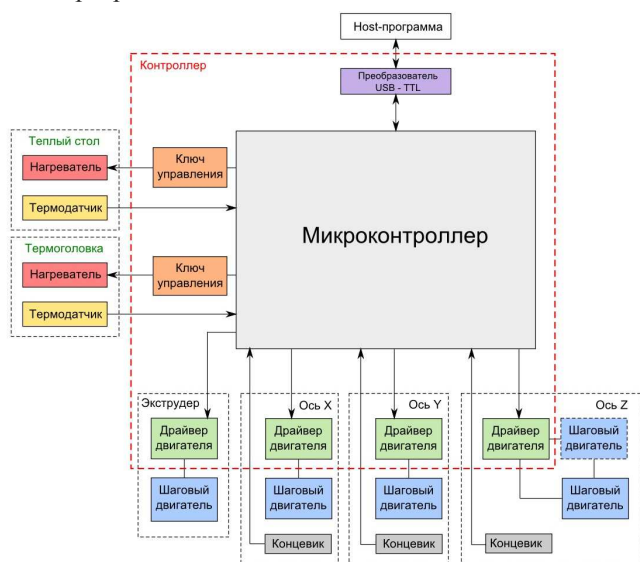


Рис. 3 – Функциональная схема FDM 3D принтера

обеспечения. Если все в порядке, устанавливаются нулевые координаты. Далее происходит подогрев рабочей поверхности и экструдера до установления рабочей температуры. Далее выдается сигнал на плату управления шаговыми двигателями [9, 10].

Работа контроллеров шаговых двигателей происходит следующим образом: сначала питание идет на шаговые двигатели, далее на логическую часть, после чего дается команда «шаг» управляющим контактам. Во время команды «шаг» на мотор подается напряжение, которого достаточно для передвижения ротора на один микрошаг, полушаг или шаг (это зависит от показателей, заданных перемычками). После этого идет печать до окончания или до соприкосновения с концевиком, если произошло касание экструдера и концевика по любой оси X, Y или Z, то печать моментально заканчивается.

#### Назначение элементов функциональной схемы

**Концевик** (датчик крайнего положения) – это ограничитель хода по осям. В момент контакта с концевиком подается сигнал ограничения хода по оси (рис. 4). Это относится ко всем осям (X, Y, Z).

**Шаговые двигатели** – выполняют перемещение экструдера в зависимости от поданного питания (рис. 5).



Рис. 4 – Концевик



Рис. 5 – Шаговый двигатель

**Экструдер** – печатная головка принтера (рис. 6). Предназначен для плавки и нанесения термопластиковой нити. Первый компонент – механизм подачи нити, состоящий из валиков и шестерней, которые приводятся в движение электромотором. Механизм осуществляет подачу нити в специальную нагревательную металлическую трубку с соплом небольшого диаметра, называемую «хот-энд» или «сопло». Тот же механизм используется для извлечения нити, если необходима смена материала.

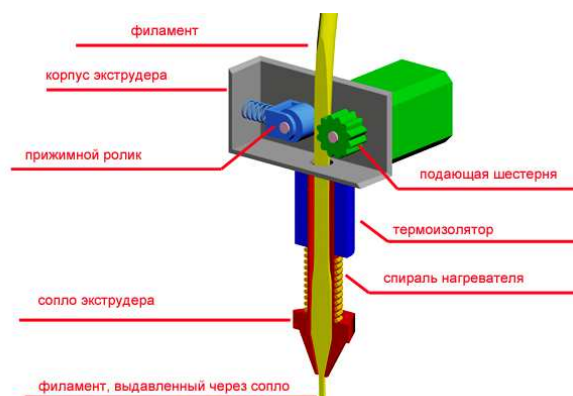


Рис. 6 – Экструдер

Сопло служит для нагревания и плавления нити, которая подается (затягивается) механизмом. Как правило, сопла производятся из латуни или алюминия, хотя возможно использование более термостойких материалов. Собственно «сопло» крепится к концу трубки при помощи резьбового соединения и может быть заменено на новое в случае износа или при необходимости изменения диаметра. Диаметр сопла обуславливает толщину расплавленной нити и, как следствие, влияет на качество печати.



**Термоголовка** – с нее поступает расплавленный пластик. Регулирование температуры на термоголовке очень важна, так как при перегревании материала может произойти пиролиз, то есть разложение пластика, что способствует как потере свойств самого материала, так и забивания сопла.

**Рабочая платформа** – на ней происходит построение моделей. Оснащается нагревательными элементами (рис. 7). Подогрев нужен для работы с целым рядом деталей, подверженных высокой степени усадки при охлаждении. Быстрая потеря объема холодными слоями в сравнении со свеженанесенным материалом может привести к деформации модели или расслоению. Подогрев платформы позволяет значительно выравнять градиент температур между верхними и нижними слоями.

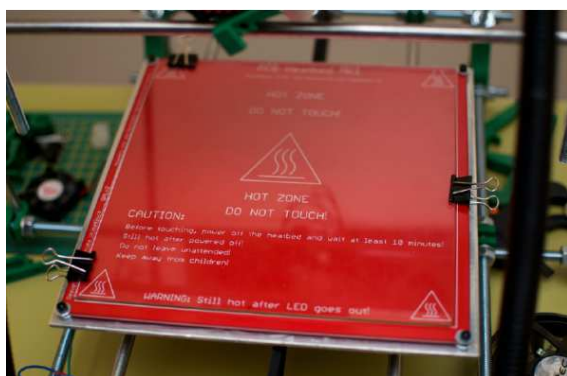


Рис. 7 – Рабочая платформа

**Драйвер двигателя** – в нем записана программа, которая отвечает за работу шаговых двигателей.

**Микроконтроллер** управляет всеми устройствами в зависимости от установленной программы.

#### Преимущества использования 3D-принтеров в производстве

1. Сокращение сроков производства. На создание прототипа нового устройства с помощью 3D-принтера нужно всего несколько часов.
2. Снижение стоимости продукции. Стоимость изготовления объекта на 3D-принтере в несколько раз ниже, чем создание пресс-формы детали.
3. Сохранение коммерческой тайны. 3D-принтер в офисе позволит сохранить все подробности новых разработок внутри компании. Не нужно передавать сведения сторонним заказчикам для производства нужной детали.
4. Широкие возможности тестирования и доработки. Можно быстро и дешево изготавливать нужное количество прототипов.

#### Области применения и перспективы развития

Несмотря на наблюдаемый в данный момент повышенный интерес к технологии 3D-репликации

(основной всплеск количества публикаций по этой теме наблюдался в 2005–2007 годах), основное ее развитие идет по пути развития аппаратных средств, повышения разрешающей способности 3D-принтеров и 3D-сканеров.

При этом точности построения (восстановления) виртуального объекта уделяется меньше внимания, несмотря на то, что данный этап является связующим между получением множества вокселей (элемент объемного изображения, содержащий значение элемента раstra в трёхмерном пространстве) и формированием «твердой копии» объекта [11,12,13].

#### Выводы

Анализ современных технологий быстрого прототипирования показывает, что на сегодняшний день существуют уникальные возможности «печати» сложнейших механизмов, в том числе автомобиля. Реализация этих возможностей связана с цифровой технологией управления материальными частицами в объемной среде принтера, где и осуществляются процессы, определяющие свойства воспроизводимого объекта. Для эффективной работы необходимо согласование компьютерной модели через универсальный язык с промышленной технологией 3D-воспроизводства. По примеру развития систем трехмерного компьютерного моделирования пространственных объектов, в которых постоянно обновляется набор инструментов, для каждого направления промышленных 3D-принтеров необходимо разрабатывать программные прототипы воспроизводства типовых трехмерных материальных объектов. Задача заключается в разработке механизмов взаимодействия между компьютерным моделированием объектов и их реализацией (в рамках системы объектного когнитивного программирования).

#### Список литературы

1. **Александров, В. В.** DIGITAL AVATAR – Цифровое воплощение инфокоммуникационных систем / **В. В. Александров, В. А. Сарычев** // *Информационно-измерительные и управляющие системы* – 2010. – №7, т. 8. – С. 3-10.
2. **Татарников, О.** Атака клонов! 3D-сканирование и трехмерная печать / **О. Татарников** // *Компьютерпресс*. – 2003. – №7. – С. 9-14.
3. **Афанасьев, К.** 3D-принтеры. [Электронный ресурс]. – <<http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/print/>>
4. **Boppa, V. Chowdary** Some STL File Generation Issues in Rapid Prototyping / **Chowdary, Boppa V., Sahatoo, Divesh R. and Bhatti, Raj** // *Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2007) – Developing Entrepreneurial Engineers for the Sustainable Growth of Latin America and the Caribbean: Education, Innovation, Technology and Practicel*, 29 May – 1 June 2007, Tampico, México, 9 p.
5. **By Joshua M. Pearce**, PhD Posted on 18 November 2013 – 3D - Hrinting your lab equipment - it's cheaper than you think.

- [Web] < <https://www.elsevier.com> >
6. **By Brent Stephens**, PhD Posted on 26 July 2013 – 3D - Could particle emissions from desktop 3D printers reach unhealthy levels? – [Web] < <https://www.elsevier.com> >
  7. **By Zhang & Fisher & Leong**, Posted on 06 Jun 2015 – 3D Bioprinting and Nanotechnology in Tissue Engineering and Regenerative Medicine? 1st Edition – [Web] <<http://store.elsevier.com>>
  8. 3D Printing Gold Rush: How to Profit from 3D Printing – The Next Technology Revolution. – [Web] – <<http://www.solidsmack.com>>
  9. 3D Printing: Build Your Own 3D Printer and Print Your Own 3D Objects. – [Web]. – <<http://ptgmedia.pearsoncmg.com> >
  10. 3D-печать: третья индустриально-цифровая революция. Часть 1. – [Электронный ресурс]. – <<http://bloggerator.ru>>
  11. 3D-модели. ж: Blackie. – 2013. – № 17. – [Электронный ресурс]. – <<http://3dtoday.ru/3dmodels-2/soft3d/1521>>
  12. 3D-модели. ж: Blackie, Июль №24, С-П, 2013 – <<http://3dtoday.ru/3dmodels-2/soft3d/784>>
  13. Основы 3d-печати для начинающих. 3D-принтер. – [Электронный ресурс]. – <<http://partmaker.ru>>

#### Bibliography (transliterated)

1. **Alexandrov, V. V., Sarychev, V. A.** DIGITAL AVATAR – a Digital representation of the information and communication systems. *Information-measuring and control system*, 2010, **7(8)**, 3-10.
2. **Tatarnikov, O.** Attack of the clones! 3D scanning and three-dimensional printing. *Computer Press Confer*, 2003, **7**, 9-14.
3. **Afanasyev, K.** 3D printers, [Web], <<http://www.3dnews.ru>>
4. **Boppana V. Chowdary, Divesh R. Sahatoo, Raj Bhatti** Some STL File Generation Issues in Rapid Prototyping. *Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2007) – Developing Entrepreneurial Engineers for the Sustainable Growth of Latin America and the Caribbean: Education, Innovation, Technology and Practice*, Tampico, México, 29 May – 1 June 2007, 9 p.
5. **By Joshua M. Pearce**, PhD Posted on 18 November 2013 – 3D - Printing your lab equipment - it's cheaper than you think, [Web], < <https://www.elsevier.com> >
6. **By Brent Stephens**, PhD Posted on 26 July 2013 – 3D Could desktop particle emissions from 3D printers reach unhealthy levels? [Web], < <https://www.elsevier.com> >
7. **By Zhang & Fisher & leong**, Posted on 06 Jun 2015 – 3D Bioprinting and Nanotechnology in Tissue Engineering and Regenerative Medicine? 1st Edition, [Web], <<http://store.elsevier.com>>
8. 3D Printing Gold Rush: How to Profit from 3D Printing The Next Technology Revolution, [Web], <<http://www.solidsmack.com>>
9. 3D Printing: Build Your Own 3D Printer and Print Your Own 3D Objects, [Web], <<http://ptgmedia.pearsoncmg.com> >
10. 3D printing: the third industrial revolution is digital. Part 1, [Web], <<http://bloggerator.ru>>
11. 3D model. W: Blackie, September, 2013, **17**, [Web], <<http://3dtoday.ru/3dmodels-2/soft3d/1521>>
12. 3D model. W: Blackie, 2013, **24**, <<http://3dtoday.ru>>
13. The basics of 3d - printing – for – beginners. 3D printer, <http://partmaker.ru>

#### Сведения об авторах (About authors)

**Мигущенко Руслан Павлович** – доктор технических наук, профессор, проректор Национального Технического Университета «ХПИ», г. Харьков, Украина; e-mail: [mrp1@bk.ru](mailto:mrp1@bk.ru).

**Mygushchenko Ruslan Pavlovych** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Prorector of NTU “KPI”, Kharkov, Ukraine; e-mail: [mrp1@bk.ru](mailto:mrp1@bk.ru).

**Опрышкина Марина Игоревна** – кандидат технических наук, доцент Национального Технического Университета «ХПИ», г. Харьков, Украина; e-mail: [flaming541@yandex.ru](mailto:flaming541@yandex.ru).

**Oprichnina Marina Igorevna** – candidate of technical Sciences, associate Professor National Technical University "HP", Kharkov, Ukraine; e-mail: [flaming541@yandex.ru](mailto:flaming541@yandex.ru).

**Куштым Константин Юрьевич** – магистр Национального Технического Университета «ХПИ», г. Харьков, Украина; e-mail: [zlobnih@bigmir.net](mailto:zlobnih@bigmir.net).

**Kushtym Konstantyn Yurievich** – master of National Technical University "KHPI", Kharkov, Ukraine; e-mail: [zlobnih@bigmir.net](mailto:zlobnih@bigmir.net).

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

**Мигущенко, Р. П.** Перспективность FDM технологий в 3D печати / **Р. П. Мигущенко, М. И. Опрышкина, К. Ю. Куштым** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 148-152. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.21.

Please cite this article as:

**Mygushchenko, R. P., Oprichnina, M. I., Kushtym, K. Yu.** The perspective of fdm-technologies in 3D printing. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18** (1190), 148-152, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.21.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

**Мігущенко, Р. П.** Перспективність FDM технологій у 3D друку / **Р. П. Мігущенко, М. І. Саприкіна, К. Ю. Куштим** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 148-152. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.21.

**АНОТАЦІЯ** У статті розглянуті питання, присвячені технологіям швидкого прототипування: технології 3D друку, пристрій 3D принтера, переваги і недоліки використання 3D принтера. Проаналізовано області застосування 3D технологій. **Ключові слова:** 3D принтер, екструдер, технології (SLA, SLS, FDM, STL, LOM) швидкого прототипування, прототипування, робоча платформа, 3D Studio Max, MicroStation, 3DStudio Viz, Mimics, Alias, Pro / ENGINEER, AutoCAD, Raindrop GeoMagic, SolidWorks, Rapidform, бабина, воксель

Поступила (received) 12.05.2016