

УДК 004.925.84

## ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ФИЛЬТРУЮЩИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

### GEOMETRICAL MODEL OF STRUCTURE OF THE FILTERING POROUS MATERIALS

*М.В. КИСЕЛЕВ, М.А. ПОМЕРАНЦЕВ, В.В. КУЛИКОВСКИЙ*  
*M.V. KISELEV, M.A. POMERANTSEV, V.V. KULIKOVSKIY*

(Костромской государственный университет)  
(Kostroma State University)

E-mail: kisselev50@mail.ru, grinder@bk.ru, kylvit@mail.ru

*Разработано оригинальное программное обеспечение построения геометрической модели структуры пористых материалов фильтров, позволяющей получать геометрическую модель фильтра в формате \*stl с различными конструктивными параметрами.*

*The original software of creation of geometrical model of the structure of porous materials of filters allowing to receive geometrical model of the filter in a format \*stl with various design data is developed.*

**Ключевые слова:** геометрическая модель, структура, свойства, фильтрующий материал.

**Keywords:** geometric model, structure, properties, filter material.

В последние годы происходит быстрое развитие производства волокнисто-пористых конструкционных и фильтрующих материалов (ВПКФМ) как бытового, так и технического назначения [1]. На сегодняшний день области применения ВПКФМ весьма разнообразны. ВПКФМ используют

в нефтегазовой, оборонной, композитной, авиационной, машиностроительной промышленности, в кораблестроении и строительстве, в сельском хозяйстве, индустрии спорта и туризма, ЖКХ. Особый интерес вызывает применение ВПКФМ для очистки жидкостей и газов от различных примесей.

Технология производства таких материалов является инновационной, безотходной, экологически безопасной и основана на высокотемпературном формировании слоев изделия методом распыления полимера высоким давлением воздуха из расплава, с программируемыми физическими, механическими и химическими свойствами конечного продукта производства.

В настоящее время теоретический и практический интерес представляет изучение фильтрующей способности материала, которая будет определяться его структурой. На сегодняшний день теоретических расчетов данных материалов и обоснование выбора их пористости и размеров капилляров для получения оптимального решения в каждом конкретном случае применения нет. В связи с этим сегодня предлагается большое количество различных программных продуктов, направленных на сокращение сроков разработки новых изделий, уменьшение себестоимости и повышение качества продукции [2]. Очевидно, что для решения оптимальной или рациональной конструкции фильтра, в зависимости от предъявляемых к нему технических требований, необходимо применение адекватной системы проектирования. Первым этапом решения задачи проектирования нового материала или конструкции является построение их геометрической модели. Для машиностроительных изделий данная задача решается с применением стандартных САД-систем. Однако для материалов со сложным строением внутренней структуры прямое применение известных САД-систем не решает задачи построения геометрической модели материала и представляет собой самостоятельную задачу. Актуальность задачи подтверждается современным требованием цифровизации процесса проектирования и создания цифровых двойников технологий и изделий.

Решение поставленной задачи начнем с анализа известных САД-систем на примере системы Pro/ENGINEER. Для данной системы разработана методика построения геометрической модели пористых материалов для фильтров с использованием различ-

ных информационных массивов [3]. Реализация методики потребовала организации обмена данными между ПО Pro/ENGINEER и MS EXCEL.

Примеры построения структуры пористого материала с использованием разработанной методики приведены на рис. 1 (примеры 3D-моделей блока ячеистой структуры в Creo Parametric 3.0.)

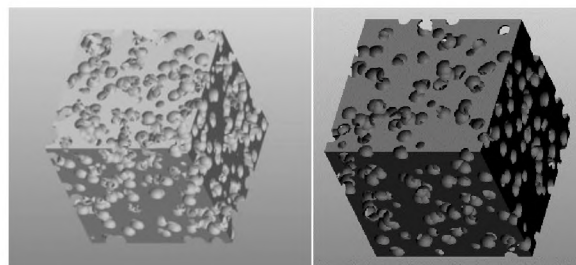


Рис. 1

Формирование геометрической модели фильтрующего материала с использованием продукта Pro/ENGINEER показало, что ячеистая структура не представляет возможным проведение гидро- и газодинамического анализа в связи с отсутствием сквозных каналов в материале для выполнения функций фильтрации. Теоретически возможное усложнение алгоритма расположения пористых ячеек приводит к усложнению работы пользователя с системой и потере одного из самых важных требований к программному обеспечению – универсальности. Таким образом, сделан вывод о необходимости разработки оригинального предметно-ориентированного программного обеспечения.

Разработка САД началась с разработки геометрического ядра конструктивной блочной геометрии (CSG) [4]. Геометрическое ядро содержит набор классов описания объектов: точка-вектор, полигон, плоскость, а также функции аналитической геометрии, векторной и линейной алгебры, набор операций над 3D-телами, операции над бинарными деревьями, а также операции слияния, копирования, разделения деревьев, обход деревьев левосторонний и в ширину. В ядре заложен минимально необходимый функционал для построения кон-



структивных элементов, которые позволяют создать контуры простой формы: треугольник, прямоугольник, шестигранник, эллипс, окружность, произвольный через эскиз. По заданному виду контура создается вытянутая поверхность. Для построения сложных моделей применяются булевы операции над 3D-телами: вычитание, объединение, исключение. Графический редактор представлен только для ввода контура произвольной формы в отдельном окне, интерфейс отображения 3D-модели не имеет функций редактирования геометрии. Для задания геометрии применяется интерфейс ввода параметров, характеризующий размеры конструкции по заданным законам изменения: по параболе, линейный, постоянный, сигмоидальный, по Гауссу. Для отображения построенной 3D-модели применялся графический интерфейс OpenGL с возможностью вращения полученной конструкции, приближения и удаления, и перемещения. Построенная мо-

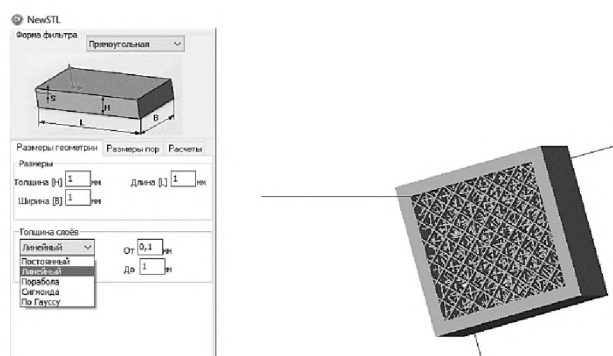


Рис. 2

Для цилиндрической модели это внутренний и внешний диаметры, длина, угол сегмента и толщина слоя (рис. 3 – размеры геометрии цилиндрической формы).

2-й этап. Задаются размеры пор геометрии. А именно:

- Угол наклона пор на поверхности в диапазоне от  $-90$  до  $+90^\circ$ .

Для создания случайности расположения отверстий в каждом слое, чтобы создавалась неоднородная структура пересечений, для каждого слоя задан угол наклона расположения отверстий в диапазоне изменения

дель выгружается/загружается в обменном формате STL.

Интерфейс программы упрощен и не требует каких-либо дополнительных знаний пользователя. Программа позволяет проектировать модели двух форм: прямоугольную и цилиндрическую и включает в себя три этапа.

1-й этап. Задаются размеры самой геометрии. Для прямоугольной – толщина – ширина – длина и толщина слоев ( $H \times B \times L$ ). При этом программа позволяет построить минимально возможный размер модели  $1 \times 1 \times 1$  мм с толщиной слоя 0,1 мм.

Помимо этого толщина слоев может иметь как фиксированное значение "Постоянный", так и изменяться по одному из законов "Линейный", "Парабола", "Сигмоида", "по Гауссу" и иметь минимальное и максимальное значения толщины (рис. 2 – размеры геометрии прямоугольной формы).

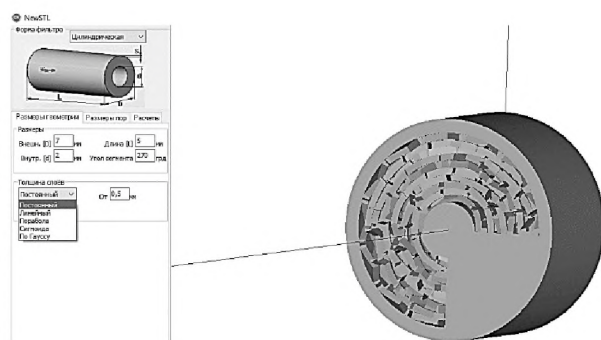


Рис. 3

заданных величин. В процессе проектирования угол наклона задается случайным образом в указанных пределах.

- Расстояние между краями пор (перепонка), которое также может иметь как фиксированное значение "Постоянный", так и изменяться по одному из законов "Линейный", "Парабола", "Сигмоида", "по Гауссу" и иметь минимальное и максимальное значения от 0,1 до 10 мм.

- Форма поры. Отверстия в фильтре могут иметь несколько форм: "Квадрат", "Треугольник", "Круг", "Эллипс", "Шестигран-

ник", "Произвольная". Для каждой формы задаются свои размеры:

- квадратная форма задается размером длины одной из сторон;
- треугольная форма задается размером длины стороны;
- круглая форма задается размером диаметра и количеством сегментов в окружности;
- эллипс задается размерами высоты и ширины, а также количеством сегментов;
- шестигранник задается размером диаметра описанной окружности.

Произвольная форма также имеет размеры высоты и ширины, но в дополнение контур описывается мышкой на поле ввода.

Для шестигранника, треугольника, квадрата, эллипса и круга значение может быть как фиксированное "Постоянный", так и изменяться по одному из законов "Линейный", "Парабола", "Сигмоида", "по Гауссу" и иметь минимальное и максимальное значения от 0,1 до 10 мм.

Для цилиндрической формы размеры отверстий и расстояний между отверстиями задаются аналогичным образом. Построение такой конструкции происходит в радиальной системе координат, где каждая точка на плоскости задается двумя координатами: углом и расстоянием.

3-й этап. Расчеты.

В данном разделе производится построение модели с учетом заданных нами параметров. При этом для оптимизации процесса построения возможно задание количества потоков расчета (ядер) на ПЭВМ.

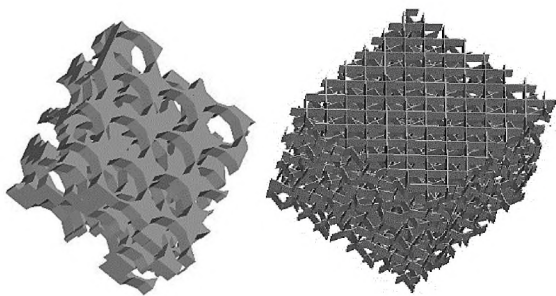


Рис. 4

Пример моделирования структуры фильтрующего волокнисто-пористого материала приведен на рис. 4 (примеры моделирования структуры фильтрующего волокнисто-пористого материала).

## ВЫВОДЫ

Разработано программное обеспечение, позволяющее строить геометрические модели различных структур фильтрующего материала с возможностью их последующего экспорта в САЕ/CAD-системы для проведения анализа на гидро- и газодинамику.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дежина И., Пономарев А. Перспективные производственные технологии: новые акценты в развитии промышленности // Форсайт. – 2014, №2.
2. Лячек Ю.Т. Геометрическое моделирование. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2016.
3. Лячек Ю.Т., Бочков А.Л., Большаков В.П. Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, Компас-3D, SolidWorks, Inventor, Creo. – СПб.: Изд-во "Питер", 2014.
4. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002.

## REFERENCES

1. Dezhina I., Ponomarev A. Perspektivnyye proizvodstvennyye tehnologii: novyye akcenty v razvitiy promyshlennosti // Forsajt. – 2014, №2.
2. Lyachek Yu.T. Geometricheskoye modelirovaniye. – SPb.: Izd-vo SPbGETU "LETI", 2016.
3. Lyachek Yu.T., Bochkov A.L., Bolshakov V.P. Tverdotelnoye modelirovaniye detalej v CAD-sistemah: AutoCAD, Kompas-3D, SolidWorks, Inventor, Creo. – SPb.: Izd-vo "Piter", 2014.
4. Golovanov N.N. Geometricheskoye modelirovaniye. – M.: Izdatelstvo Fiziko-matematicheskoy literatury, 2002.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования технологических машин. Поступила 07.11.17.