

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Овчинников Александр Александрович

**Математическое моделирование процессов разработки
3D-объектов со сложной геометрией на станках с ЧПУ струнного типа**

Направление подготовки
01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

| | |
|----------------------|---|
| Научный руководитель | кандидат физико-математических наук, доцент, Григорьева Анна Леонидовна |
| Рецензент | Старший научный сотрудник ИМиМ ДВО РАН, кандидат физико-математических наук, Севастьянов Георгий Мамиевич |

Защита состоится «22» июня 2018 года в 9 часов 50 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд 321/3.

Автореферат разослан 15 июня 2018г.

Секретарь ГЭК

А.А. Сиротин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы обусловлена потребностью в получении 3-Добъектов для различной образовательной деятельности, рекламной деятельности при использовании более дешевых материалов. Данную проблему можно решить с помощью получения сложных элементов на станке с ЧПУ. На сегодняшний день на рынке программных продуктов практически отсутствуют программы данного рода, либо их стоимость очень велика. В связи с этим актуальность данной работы неоспорима

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для вырезания объемных тел различной геометрии на станках ЧПУ струнного типа.

Для достижения указанной решаются следующие *задачи*:

- Познакомиться с основными принципами работы станков с ЧПУ;
- Исследовать основные программные комплексы, позволяющие осуществить работу с ЧПУ и получать объекты сложной геометрии;
- Разработать математическую модель, позволяющую визуализировать исследуемый 3-Добъект, определить элементы, имеющие неправильную геометрию, разбить исследуемое тело на определенное количество частей;
- Используя математическую модель, разработать программный комплекс, позволяющий пользователю визуально воспринимать исследуемый объект, по желанию выводить части объекта на экран, осуществлять контроль за "неправильными" зонами и отображать их на экране;
- Предоставить пользователю возможность в автоматическом режиме контролировать работу станка с ЧПУ для 3-Добъектов различной формы и получать сложные по геометрии тела, не разделяя все тело на сечения (как это предлагается в других программных комплексах).

Объектом исследования является 3-D объект различной геометрии (со сложными вырезами)

Предметом исследования являются математическое моделирование процессов разработки 3-D объектов на станках с ЧПУ струнного типа.

Для решения поставленных задач используются следующие методы исследования: аналитические (анализ геометрии объекта с исследованием его сечений), численные (построение ломанной кривой по полученным точкам).

Научная новизна состоит в том, что был разработан численно-аналитический метод, позволяющий исследовать объект путем разбиения его на сечения различной формы и выделение требуемых частей объекта, вызывающий трудность при построении.

Достоверность и обоснованность результатов исследования. Основные положения и выводы, полученные в диссертации, обоснованы,

аргументированы и подтверждены апробацией на станке ЧПУ. Разработанная модель в данный момент внедряется.

Достоверность основных выводов и результатов диссертации подтверждается:

1. практически (Результаты работы программы)
2. аналитически (Расчеты ожидаемой экономической эффективности модели).

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработанная программа позволяет пользователю визуально воспринимать исследуемый объект, по желанию выводить части объекта на экран, осуществлять контроль за "неправильными" зонами и отображать их на экране, а также вырезать тела на станке с ЧПУ струнного типа.

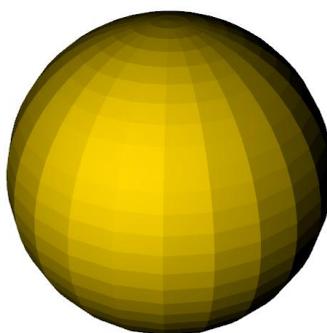


Рисунок 1 - Визуальное представление объекта

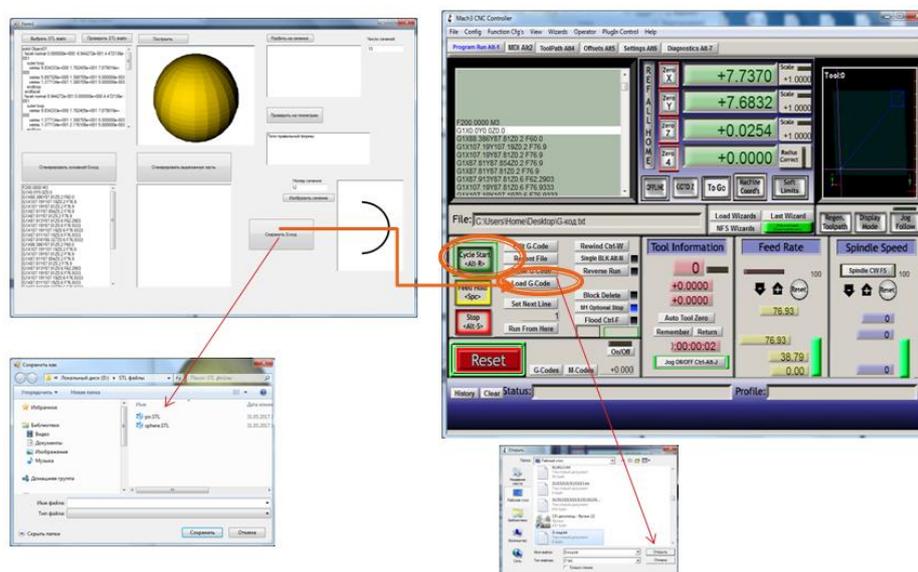


Рисунок 2 - Полный цикл работы программы



Рисунок 3—Готовый объект



Рисунок 4—Готовый объект

Апробация результатов. Результаты работы опубликованы в:

– Григорьева, А.Л. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции "Градиент науки" / А.Л. Григорьева, А.А. Овчинников: Градиентнауки, 2018.

– Григорьева, А.Л. Численно-аналитический метод построения сечения с помощью станка с ЧПУ / А.Л. Григорьева, А.А. Овчинников: Постулат, 2018.

– Овчинников, А.А. Математическое моделирование процессов разработки 3-D объектов на станках с ЧПУ струнного типа / А.Л. Григорьева, А.А. Овчинников: Постулат, 2018.

– "

Публикации. По результатам выполненных в диссертации исследований автором опубликовано 3 работы.

Структура и объем. Магистерская диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем работы – 73 страницы, в том числе 17 рисунков, 1 таблица и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение раскрывает актуальность темы, определяются цели и задачи исследования, объект, предмет, указывается научная новизна.

В первой главе рассматриваются основные математические модели построения различных 3-D объектов.

Существуют различные методы, используемые для построения объемных тел. Данные методы разделяются на: (методы построения объемных тел).

Mach3 очень гибкая программа, созданная для управления такими машинами, как фрезерные станки, токарные станки, плазменные резаки и трассировщики. Она поддерживает частичное управление, имеет кнопку аварийного останова. У станка, который находится под управлением программы Mach3 имеется две или три оси, расположенные под прямым углом друг к другу (обозначаемые как X, Y, Z). Начальные положения осей фиксируются относительно заготовки. Относительность движения заключается в том, что движется инструмент (например, фреза, зажатая в шпинделе, перемещается по оси Z или токарный инструмент, закрепленный в зажиме, совершает движение в направлении осей X и Z) или перемещается стол и закрепленная на нем заготовка. Выключатели, сообщающие, когда инструмент находится в положении «База». Управляемый «Шпиндель». Шпиндель может вращать инструмент (фрезу) или заготовку (точение). До трех дополнительных осей. Они могут быть определены как ротационные (т.е. их движение измеряется в градусах) или линейные. Каждая из дополнительных линейных осей может быть подчинена оси X, Y, или Z. Они перемещаются вместе, управляемые управляющей программой или ручными переездами, но обращение к ним осуществляется по отдельности. В

программе имеется возможность открывать текстовый файл с G-кодом или писать его вручную, пользуясь ручным вводом данных.

Понятие "трехмерная графика" подразумевает не способы построения собственно трехмерных объектов, а их изображения на плоскости. Истинно трехмерные способы отображения объектов пока что недостаточно широко распространены. Зачастую используется параметрическая форма описания поверхности. Преимущественно параметрической формы заключается в легкости описания поверхностей, которые отвечают неоднозначным функциям, и замкнутых поверхностей. Параметрическое описание можно задать таким образом, что формула не будет изменяться (усложняться) при поворотах поверхности, и ее масштабировании. Для описания сложных поверхностей часто используют сплайны. Сплайн - это специальная функция для аппроксимации отдельных фрагментов поверхности. Несколько сплайнов образуют модель сложной поверхности. Иными словами, сплайн - это тоже поверхность, но такая, для которой можно достаточно просто вычислять координаты ее точек. В трехмерной графике обычно используют кубические сплайны по двум основным причинам: третья степень - наименьшая из степеней, позволяющих описывать любую форму, При стыковке сплайнов можно обеспечить непрерывную первую производную - такая поверхность будет без изломов в местах стыка. Сплайны, как правило, задают параметрически. Аналитическая модель наиболее пригодна для многих операций анализа поверхностей. Достоинства моделей: легкость расчета координат каждой точки поверхности, нормали; небольшой объем данных для описания достаточно сложных форм. А к недостаткам: сложность формул описания с использованием функций, которые медленно вычисляются на компьютере, снижают скорость выполнения операций отображения; невозможность в большинстве случаев применить данную форму описания непосредственно для изображения поверхности - поверхность отображается как многогранник, координаты вершин и граней которого рассчитываются в процессе отображения, что уменьшает скорость сравнительно с полигональной моделью описания.

Во *второй главе* рассматривается структура STL-файла и G-код.

STL (STereoLithography - стереолитографии) является форматом файла родной для стереолитографии программного обеспечения CAD, созданным в 3-Dсистемах. Этот формат поддерживается многими другими пакетами программного обеспечения; он широко используется для быстрого прототипирования, 3-Dпечати и автоматизированного производства. STL файлы описывают только геометрию поверхности трехмерного объекта без какого-либо представления цвета, текстуры или других атрибутов общей CADмодели.

Файл STL описывает неструктурированную триангулированную необработанную поверхности с помощью единичной нормали и вершин (упорядоченные по правилу правой руки) треугольников, используя трехмерную декартовую систему координат. Координаты в STL-

файлы должны быть положительными числами, нет никакой информации о масштабе и единицах измерения, они являются произвольными.

К достоинствам можно отнести тот факт, что структура STL файла очень проста, поскольку он содержит только список треугольников. Трёхмерную модель можно преобразовать в формат STL с помощью стандартных алгоритмов плоской триангуляции. Точностью выходных данных можно легко управлять и возникающие вырождения минимальны. Любая форма трёхмерной геометрии может быть преобразована в триангулированную ввиду широкой применимости имеющихся алгоритмов поверхностной триангуляции.

Если рабочее пространство печати 3D принтера мало по сравнению с размером модели, файл модели необходимо разбить на несколько частей, которые смогут уместиться в этом пространстве. С STL файлом эту операцию выполнить легко. Однако разбитые файлы должны проверяться на корректность индивидуально.

Из недостатков можно выделить то, что хранящиеся в файле данные о нормалях ячеек являются избыточными, поскольку эти данные можно получить из списка вершин ячеек путём их обхода в определенном порядке, кроме того, координаты одних и тех же вершин фигурируют в файле неоднократно, поскольку каждая вершина принадлежит более чем одной ячейке. С другой стороны, исходная трёхмерная модель несет в себе полезную информацию о геометрии, топологии и материале объекта. Эту информацию можно было бы использовать для дальнейших расчетов – определения направления наращивания, создания поддерживающих структур, проверки объема преобразованной модели.

Еще одна проблема формата STL заключается в его относительно неудачном способе представления кривых поверхностей, которые можно аппроксимировать лишь треугольными ячейками. Ошибки округления в STL, возникающие при арифметических операциях с плавающей точкой, порой оказываются значительными из-за отсутствия топологической информации о модели.

G-код - это общее название для языка программирования, наиболее широко используемым в станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Он используется в основном в автоматизированном производстве для управления автоматизированными станками.

G-код является языком, на котором люди "говорят" компьютеризированным станкам как сделать что-то. "Как" определяется инструкцией о том, куда двигаться, как быстро двигаться, и какой путь проделывать. Наиболее распространенный является ситуация, когда в станке режущий инструмент перемещается в соответствии с этими инструкциями через заготовку по определенной траектории и срезает материал, получая нужный объект. Та же концепция распространяется и на

инструменты, не являющиеся режущими, такие как формирующие или полирующие инструменты, фотоплоттерах, аддитивные методы, такие как 3-Дпечати и измерительные приборы.

Во *третьей главе* ставится решаемая задача о получении объемных тел сложной и простой геометрии на станках с ЧПУ струнного типа. Рассматриваются программы различных производителей. Идет сравнение этих программ, их положительные и отрицательные стороны.

В настоящее время существует потребность в получении 3-D объектов для различной образовательной деятельности, рекламной деятельности при использовании более дешевых материалов. Данную проблему можно решить с помощью получения сложных элементов на станке с ЧПУ. В отличие от тел правильной геометрии с внутренними вырезами требуют более детального подхода к изучению геометрии тела. В связи с чем требовалось разработать численный метод, который позволит получать данные объекты.

Blender - это свободный пакет для создания трёхмерной компьютерной графики, включающий в себя средства моделирования, анимации, рендеринга, постобработки видео. Основные функции BlenderCAM: стратегии фрезеровки 2D и 3D, типы фрез: шар, торцевая, конус с любыми углами, работает с 3-D объектами или изображениями с глубиной, поддерживает множество слоев и этапов работы, различные параметры обработки области вокруг модели, защита от ухода от вертикали, поддержка калькуляции в фоновом режиме, экспортирует G-код с помощью библиотеки HeekCNC для любой машины.

SolidEdge обеспечивает создание точных и безошибочных проектных решений за счет непровзойденных базовых функций моделирования и управления процессом работы конструктора, уникальной ориентированности на нужды различных отраслей промышленности и полностью интегрированной среды управления проектированием. Средства моделирования SolidEdge позволяют создавать самые различные проекты - от отдельных деталей до сборок, состоящих из тысячи компонентов. Специальные команды и организация процесса работы ускоряют проектирование элементов конструкции, специфичных для той или иной отрасли, при этом цифровая модель сборки, которую можно анализировать и редактировать, гарантирует корректное сопряжение и функционирование входящих в нее деталей.

В *четвертой главе* рассматривается математическая модель процесса получения объемного тела со сложной геометрией.

Представлено алгоритмическое описание исследуемого объекта (словесное описание алгоритма).

Строится блок-схема поставленной задачи.

Описывается численно-аналитический метод построения 3-Добъекта для решения поставленной задачи.

Алгоритм решения задачи имеет вид:

1) Пользователь получает на вход STL-файл

- 2) С помощью разработанного программного комплекса на языке программирования С#: он имеет возможность проверить данный файл на наличие ошибок различного типа (расположение нормалей, параллельность плоскостей).
- 3) Пользователь имеет возможность визуально увидеть исследуемый объект (при выводе на форму).
- 4) Проверенный файл без наличия ошибок поступает на дальнейшую обработку, где методом сечений, определенными секущими плоскостями, идет выделение точек описывающих ломанную кривую каждого сечения.
- 5) Для полученных сечений пользователь имеет возможность визуально контролировать вид кривой (с помощью соответствующего инструмента в программном комплексе)
- 6) Каждое сечение проходит проверку на наличие вырезов различной формы
- 7) Если данный объект содержит элементы сложной геометрии, то программный комплекс показывает пользователю проблемные зоны, что позволяет оценить оптимальное разбиение объекта на части для получения всего тела без нарушения геометрии.
- 8) Полученное множество точек описывающих все сечения тела разбивается на определенные множества точек, которые будут соответствовать количеству зон с “проблемной” геометрией.
- 9) Далее программа осуществляет перевод каждого множества в G-код, который поступает в систему управления станком Mach3 (в виде наборов файлов в зависимости от количества зон, выделенных программой).
- 10) Полученные в результате выполнения алгоритма части объекта склеиваются пользователем.

В Заключение главы представлено описание работы программного продукта (руководство по эксплуатации).

В *пятой главе* представлена математическая модель получения 3-D объектов различной геометрии, которая была получена путем исследования движения закрепленной струны по определенной траектории. Данная траектория определяется с помощью численного метода, основанного на задаче оптимизации временных и материальных затрат. Численный метод, разработанный магистром, использует множество сечений, ориентированных вдоль вертикальной оси, перпендикулярной вращающейся платформе. Если тело имеет сложные вырезы, то путем исследований и экспериментов было получено наиболее оптимальное решение, в котором предполагается разделять объект на минимальное количество частей, используя в качестве критерия матрицу расстояний. Данная матрица формируется для всех сечений, образованных секущей плоскостью и оболочкой, описывающей поверхность исследуемого тела. Если в теле определяются критические зоны (зоны с глубокими вырезами), то по данной математической модели предлагаются зоны выделять в отдельные объекты. При этом не разбивая саму зоны на сечения. Таким образом достигается наиболее оптимальное распределение временных и материальных ресурсов. После оптимального раскроя объекта путем генерации G-кода с использованием программы

МАСН 3 объект обрабатывается и поступает в виде множества точек на станок с ЧПУ. После получения элементов объекта происходит его склейка.

В *шестой главе* демонстрируются полученные результаты (вырезанные 3-Добъекты)

В *заключении* подводятся итоги работы, формируются окончательные выводы по рассматриваемой теме.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1 Самарский, А.А. Численные методы: учеб. для вузов / А.А. Самарский, А.В. Гулин. - М.:– 381 с.

2 Шилдт, Г. С# 4.0 Полное руководство / Г. Шилдт - М.:– 234 с.

3 Умнов, А. Е. Аналитическая геометрия и линейная алгебра/ А. Е. Умнов. – Могилёв : МГУ имени А. А. Кулешова, 1999. – 244 с.

4 Уотсон, К. Visual C# Базовый курс / К. Уотсон, К. Нейгел – М. : ВЛАДОС, 1998. – 312 с.

5 Тартышников, Е.Е. Матричный анализ и линейная алгебра: учебник для вузов / Е.Е. Тартышников – М.: Энергия, 2007. – 392 с

6 Порев, В.В. Компьютерная графика: учебное пособие / В.В. Порев. – М.: Энергия, 2004. – 432 с.

7 Калинин, Н.Н. Численные методы: учебник для вузов / Н.Н. Калинин – М: Эскмо – 494 с.

8 Костюкова, Н. И. Введение в компьютерную графику: методические рекомендации / Н.И. Костюкова – М: Сибирское университетское издательство, 2003. – 89 с.