

# Исследование процесса моделирования опорных конструкций на основе функционально-воксельных моделей для аддитивных технологий

*Е.Р. Батуев,  
магистр.,  
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва  
А.В. Толок,  
д.т.н., проф., зав. каф.  
ИПУ РАН, г. Москва*

В работе изложена проблема формирования системы опорных конструкций (поддержек) для применения в аддитивных технологиях. Существующие способы моделирования опорных конструкций ориентированы на построение их для полигональной модели поверхности прототипа с дальнейшими процедурами послойного разбиения. В работе представлен подход к исследованию процесса моделирования опорных конструкций на основе функционально-воксельных моделей (ФВМ) для аддитивных технологий, позволяющий компенсировать недостатки полигональных моделей.

### Введение

Активное развитие цифровых технологий в области проектирования и моделирования побудило процесс развития аддитивных технологий (от англ. – «Additive Manufacturing Technologies»), и в настоящее время крайне сложно указать область материального производства, где в той или иной степени не использовалась бы или не исследовалась на применимость 3D-печать.

Аддитивные технологии предполагают изготовление прототипа (детали) методом послойного нанесения (добавления, англ. – «add») материала, в отличие от традиционных методов образования детали, за счёт удаления (вычитания, англ. – «subtraction») материала из массива заготовки. На выходе получаем деталь сложной геометрической формы, сделанную за короткий срок.

Процесс моделирования опорных конструкций для прототипа поручают компьютерной системе, так как этот процесс выполнять вручную нецелесообразно вследствие сложности геометрии конструкций. В машиностроительной отрасли важнейшую роль играет точность геометрии. Именно поэтому конечная форма детали должна быть обеспечена поддержкой опорных конструкций. Которые позволяют: предотвращать расслаивание в сложных участках прототипа; легко отделять синтезированный прототип от основания-платформы; стабилизировать выступы, консоли на краях прототипа; облегчить синтез сложных прототипов, создавая их из нескольких частей; корректировать возможное искривление слоев на платформе.

### 1. Моделирование опорных конструкций в аддитивных технологиях

Все ныне существующие подходы 3D-печати с использованием моделирования опорных конструкций для аддитивных технологий базируются на единообразном решении, представляющий собой определенный алгоритм исполнения:

1. построение модели прототипа (CAD-модель);
2. проведение анализа нависающих частей модели;
3. построение поддержек к нависающим частям модели;
4. загрузка построенной модели прототипа в модуль 3D-принтера;
5. преобразование трехмерной модели в понятный 3D-принтеру набор команд (напр.: G – код), с помощью программы называемой – слайсером (от англ. – «to slice»);
6. печать прототипа на 3D-принтере.

Во многих системах моделирования опорных конструкций предусмотрен режим сборки, в которой технолог – программист может моделировать поддерживающие структуры, глядя или опираясь на геометрию детали, что вносит в процесс технологии человеческий фактор. Это может привести к избыточности опорных конструкций, что приведет к увеличению времени моделирования и печати, а недостаточность – к получению бракованных прототипов изделий.

#### 1.1. Моделирование опорных конструкций на основе функционально-воксельных моделей

Предлагается способ моделирования системы опорных конструкций (поддержек) на основе функционально-воксельных моделей для применения в аддитивных технологиях, таких как Poly-Jet, FDM, SLM и т.п. Из вышеизложенного мы поняли, что существующие способы моделирования опорных конструкций ориентированы на построение их для полигональной модели поверхности прототипа с дальнейшими процедурами послойного разбиения. На рис. 1 можно увидеть процесс послойного синтеза.

Метод функционально – воксельного моделирования (ФВМ) [1] позволяет организовать подход, ориентированный на применение аналитического описания прототипа (т.е. содержащий в своей основе аналитическую модель), представленного воксельной геометрической моделью. В качестве средств построения опорных конструкций предлагается использовать алгоритм градиентного движения [1,2] из регулярно организованной системы точек к концентраторам функции, описывающей геометрический объект.

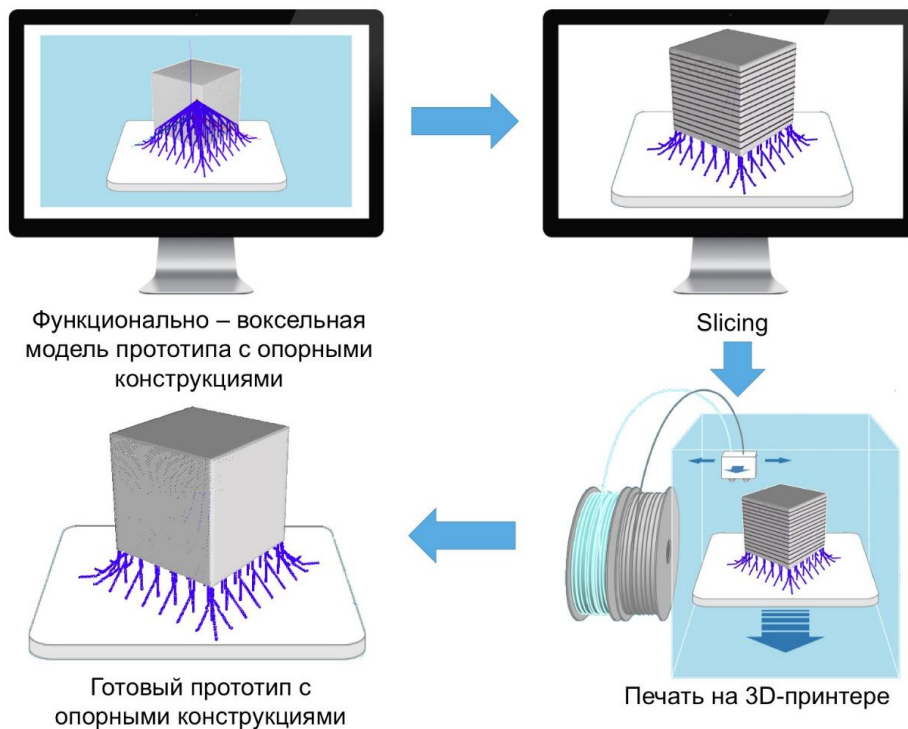


рис. 1 Процесс послойного синтеза

Под концентраторами функций будем понимать точку функционального пространства, где значение функции приобретает локальный максимум. На рис.2 представлен подход к моделированию опорных конструкций, где красным цветом показан концентратор функции, а синим градиент.

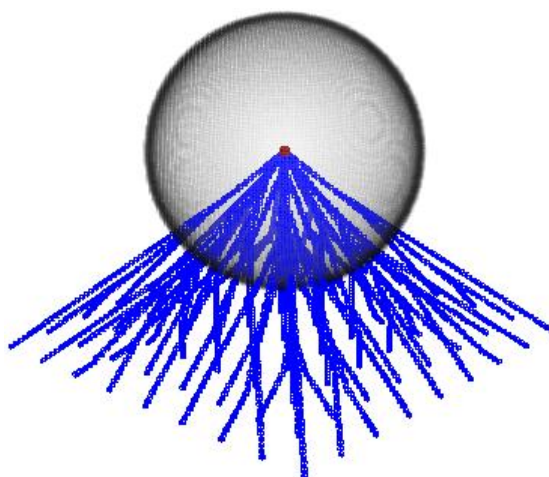


рис. 2 Трёхмерное представление прототипа сферы с концентратором и градиентным построение опоры

В ходе исследования выявлено, что количество концентраторов напрямую зависит от шага сетки исходных точек градиентного движения (рис. 3).

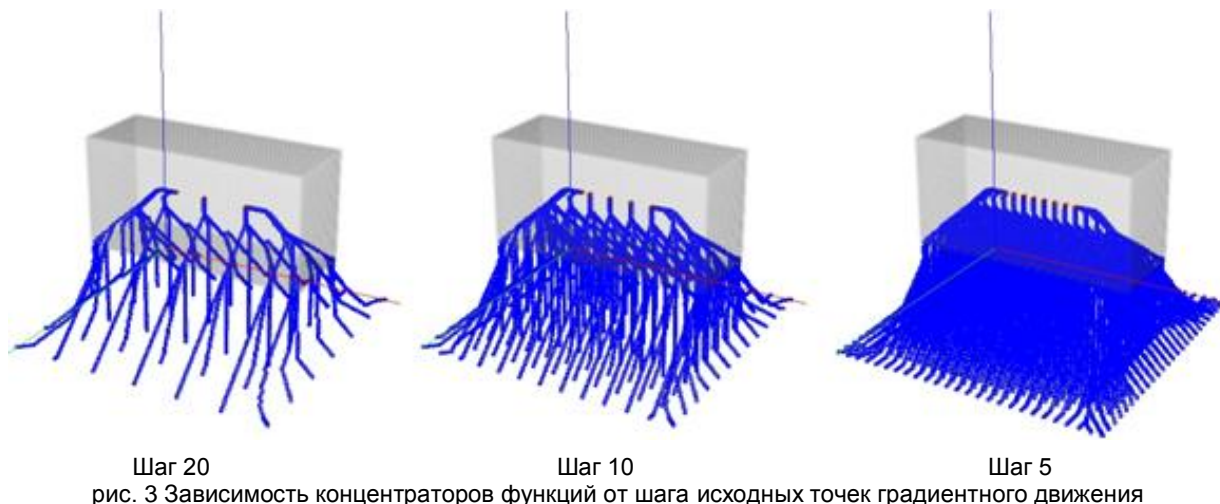


рис. 3 Зависимость концентраторов функций от шага исходных точек градиентного движения

Алгоритм процесса создания опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей выглядит примерно следующим образом:

1. R-функциональное моделирование объекта;
2. Расчёт с заданным параметром шага градиентного движения;
3. Визуализация с заданными параметрами 3D-модели.

В результате получается трехмерная модель прототипа с опорными конструкциями, т.е. не требуется описания дополнительной аналитической модели поддержек.

## **2. Идея программной реализации модуля моделирования опорных конструкций на основе функционально-воксельных моделей**

На основе анализа выше изложенного алгоритма моделирования опорных конструкций на основе функционально-воксельных моделей и градиентного алгоритма ФВМ, предлагается создание программного средства для реализации автоматического построения опорных конструкций для аналитической модели объекта.

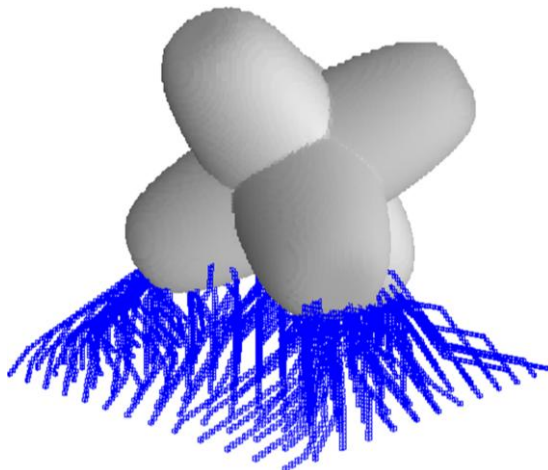


рис.4. Трёхмерное представление прототипа с опорными конструкциями

### **Заключение**

Активное развитие средств построения аналитических САПР-технологий, определяет актуальность разработки подобных подходов с применением функционально-воксельных моделей для решения таких задач как проектирование опорных конструкций (поддержек) в аддитивных технологиях.

### **Литература**

1. Толлок, А.В. Функционально-воксельный метод в компьютерном моделировании / А.В. Толлок. – Л.: Физматлит, 2016. – 112 с.
2. Grigoryev S.N., Tolok N.B., Tolok A.V. Local Search Gradient Algorithm Based on Functional Voxel Modeling // Programming and Computer Software. 2017. Vol. 43, No. 5. С. 300–306.