

КИРСАНОВ А. Е., АЛЕКСЕЕВ А. А., ШИШОВ О. В.
3D-ПЕЧАТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
СПИРАЛЬНОЙ ПЕЧАТИ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ
С ВОЛНООБРАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И ЭФФЕКТОМ «ПЛЕТЕНИЯ»

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм создания управляющих команд для трёхмерной печати спиральным методом с волнообразной поверхностью стенки изделия и эффектом «плетения». Алгоритм позволяет повысить прочность изделия при спиральной печати. На данный момент применяется при изготовлении ваз, посуды и декоративных изделий из керамики на 3D-принтере «Erzay3D Craft».

Ключевые слова: 3D-принтер, спиральная 3D-печать, метод послойного осаждения жидкости, метод послойного наплавления, тело вращения, эффект «плетения».

KIRSANOV A. E., ALEKSEEV A. A., SHISHIOV O. V.
3D-PRINTING OF CERAMIC PRODUCTS USING SPIRAL PRINTING
OF THE BODY OF ROTATION WITH A WAVY SURFACE
AND THE EFFECT OF «WEAVING»

Abstract. The article discusses the algorithm for creating control commands for three-dimensional printing by the spiral method with a wavy surface of the fabric wall and the effect of «weaving». The algorithm allows to increase the strength of the product during spiral printing. Currently used in the manufacture of vases, dishes and decorative products from ceramics on a 3D-printer «Erzay3D Craft».

Keywords: 3D printer, spiral 3D printing, liquid deposition method, fused deposition modeling, rotation body, «weaving» effect.

Алгоритм создан в рамках проекта разработки программного пакета «Erzay 3D Lab», используемого в технологиях 3D-печати. Программное обеспечение создавалось компанией ООО «Робокинетика» (г. Саранск, Республика Мордовия) для выпускаемых ею 3D-принтеров «Erzay3D» [1]. Разработанный алгоритм позволяет улучшить качество печатных изделий из керамики, гипса и других печатных материалов. На настоящий момент программная реализация алгоритма используется при изготовлении ваз, посуды и декоративных изделий из керамики на 3D-принтере «Erzay3D Craft».

FDM и LDM технологии 3D-печати. Самый распространённый и доступный на данный момент способ трёхмерной печати – это послойная 3D-печать экструзионным методом с явным переходом между слоями. Печатающая головка создаёт двумерный рисунок, экструдирова (выдавливая) печатный материал (филамент) на печатном столе 3D-принтера,

затем происходит перемещение печатающей головки вверх на один слой и начинается печать следующего слоя. При таком способе печати имеется явный переход между слоями в точке перемещения печатающей головки от одного слоя к другому. Такой способ используется повсеместно при печати методом «послойного наплавления» (англ. fused deposition modeling, далее FDM), преимущественно из разного рода пластмасс [2].

Однако, в последнее время в экструзионной 3D-печати начали использоваться полужидкие и вязущие материалы, которые сильно отличаются от пластмасс по своим свойствам в первую очередь из-за большего времени застывания и необходимости использовать сопла с большим диаметром из-за наличия твёрдых нерастворённых частиц в веществе. К таким материалам можно отнести размягчённую глину, гипс, цемент и другие. Хотя основные принципы экструзионной печати вязущими материалами остались теми же, что у FDM-печати, данная технология получило название «моделирование методом послойного осаждения жидкости» (англ. liquid deposition modeling, далее LDM) [3]. Печать вязущими материалами нашла своё применение в изготовлении посуды, декоративных светильников, а также предметов искусства [4].

Спиральная печать с волнообразной поверхностью и эффектом «плетения». В связи с использованием сопел большого диаметра (1 мм и более), на напечатанных изделиях появляются ярко выраженный шов по линии местам перехода печатающей головки на новый слой (см. рисунок 1).



Рис. 1. Шов на изделии по линии перехода печатающей головки на новый слой

Проблему появления швов в некоторой степени решает перемещение точки перехода на новый слой в случайное место. Однако при этом вместо шва на стенках изделия все равно остаются разрывы, которые просто в силу их случайного местоположения менее бросаются в глаза. Кардинально эту проблему решает только отказ от послойной печати со ступенчатым явным переходом между слоями в пользу спиральной печати.

В этом случае печатающая головка на протяжении процесса печати постоянно движется вверх, описывая внешний контур модели по спирали. В таком случае переход между слоями будет неярким, так как отсутствует точка, в которой печатающая головка переходит от одного слоя к другому [5]. Для того чтобы осуществлять печать только внешнего контура изделия и при этом получать приемлемые параметры по прочности изделия был разработан собственный алгоритм спиральной печати. Алгоритм заключается в периодическом движении печатающей головки от центра печатаемого тела наружу и обратно с небольшой амплитудой и периодом. Таким образом толщина стенок при спиральной печати увеличивается. Подобрав некоторую амплитуду и период, можно добиться эффекта, при котором экструдированная нить накладывается на предыдущий слой подобно тому, как происходит плетение корзины. Такой эффект назван «эффектом плетения» (см. рисунок 2).

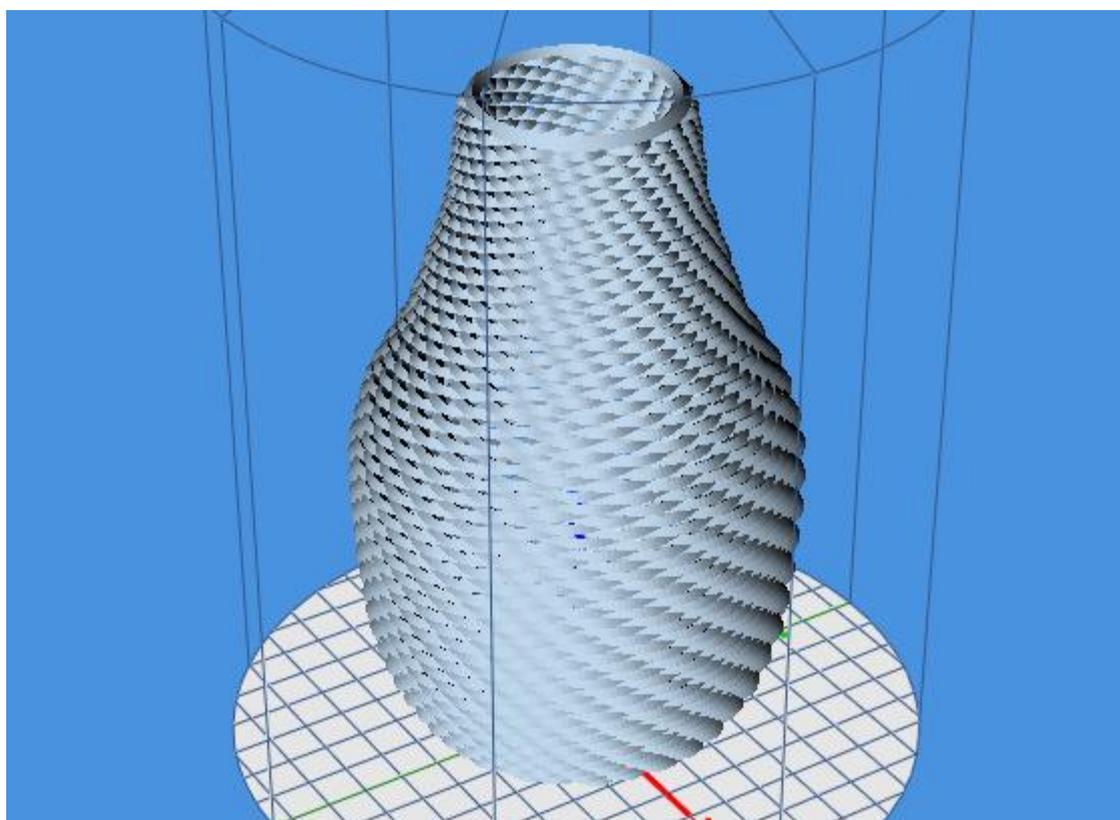


Рис. 2. Эффект «плетения» поверхности вазы

В случае увеличения амплитуды и периода стенки приобретают волнистую поверхность (см. рисунок 3), что может использоваться в дизайнерских решениях.

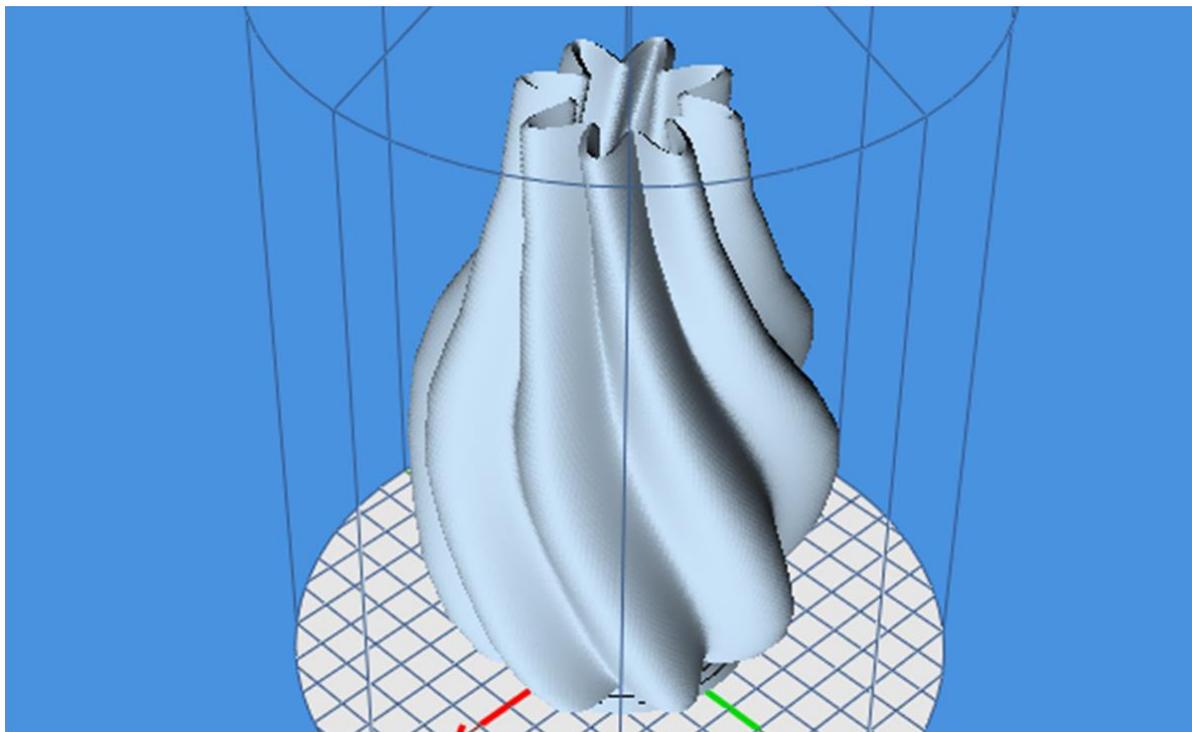


Рис. 3. Волнообразная поверхность вазы

Создание графического интерфейса для работы с алгоритмом печати с волнообразной поверхностью и эффектом «плетения». Алгоритм реализован в рамках создания программного пакета «Erzay 3DLab». Пакет разрабатывается с использованием кроссплатформенного фреймворка Qt, позволяющего создавать сложные графические интерфейсы. Для удобства работы с алгоритмом, создано отдельное окно «Генератор ваз». Для описания формы будущего изделия, создан редактор, в котором пользователю предоставлен интерфейс для описания контура тела вращения. Контур тела вращения описывается точками, соединёнными отрезками, образующими ломанную линию. В редакторе контура точки можно создавать, перемещать и удалять. Для большей наглядности реализована визуализация координатных осей (ось X – красная линия, ось Z – синяя) и границы области печати. Созданный контур зеркально отражается относительно оси Z , чтобы получить изображение вида сбоку формируемого тела вращения. В этом же окне имеются поля для указания параметров печати и параметров работы алгоритма (см. рисунок 4).

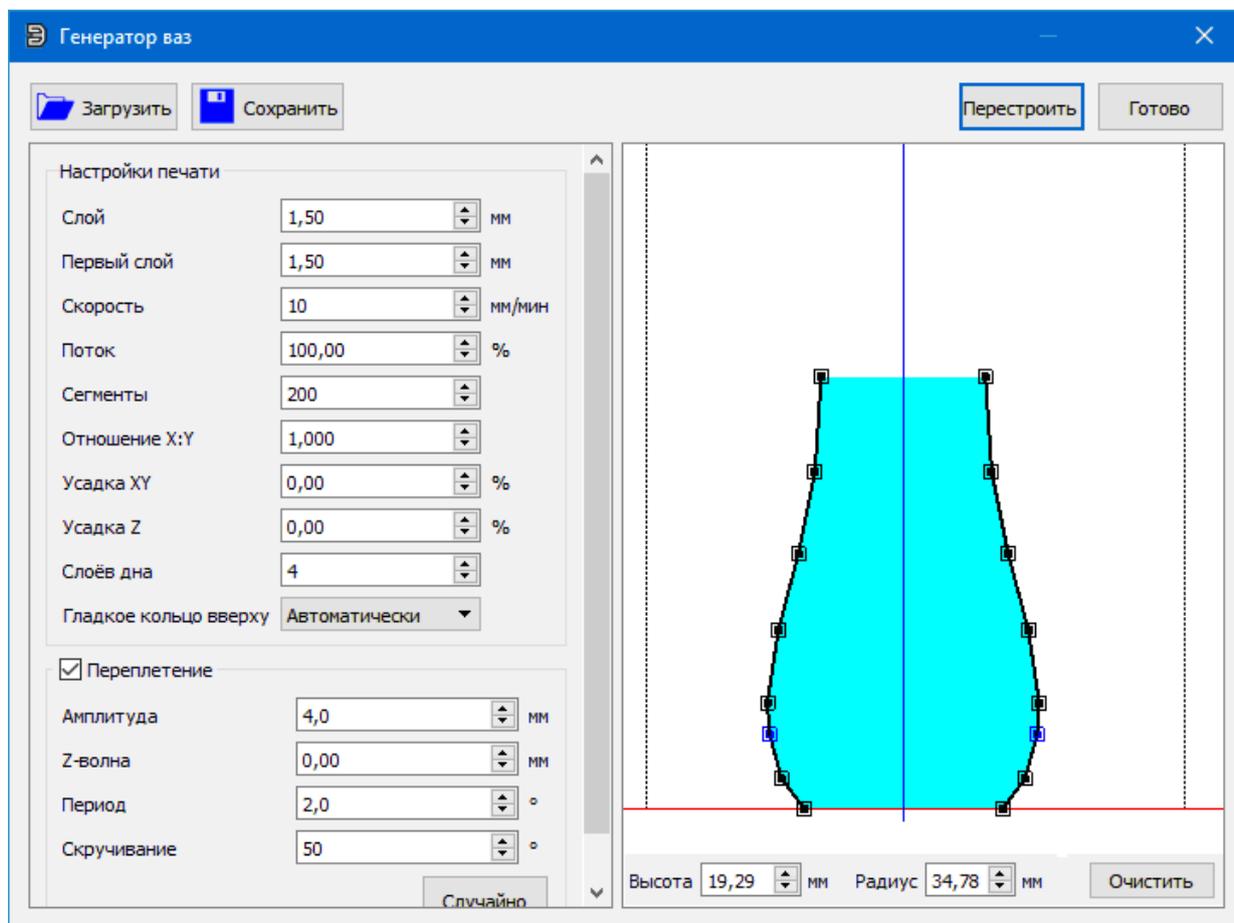


Рис. 4. Окно «Редактор ваз»

Описание алгоритма. 3D-принтер является станком с числовым управлением. Как и для любого другого подобного станка, для изготовления чего-либо на 3D-принтере необходимо передать устройству соответствующие команды. Набор команд в виде кодов передается в принтер обычно в форме текстового файла. Коды для движения печатающей головки придерживаются стандарта G-кода NIST RS274NGC. Команда печати обычно имеет следующий формат: «G1 X{X} Y{Y} Z{Z} E{E}», где: {X}, {Y} и {Z} – значения координат положения печатающей головки в конце выполнения команды, а {E} – объем выдавливаемого материала [6].

Формирование текстового файла со списком команд для печати ведется в цикле, при каждой итерации которого создается управляющая команда печати отдельного отрезка (сегмента).

Значение координаты Z высоты печатающей головки определяется следующей формулой:

$$Z = H_{layer} \cdot \left(\frac{curSeg}{segments} + layer \right), \quad (1)$$

где: H_{layer} – высота (толщина) слоя печати, указанная пользователем;
 $curSeg$ – номер текущего сегмента на текущем слое;
 $segments$ – количество сегментов на один слой, указанных пользователем;
 $layer$ – номер текущего слоя (начинается с нуля).

Таким образом, при печати сегмента печатающая головка на протяжении всей печати будет увеличивать свою координату Z . Это обусловлено увеличением значения переменной $layer$ каждый раз, когда оканчивается печать очередного слоя, и увеличением значения переменной $curSeg$ при окончании печати очередного сегмента.

Значения координат X и Y положения печатающей головки вычислим по формулам:

$$X = R \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot curSeg}{segments}\right), \quad (2)$$

$$Y = R \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot curSeg}{segments}\right), \quad (3)$$

где, R – длина радиус-вектора точки, лежащей на контуре тела вращения на текущей высоте печатающей головки.

Значение R определяется формулой:

$$R = R_p + \frac{R_{p+1} - R_p}{Z_{p+1} - Z_p} (Z - Z_p) + I_w, \quad (4)$$

где: R_p, R_{p+1} – длины радиус-векторов точек начала и конца текущего отрезка контура тела вращения;

Z_p, Z_{p+1} – координаты высоты радиус-векторов точек начала и конца текущего отрезка контура тела вращения;

I_w – поправка, обуславливающая создание различных узоров.

Поправка I_w может вычисляться различными способами. Например, чтобы получить волнообразную поверхность стенок, можно применить формулу:

$$I_w = A_{I_w} \cos(curSeg / P_{I_w}), \quad (5)$$

где: A_{I_w} – амплитуда волны, указанная пользователем; P_{I_w} – период волны, указанный пользователем.

Если I_w на протяжении всей печати будет равно нулю, то стенки будут иметь гладкую поверхность.

Значения координаты E угла поворота шнека экструдера в начальный момент времени равен нулю. Каждое последующее значение вычисляется по формуле:

$$E = E_{i-1} + H_{layer} \cdot l, \quad (6)$$

где: E_{i-1} – значение координаты E в начале выполнения команды; l – длина отрезка от точки предыдущего положения печатающей головки до текущей.

Полученные координаты вписываются в команду, которая сохраняется в текстовый файл.

В конце каждой итерации при превышении $curSeg$ значения $segments$, $curSeg$ сбрасывается в ноль, а значение $layer$ инкрементируется. Цикл завершается, когда координата высоты печатающей головки Z достигает значения Z_{n-1} – высоты наивысшей точки контура тела вращения.

Полученный файл управляющих команд можно открыть программой для последующей визуализации и печати.

Подбором параметров можно добиться различных результатов работы алгоритма (см. рисунок 5).



Рис. 5. Изделия, сформированные при разных настройках параметров алгоритма.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет создавать файлы управляющих команд для трёхмерной печати тела вращения спиральным методом с эффектом «плетения» или с возможностью придания стенкам волнообразной поверхности, что может применяться в дизайнерских решениях. Эффект «плетения» позволяет получать приемлемые параметры по прочности изделия при печати лишь его внешнего контура. Одновременно он позволяет печатать более высокие изделия при той же вязкости печатающих материалов, не тратя лишнее время на застывание сделанных в первую очередь нижних его слоев.

На данный момент алгоритм применяется при изготовлении ваз, посуды и декоративных изделий из керамики на 3D-принтере «Erzay3D Craft». Алгоритм реализован на языке программирования C++ и встроен в пакет «Erzay 3D Lab», который применяется для работы с этим принтером. Встроенный в него редактор тела вращения, избавляет пользователя от необходимости наличия стороннего программного обеспечения для трёхмерного моделирования при создании форм для 3D-печати. Пакет «Erzay 3D Lab» доступен для свободного скачивания на официальном сайте разработчика [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О компании Робокинетика. [Электронный ресурс]. URL: <https://robokinetics.ru/about/> (дата обращения 24.12.2019).
2. FDM – технология 3D-печати пластиком. [Электронный ресурс]. URL: http://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/ (дата обращения 24.12.2019).
3. Liquid Deposition Modeling (LDM) – 3D Printing Media Network. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.3dprintingmedia.network/additive-manufacturing/am-technologies/what-is-liquid-deposition-modeling/> (дата обращения 24.12.2019).
4. 3D Potter – Real Clay 3D Ceramic Printers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dpotter.com/> (дата обращения 24.12.2019).
5. Mastering Ultimaker Cura. [Электронный ресурс]. URL: <https://ultimaker.com/en/resources/21932-mastering-cura> (дата обращения 24.12.2019).
6. G-code/ru – RepRap. [Электронный ресурс]. URL: <https://reprap.org/wiki/G-code/ru> (дата обращения 24.12.2019).
7. Erzay 3D Lab – Программа для 3D печати. [Электронный ресурс]. URL: <https://robokinetics.ru/3dlab/> (дата обращения 24.12.2019).