Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Механико-математический факультет
Кафедра геометрии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
_____П.А. Крылов
«06» июня 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ВЫКРАИВАНИЕ СЕТЕПОЛОТНА ДЛЯ ОФСЕТНОГО РЕФЛЕКТОРА. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА

по основной образовательной программе подготовки магистра
направление подготовки 01.04.01 – Фундаментальная математика

Черненко Роман Витальевич

Руководитель ВКР
канд. физ.-мат. наук, доцент
_____М.С. Бухтяк
подпись
«31» мая 2019 г.

Автор работы
студент группы № 04701(М)
_____ Р.В. Черненко
подпись

Томск–2019

Аннотация

Рассмотрен вопрос о выкраивании сетеполотна для офсетной рефлекторной антенны. Подробно обрисованы причины, заставляющие считать данную тему актуальной. Описан алгоритм раскроя, основанный на применении так называемых SG-линий. Указанные линии охарактеризованы геометрически, описаны схемы построения SG-линий. Общий алгоритм раскроя доведен до исполняемого модуля (язык программирования - Python). Приведен пример применения алгоритма.

Оглавление

Введение 3
1. Геометрическая конструкция 6
2. Схема раскроя 9
3. Конкретизация задачи 11
4. Реализация 14
4.1 Откладывание длины на линии 14
4.2 Вычисление SG-линий 15
4.3 Отображение границ криволинейного четырехугольника на плоскость 15
4.4 Вычисление площади построенной выкройки и внешнего периметра сборки 15
4.5 Создание программного обеспечения 16
4.5.1 Требования, предъявляемые к программному обеспечению 16
4.5.2 Выбор языка 16
4.5.3 Архитектура 18
5. Пример работы программы 23
Заключение 27
Литература 28
Приложение 32
Приложение А. 32
Приложение В. 32
Приложение С. 33

Введение

Актуальность.

Во времена «раннего космического периода» использовались антенны зонтичного типа, названные так по принципу раскрытия. В ступице закреплялись стержни легкого и прочного силового каркаса, к которому крепились тыльная и фронтальная сети из углепластиковых нитей. Между этими сетями зажат лист трикотажной ткани, как правило, сотканной из молибденовых или вольфрамовых нитей. Эта ткань называется сетеполотном и является отражающей поверхностью. Принципиальная схема рефлектора показана на рис.1.

В идеале форма данной поверхности – форма куска параболоида вращения. Отметим, что параболоид как математический объект имеет бесконечную протяженность, такой параболоид назовём родительским.

Однако, такие антенны имеют значительный недостаток при большом диаметре. Спутник, на котором установленная такая антенна, имеет две длинные штанги: одна фиксирует положение ступицы, а на конце другой расположено принимающее или передающее устройство, которое, в силу своих размеров, блокирует часть сигнала. К тому же, при переходе от затененного участка орбиты к освещенному, длинные штанги заметно реагируют на перепады температур. Данные недостатки существенно ослаблены для офсетного рефлектора, который представляет из себя вырезку из родительского параболоида. В случае с таким отражателем всю конструкцию удается разместить более компактно, что дает очевидное преимущество перед антеннами зонтичного типа. Это преимущество становится более ощутимым при увеличении размеров рефлекторов. Представление о форме описанных рефлекторов дает рис.2.

Таким образом, использование офсетного рефлектора вполне обосновано и представляется как вполне прогрессивный вариант формы отражающей конструкции. В соответствии с этим, появляется необходимость разработки алгоритма раскроя сетеполотна для такого рефлектора.

Отметим, что процедура выкраивания для осесимметричного рефлектора и офсетного естественным образом отличаются. Во-первых, сказывается отсутствие круговой симметрии, а во-вторых (что тоже важно) - офсетные рефлекторы, как правило, имеют большие размеры (одна из причин их распространения уже отмечалась - более удобное размещение на спутнике).

Цели работы.

Опираясь на вышесказанное, целью работы является построение алгоритма выкраивания элементов сетеполотна, формирующих поверхность офсетного рефлектора, и его программная реализация.

Задачи исследования.

Для реализации вышеуказанной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) определить принцип выкраивания сетеполотна и построить алгоритм;
2) разработать архитектуру программы;
3) исходя из потребностей, выбрать наиболее подходящий язык программирования;
4) создать программное обеспечение, организующее устойчивую работу описанного алгоритма;
5) обеспечить программное обеспечение удобным и понятным интерфейсом.

Оценивание результата.

Оценкой качества алгоритма является мера близости суммарной площади выкройки и длина внешнего периметра к соответствующим характеристикам рефлектора. К сожалению, сравнение с другими схожими по функциональным возможностям алгоритмами не представляется возможным, в силу того, что алгоритмы для решения задач подобного масштаба, как правило, являются коммерческой тайной и не находятся в открытом доступе.

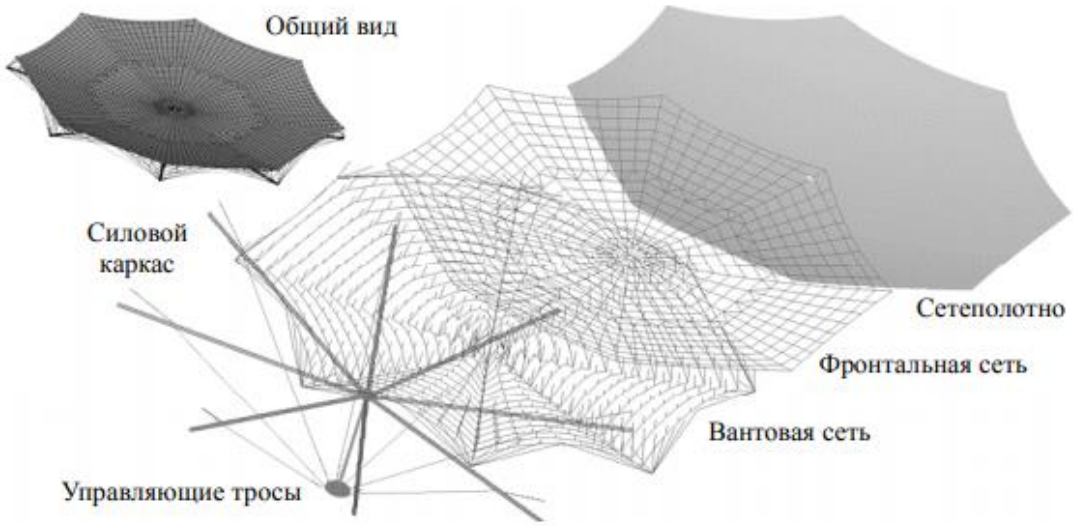


Рис.1. Принципиальная схема рефлектора.

Рис.2. Офсетная спутниковая антенна (слева)
и прямофокусная (осесимметричная) спутниковая антенна (справа).

1. Геометрическая конструкция

Заметим, что в данном контексте параболоид – математический объект, и, следовательно, бесконечен. В технических приложениях используют вырезку из этого параболоида (инженеры эту вырезку называют «параболоид», а исходный – бесконечный – «родительский параболоид»).

Офсетный параболоид есть вырезка из родительского параболоида круглым цилиндром, ось которого параллельна оси параболоида, но не совпадает с ней. Плоскость, проведенную через эти оси, будем называть «осевой». Представление об этой геометрической конструкции дает следующий рисунок.

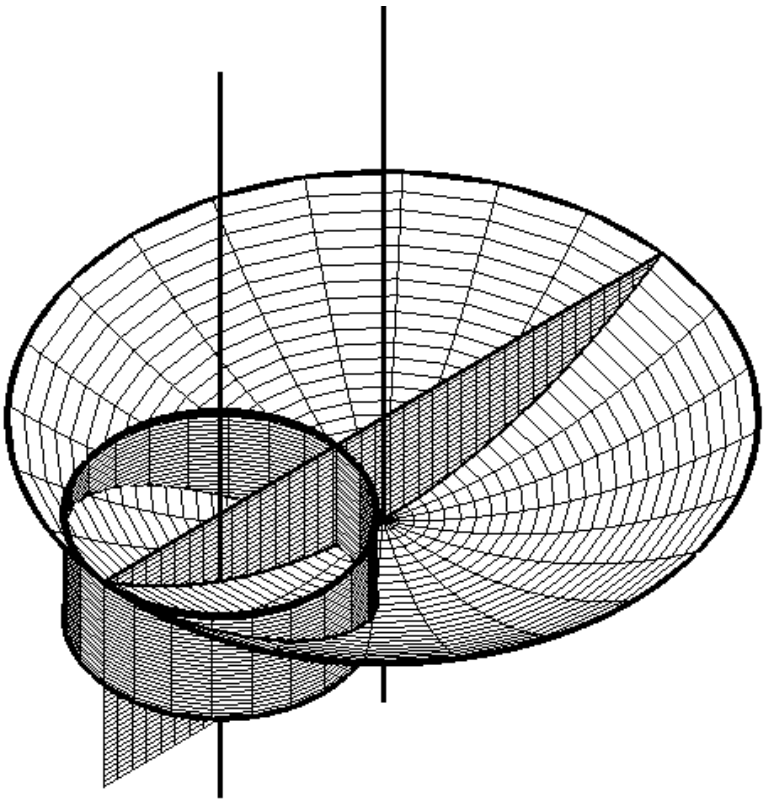


Рис. 3. Параболоид (часть) и вырезающий цилиндр (часть). Плоскость, проведенная через оси (осевая плоскость).

Существует и другая схема (рис. 4)

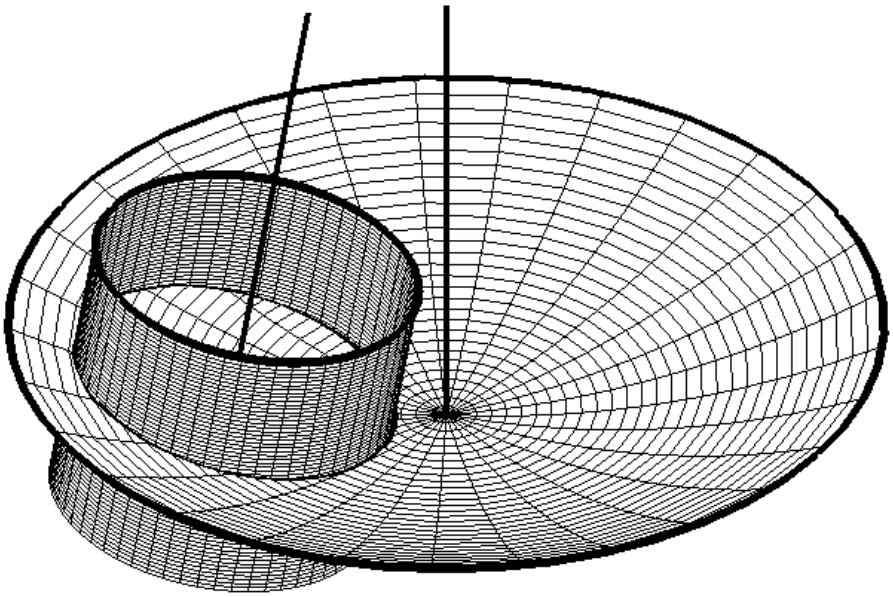


Рис 4. Офсетный рефлектор, вырезанный наклонным цилиндром.

Однако, мы остановимся на первой схеме. Опишем параболу уравнением

$$z = \frac{x^2}{4F} \tag{1}$$

Здесь F – фокусное расстояние (фокальный параметр). Поверхность вращения линии (1) вокруг оси Oz (ось симметрии) есть параболоид вращения Q, уравнение которого

$$z = \frac{x^2 + y^2}{4F}. \tag{2}$$

Параболоид задается вектор-функцией

$$\mathbf{w} = \left[u\cos(v), u\sin(v), \frac{u^2}{4F} \right]. \tag{3}$$

В осевой плоскости отметим характерную точку: x_0 - абсцисса точки пересечения оси цилиндра с осью абсцисс. P – вершина офсетного параболоида. Смысл остальных точек ясен с учетом того, что R – ***радиус вырезающего цилиндра***, а ось Oz – ось родительского параболоида. Расстояние от оси параболоида до ближайшей точки офсетного рефлектора называется ***клиренсом.***

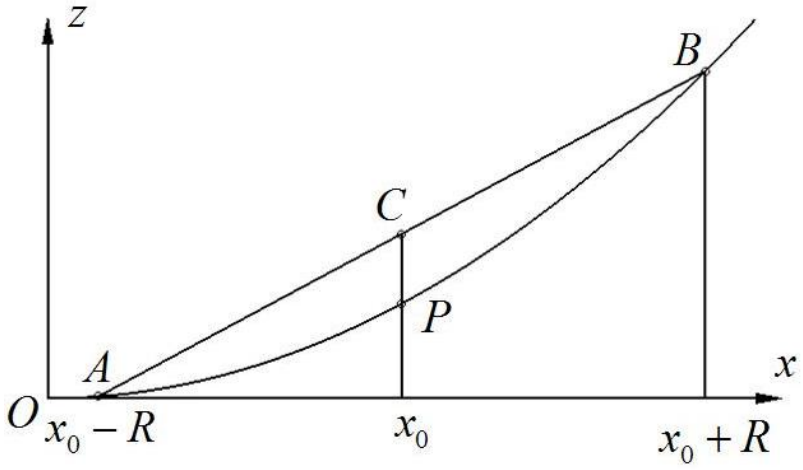


Рис. 5. Сечение родительского параболоида и цилиндра осевой плоскостью.

Рис.3 показывает, как офсетный параболоид вырезается из родительского параболоида круглым цилиндром. Тот же самый офсетный параболоид получается отсечением плоскостью. След этой плоскости на координатной плоскости *xOz* (прямая *AB* на рис. 5) образует граничный эллипс.

2. Схема раскроя

Сетеполотно раскраивается отдельными полосами переменной ширины (в среднем, около 2 м). Такая полоса, называемая *полулепестком*, представляет из себя криволинейный четырехугольник ($A_1A_6B_6B_1$), в котором на длинных сторонах через равные расстояния, отмеренные на кривых, отмечены точки A_i и B_i, которые образуют отрезки (разной притом длины). Покажем схему такой полосы на рис. 6.

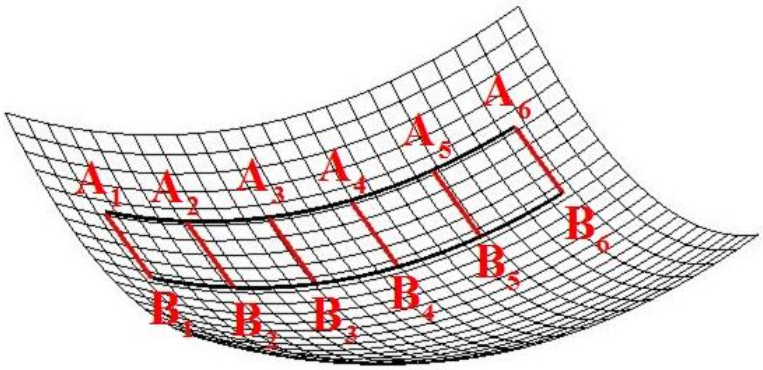


Рис. 6. Схематическое изображение полосы сетеполотна на рефлекторе.

На рис. 7 изображена схема раскроя офсетного рефлектора. Здесь синими и зелеными точками обозначены концевые точки на граничном эллипсе, красными – концевые точки на «поперечной» параболе (на рисунке – осевая линия). В силу того, что заранее неизвестна длина полос сетеполотна, раскрой удобен именно полулепестками. Поперечная парабола делит половину параболоида на две области. Полулепестки, покрывающие дальнюю от вершины параболоида область, условно назовём «*дальними*» или «правыми», соответственно, противоположные лепестки «*ближними*» или «левыми».

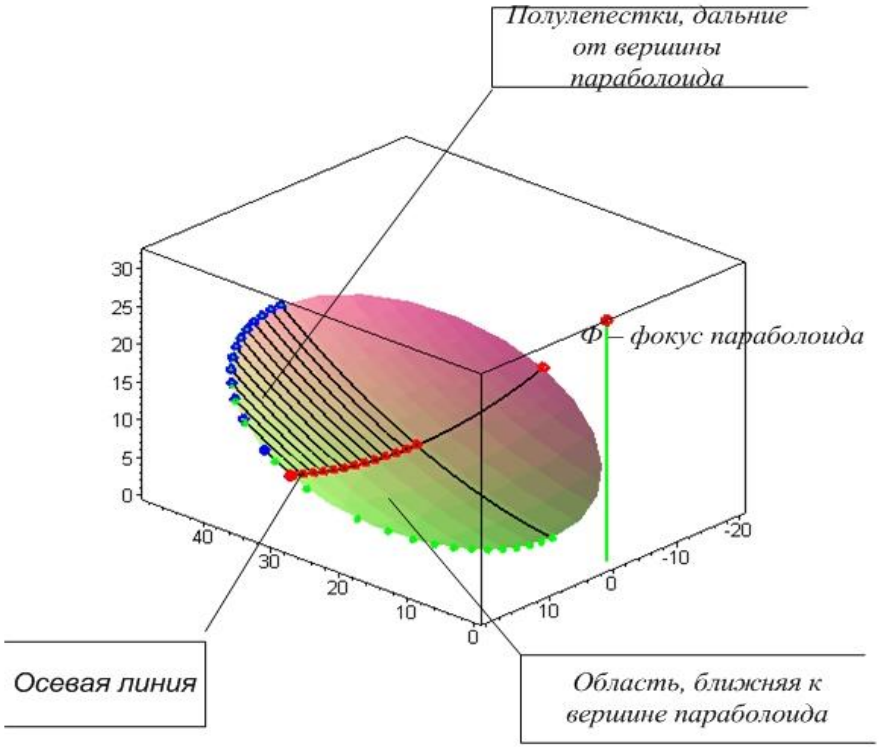


Рис. 7. Схема раскроя офсетного рефлектора.

Отметим, что в силу симметрии относительно осевой плоскости, принцип раскроя мы будем рассматривать лишь для одной половины параболоида.

Схема описания лепестка приведена на рис. 8.

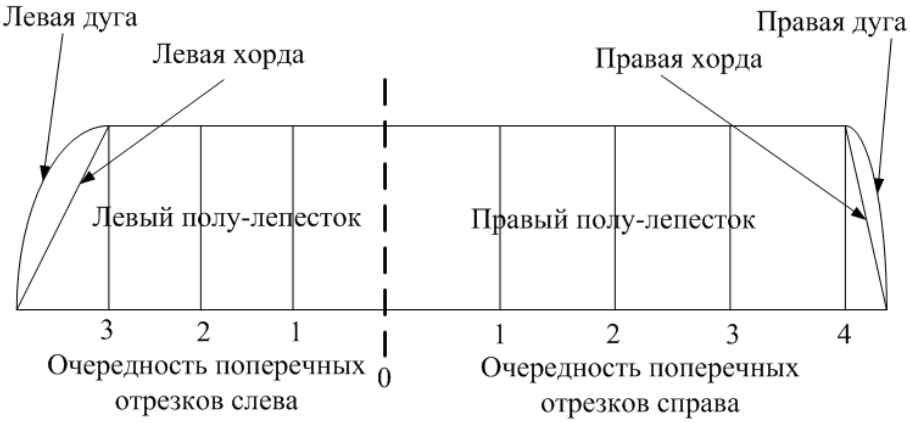


Рис. 8. Отображение криволинейного лепестка
и его элементов на плоскость.

3. Конкретизация задачи

Задача проектирования и конструирования рефлекторных антенн часто требует нанесения на поверхность родительского параболоида пригодных для раскроя линий. Таким образом, данная задача сводится к задаче поиска класса линий, наделенных некоторыми условиями:

1. Локально должны быть близки к геодезическим в некотором разумном смысле.

2. Их можно относить к натуральному параметру (длине дуги) без заметных вычислительных проблем.

3. Они должны однозначно определяться своими концевыми точками, указанными на параболоиде.

SG-линии, описанные в [1] удовлетворяют данным условиям и, в целом, являются подходящим вариантом для решения поставленной задачи.

Для построения таких линий будем использовать демиквадрику по пространственному четырехугольнику ($A_1A_2B_2B_1$). Искомой SG-линией будет являться пересечение данной квадрики и параболоида. Точки A_1, A_2 - те точки параболоида, которые необходимо соединить SG-линией. Прямые (A_1, B_1), (A_2, B_2) направлены по нормалям параболоида в точках A_1, A_2.

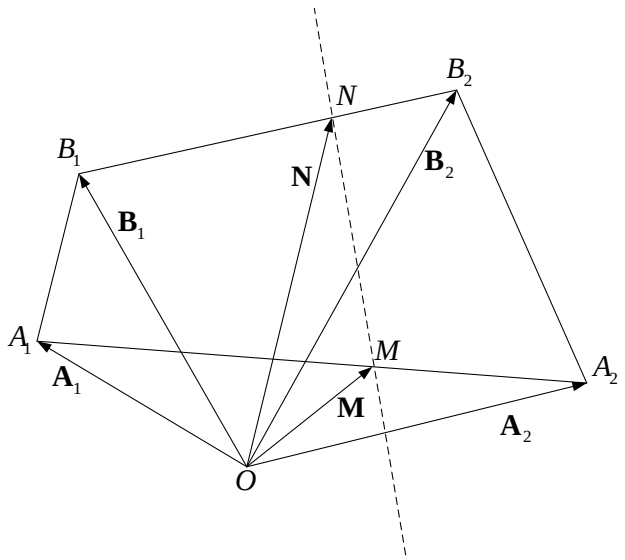


Рис. 9. Схема построения демиквадрики по пространственному четырехугольнику ($A_1A_2B_2B_1$).

Один из безусловно естественных способов определения положения точек B_1, B_2 сводится к помещению их в плоскость $z = 0$. Тогда схема построения SG-линии передается рис. 10. Точки A_1, A_2 лежат на параболоиде. Точки B_1, B_2 суть точки пересечения нормалей параболоида в точках A_1, A_2 с плоскостью $z = 0$. Поверхность ($A_1A_2B_2B_1$) - кусок демиквадрики $D(A_1A_2B_2B_1)$, а линия L (линия пересечения демиквадрики с параболоидом) есть SG-линия.

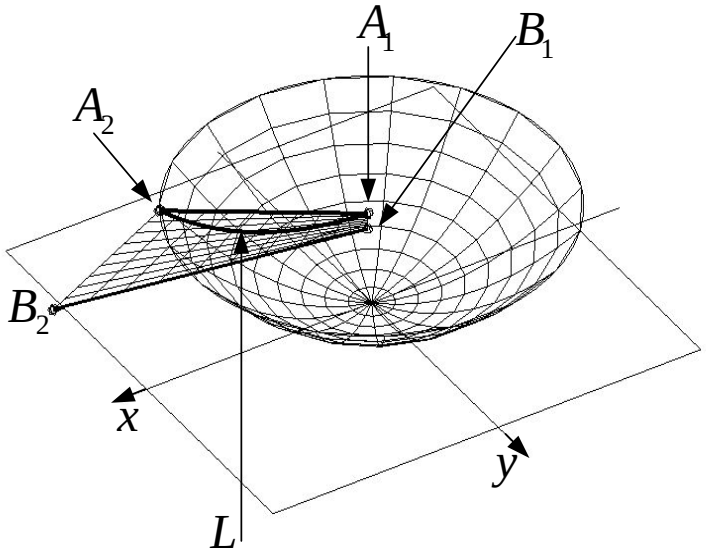


Рис. 10. SG-линия – один из вариантов (отрезок $[B_1B_2]$ в плоскости xOy).

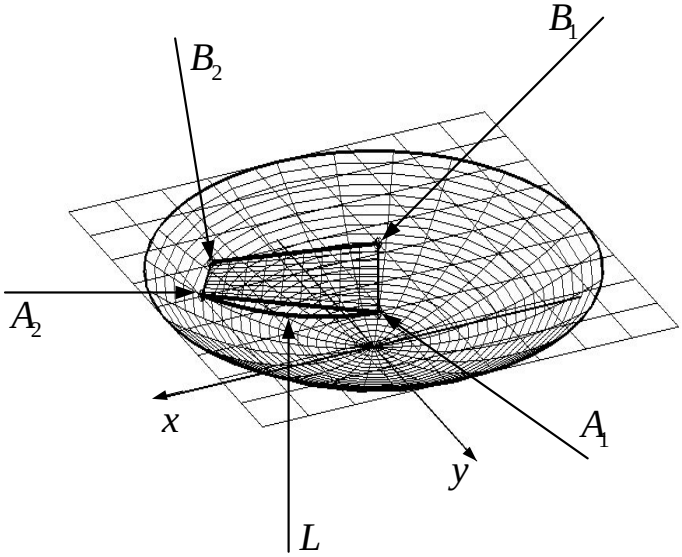


Рис. 11. SG-линия – иной вариант (отрезок $[B_1B_2]$ в плоскости $z = \frac{F}{4}$).

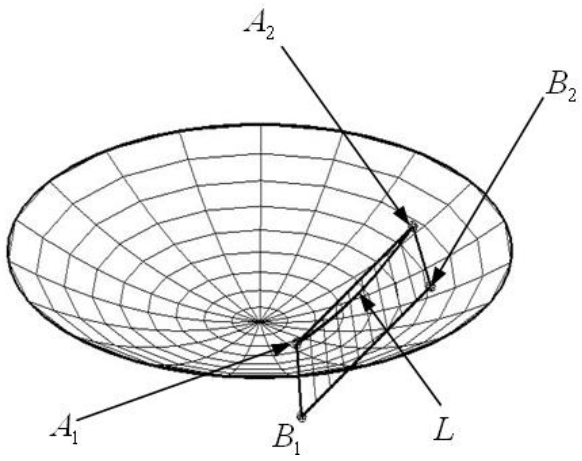


Рис. 12. SG-линия. Отрезки [A_1B_1], [A_2B_2] одинаковой длины отложены на нормалях параболоида
в соответствующих точках A_1, A_2.

4. Реализация

Реализация поставленных целей основана на следующих действиях.

1. Откладывание требуемой длины (например, величина, кратная ширине сетеполотна) на линии, участвующей в раскрое (граничная линия лепестка сетеполотна).

2. Построение SG-линий, соединяющих заданные точки на поверхности.

3. Отображение границ криволинейного четырехугольника на плоскость.

4. Вычисление площади построенной выкройки и внешнего периметра сборки.

5. Создание ПО.

4.1 Откладывание длины на линии

Пусть гладкая линия задается вектор-функцией

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}(t) \in C^1, t \in [0,T]. \tag{1}$$

Длина дуги выражается известной формулой

$$s = \int_0^t \left| \frac{d\mathbf{R}}{dt} \right| dt. \tag{2}$$

Для отнесения линии к натуральному параметру s надлежит разрешить уравнение (2) относительно параметра t. Это делается с помощью отрезка степенного ряда в виде

$$t = f(s) = s + \sum_{i=1}^{n} a_i s^i, \tag{3}$$

причем n определяется из требований точности модели (здесь $n = 6$). Внеся (3) в (1), получаем нашу линию, отнесенную к натуральному параметру:

$$\mathbf{R}(s) = \mathbf{R}\big(f(s)\big). \tag{4}$$

Таким образом мы получаем возможность откладывать на линии наперед заданную длину.

4.2 Вычисление SG-линий

Алгоритмы, позволяющие строить упомянутые линии, описаны в [16]. Приведены три алгоритма, из которых нами отмечен один, на наш взгляд наиболее приемлемый (это обосновано серией вычислительных экспериментов, в ходе которых обнаруживалось, что линия, построенная с его помощью, имеет - как правило - меньшую длину, то есть ближе к истинной геодезической).

4.3 Отображение границ криволинейного четырехугольника на плоскость

Схема отображения передается рисунками 6 и 8. Само отображение основано на гипотезе сохранения длины SG-линии при отображении её на плоскость. Пространственный криволинейный четырехугольник, выделенный на параболоиде, отобразится на криволинейный же плоский четырехугольник с теми же длинами сторон. Контроль переменной ширины такого четырехугольника (для раскроечного автомата) осуществляется измерением длин криволинейных же поперечных отрезков (они видны на этих рисунках). С этой точки зрения рис. 6 неточен, ибо его длинные стороны изображены прямыми.

4.4 Вычисление площади построенной выкройки и внешнего периметра сборки

Указанные параметры вычисляются с применением аппроксимации полулепестка криволинейной трапецией, причем короткая сторона (примыкающая к другому полулепестку) - прямолинейная, а прочие аппроксимируются дугами окружностей.

4.5 Создание программного обеспечения

4.5.1 Требования, предъявляемые к программному обеспечению

Программа должна обеспечивать устойчивую работу алгоритма и разумное время его выполнения. Также необходимо создать интерфейс со следующими возможностями:

1. Ввод начальных данных, а именно: фокусное расстояние, клиренс и радиус вырезающего цилиндра.
2. Запуск алгоритма раскроя для введенных начальных данных.
3. Схематичное изображение получившегося результата.
4. Открытие файла с результатами работы алгоритма.

Помимо вышеперечисленного обеспечить читаемость и понятность кода, что является важным критерием «хорошей программы». Также необходимо создать такую архитектуру программного обеспечения, при которой будет возможно дополнение, оптимизация, тестирование, замена отдельных модулей.

4.5.2 Выбор языка

Язык реализации – Python. Причин выбора именно этого языка несколько:

- поддержка символьных вычислений;
- визуализация данных;
- множество библиотек для создания графического пользовательского интерфейса;
- поддержка многопоточного программирования;
- личные предпочтения автора.

Подробнее о каждой причине. Символьные вычисления зачастую являются оптимальными по функциональным признакам и зачастую существенно упрощают получение в том числе и численного результата.

Конечно, ядро Python не оптимизировано под такие вычисления, однако библиотека SymPy отлично справляется с поставленными здесь задачами за приемлемый промежуток времени и с достаточной точностью.

Для визуализации результата используется библиотека MatPlotLib. Ниже на рисунках показаны примеры использования данной библиотеки, взятые с официального сайта.

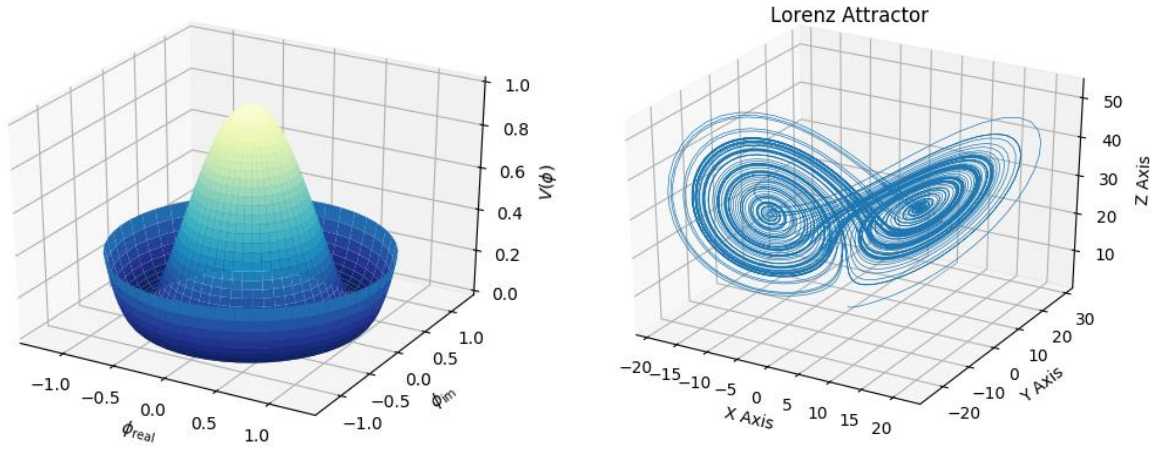


Рис. 13. Примеры использования библиотеки MatPlotLib.

Так как предполагается, что программа будет иметь вполне оправданное практическое применение, целесообразно создать графический пользовательский интерфейс. Существует несколько библиотек для реализации этой задачи. В данном проекте используется TKinter. Сам интерфейс будет приведен позже.

Многопоточное программирование позволяет ускорять и оптимизировать выполнение программы. Достаточно часто оно является необходимым элементом при значительном объеме вычислений. Для этих целей использовалась встроенная библиотека Thread.

Python широко используется среди математиков, прост и эффективен для сбора, анализа и визуализации данных, популярен в машинном обучении. Кроме этого является крайне удобным, понятным в использовании и изучении языком. Среда разработки – PyCharm.

Отметим, что большая часть вычислений, проделанных в работе, реализована в виде процедур, и передача их формулами привело бы к необозримым символьным конструкциям. По этой причине такие формулы мы и не привели в тексте, ограничившись описанием работы соответствующих процедур. Представление о характере формул дает промежуточное выражение в процедуре, вычисляющей SG-линию:

$$\left((1-t)\left(u_1\cos(v_1)+\frac{\lambda u_1\cos(v_1)}{\sqrt{u_1^2+4F^2}}\right)+t\left(u_2\cos(v_2)+\frac{\lambda u_2\cos(v_2)}{\sqrt{u_2^2+4F^2}}\right)\right)^2+$$

$$+\left((1-t)\left(u_1\sin(v_1)+\frac{\lambda u_1\sin(v_1)}{\sqrt{u_1^2+4F^2}}\right)+t\left(u_2\sin(v_2)+\frac{\lambda u_2\sin(v_2)}{\sqrt{u_2^2+4F^2}}\right)\right)^2-$$

$$-4F\left((1-t)\left(\frac{u_1^2}{4F}-2\frac{\lambda F}{\sqrt{u_1^2+4F^2}}\right)+t\left(\frac{u_2^2}{4F}-2\frac{\lambda F}{\sqrt{u_2^2+4F^2}}\right)\right).$$

4.5.3 Архитектура

Проект имеет модульную архитектуру и состоит из следующих основных модулей:

1. *Controller*
2. *Model*
3. *Interface*
4. *Calculus*

Для наглядности изобразим схему структуры проекта на рис. 13.

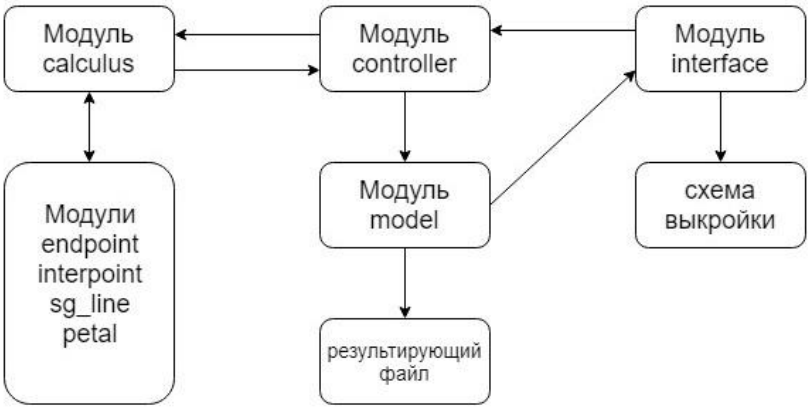


Рис.14. Архитектура проекта.

В модуле *Controller* описан класс *Controller*, который выполняет связующую между остальными модулями функцию, следит за текущим состоянием программы, хранит результаты работы алгоритма и даёт команду на запуск интерфейса и вычислений.

В модуле *Model* для удобства работы с входными и выходными данными описаны следующие классы:

1. *InitParams* – класс, описывающий начальные входные параметры, такие как фокальный параметр, клиренс и радиус вырезающего цилиндра
2. *HalfOfPetal* – класс, описывающий полулепесток по следующим параметрам:
   a) параметры поперечных линий (удаленность от центра параболоида и ширина)
   b) длина
   c) площадь
   d) хорда
   e) длина дуги
   f) уравнение дуги
   g) параметры для построения дуги
   h) уравнения параллельных осевой параболе кривых линий, ограничивающих полулепесток
   i) порядковый номер лепестка
3. *Petal* – класс, описывающий лепесток, состоит из двух объектов класса *HalfOfPetal*
4. *OutputGeneralData* – класс, описывающий общие данные для вывода результата работы программы, такие как: периметр и площадь выкройки, истинные периметр и площадь офсетного параболоида, число лепестков
5. *OutputPetalsData* – класс описывающий отдельный лепесток для вывода в текстовый файл

В модуле *Interface*, соответственно, описывается интерфейс программы. Согласно требованиям, интерфейс имеет следующие элементы:

- поля для ввода начальных параметров с кратким соответствующим пояснением;
- кнопку «Старт» для запуска алгоритма раскроя;
- кнопку «Схема», при запуске которой открывается отдельное окно с изображением схемы раскроя;
- кнопку «Результат» для автоматического открытия текстового файла с подробным описанием результата работы программы;
- строку состояния для пояснения текущего состояния программы.

Состояние интерфейса при запуске программы представлено на рис. 15:

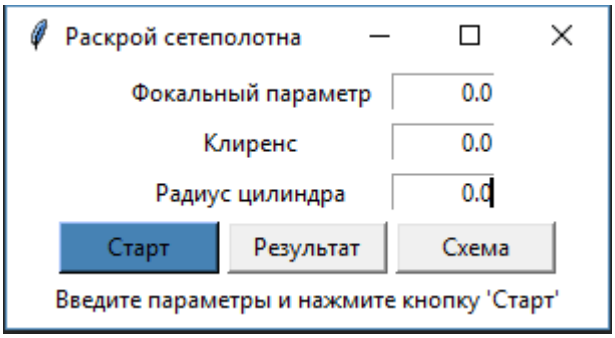


Рис.15. Начальное состояние интерфейса программы.

После ввода входных параметров и нажатия на кнопку «Старт» программа запускает расчетный алгоритм и строка состояния сообщает об этом:

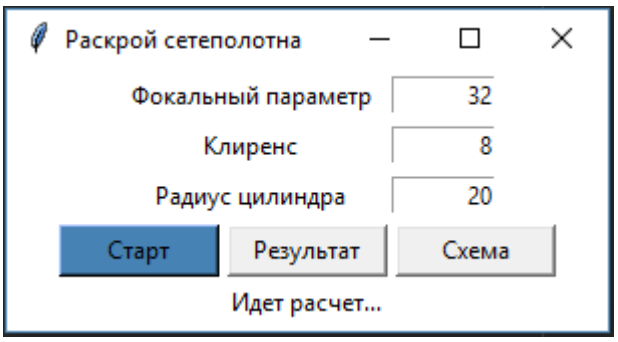


Рис.16. Интерфейс программы во время работы алгоритма для введенных начальных параметров.

По окончании расчета, строка состояния выдает соответствующее сообщение:

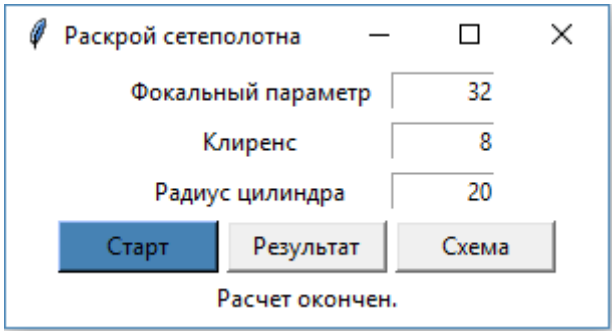


Рис.17. Интерфейс программы по окончании работы алгоритма.

Также после окончания работы расчетного алгоритма становятся доступны функции кнопок «Результат» и «Схема». При нажатии на кнопку «Результат» открывается текстовый документ с подробным описанием результатов алгоритма, а при нажатии на кнопку «Схема» изображается схема раскроя. Конкретный пример работы данных функций будет рассмотрен ниже.

Также, при некорректном вводе входных параметров, программы выдает соответствующее сообщение об ошибке как на рис. 18.

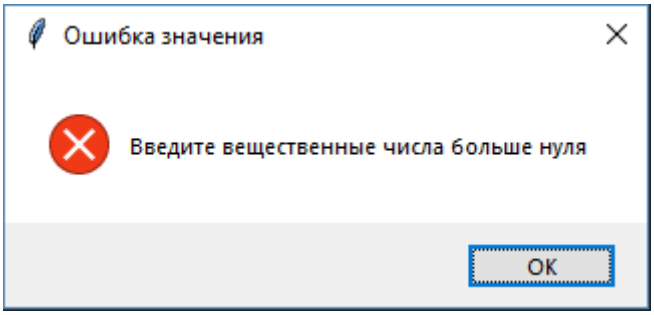


Рис.18. Сообщение о некорректном вводе начальных параметров.

Модуль *Calculus* является реализацией алгоритма раскроя, предложенного нами в нашей работе. Состоит из четырех модулей:

1. *endpoint*
2. *ellipsepoint*
3. *sg_line*
4. *petal*

Дадим краткое описание каждому из них. Модуль *endpoint* принимает на вход следующие параметры:

- Фокальный параметр *F;*
- Точку x_0 (см. рис. 5);
- Половину длины «осевой линии» (см. рис. 7);
- Ширину растянутого сетеполотна минус припуск на шов;
- Число лепестков *N*.

Осевая линия - парабола. Данный модуль отмеряет на параболе от её вершины заданную длину (кратна ширине сетеполотна с учтенным припуском на шов) и вычисляет координаты концевой точки дуги.

На выходе получаем массив координат концевых точек, расположенных на осевой линии.

Входные параметры для модуля *ellipsepoint:*

- Фокальный параметр *F;*
- Радиус вырезающего цилиндра *R*;
- Точку x_0;
- Число лепестков *N;*
- Результат работы модуля *endpoint.*

Данный модуль аналогичен предыдущему, но отмеряет длины от вершины эллипса с тем, чтобы концевая точка являлась точкой на границе лепестка сетеполотна.

На выходе получаем координаты концевых точек на граничном эллипсе.

Модуль *sg_line* на входе получает результат модулей *endpoint* и *ellipsepoint* и фокальный параметр. В итоге работы данного модуля получаем длины кривых, составляющих полулепестки.

По данным двум точкам на параболоиде вычисляется длина SG-линии и находится ее параметрическое уравнение.

Модуль *petal* принимает на вход следующие параметры:

- Число лепестков *N;*

- Ширину растянутого сетеполотна минус припуск на шов;
- Массив расстояний между соседними точками на малой оси граничного эллипса;
- Массивы длин дуг для ближних и дальних полулепестков, составляющих полулепестки.

На выходе модуля - полный набор величин, характеризующих полулепесток (длины отрезком и площади фигур) Полный перечень этих характеристик приведен на стр. 19.

5. Пример работы программы

Рассмотрим работу описанной выше программы для следующих входных параметров:

- Фокальный параметр F = 32
- Клиренс K = 8
- Радиус вырезающего цилиндра R = 20

Определим абсциссу оси вырезающего цилиндра x_0 = 28. С учетом коэффициента нагрузки равного 1.2, а также с учетом расхода на шов по 0.01 м с каждой стороны, получим ширину одной полосы сетеполотна равную 2.38. Длина «поперечной» параболы равна 20.38132.

Используя модуль *endpoint* определим концевые точки на осевой линии. Числовой результат приведен в приложении А. Также воспользовавшись модулем *ellipsepoint* определим концевые точки на граничном эллипсе. Числовой результат в приложении В. Изобразим результат нанеся полученные точки на параболоид на рис. 19, здесь красные точки – концевые точки на осевой линии, зеленые и синие, соответственно, на эллипсе.

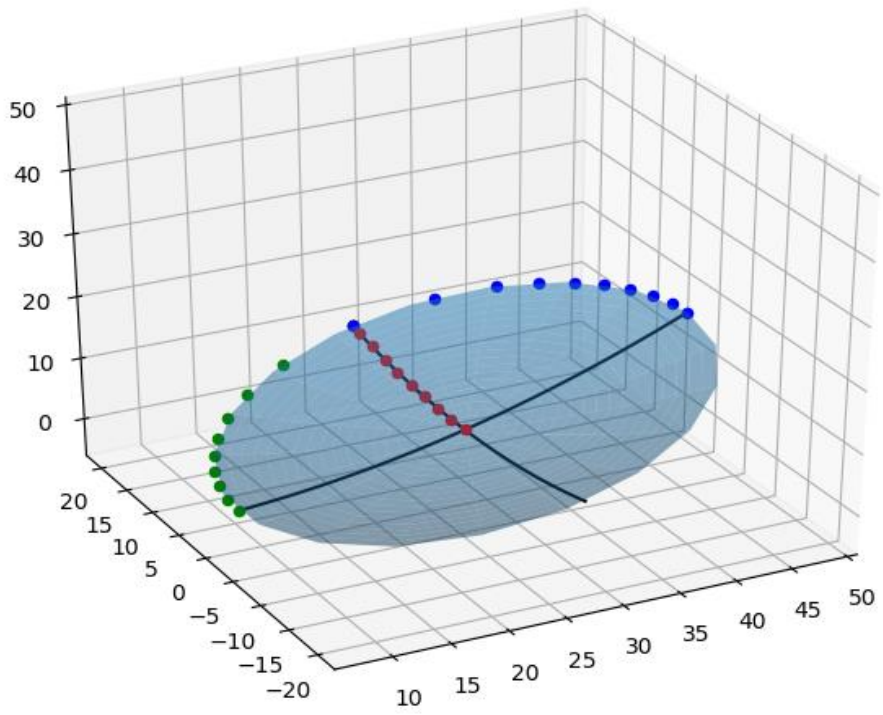


Рис.19. Изображение концевых точек.

Для того, чтобы найти уравнения дуг, ограничивающих полулепесток и длины этих дуг, воспользуемся модулем *sg_line*. Числовой результат в приложении С. По полученным уравнениям дуг построим их на рис. 20.

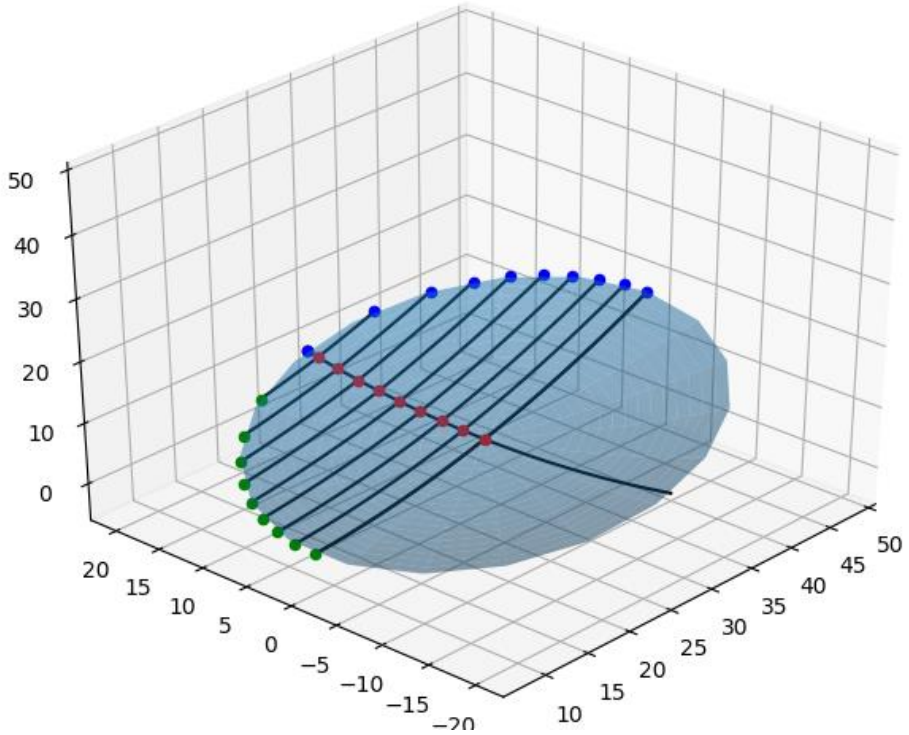


Рис.20. SG-линии, соединяющие концевые точки.

Воспользуемся модулем *petal*, где по полученным ранее данным построим полулепестки и найдем их общую площадь и периметр. Также, для оценки качества алгоритма, найдём площадь и периметр рефлектора и сравним с соответствующими параметрами выкройки.

Покажем схему раскроя при нажатии на кнопку «Схема» на интерфейсе (рис.21).

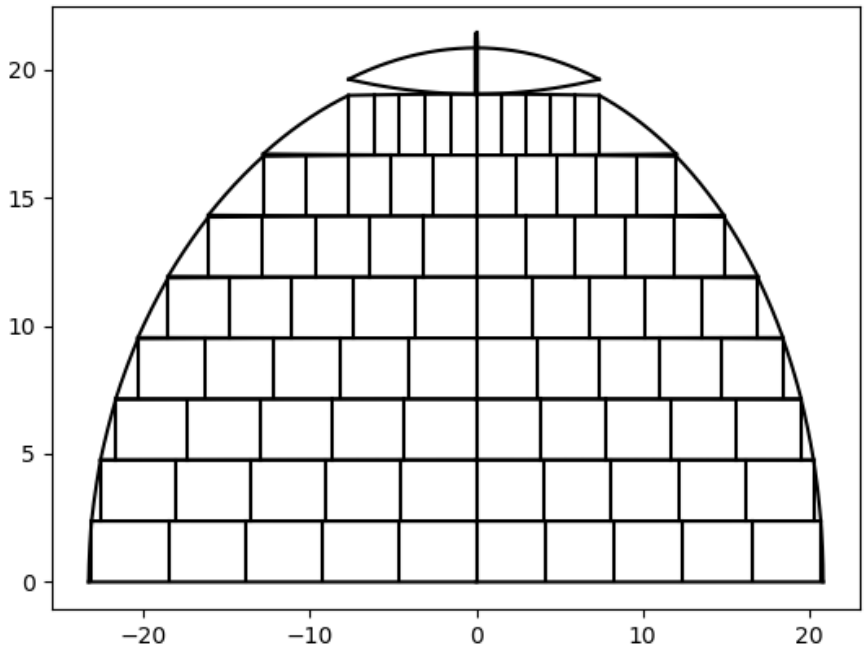
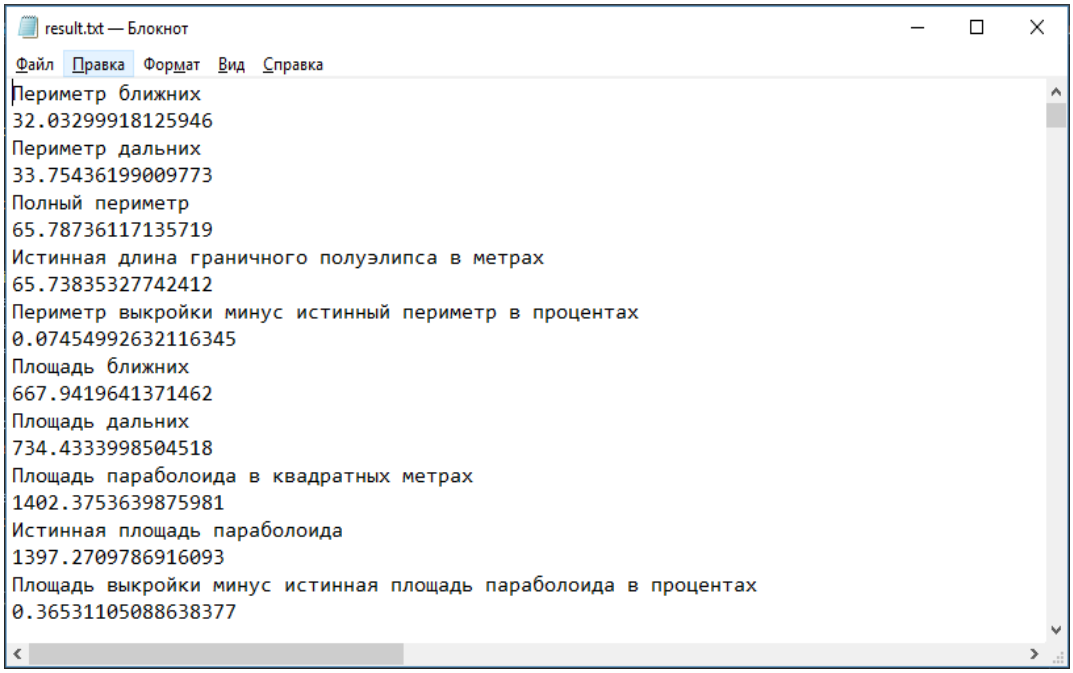


Рис.21. Схема раскроя при нажатии на кнопку «Схема».

При нажатии на кнопку «Результат» получим текстовой файл:



result.txt — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```
Периметр ближних
32.03299918125946
Периметр дальних
33.75436199009773
Полный периметр
65.78736117135719
Истинная длина граничного полуэлипса в метрах
65.73835327742412
Периметр выкройки минус истинный периметр в процентах
0.07454992632116345
Площадь ближних
667.9419641371462
Площадь дальних
734.4333998504518
Площадь параболоида в квадратных метрах
1402.3753639875981
Истинная площадь параболоида
1397.2709786916093
Площадь выкройки минус истинная площадь параболоида в процентах
0.36531105088638377
```

Рис.22. Текстовый файл при нажатии на кнопку «Результат».

На рис. 22 показаны общие сведения о выкройке, в том числе и относительная разность площадей и периметров выкройки и рефлектора. Видно, что эти величины мало отличаются, что говорит о работоспособности предложенного алгоритма.

Заключение

Выполнение поставленных задач позволило получить следующие существенные результаты:

1. Построен алгоритм раскроя сетеполотна для офсетного рефлектора, основанный на SG-линиях.
2. Создан и отлажен программный продукт, обеспечивающий устойчивую работу описанного алгоритма раскроя на языке Python.

В перспективе предполагается:

1. Улучшение вычислительных параметров ПО, оптимизация кода
2. Уточнение метода выбора точек B1, B2 для построения демиквадрики, применяемой для задания SG-линий.

Литература

1. Бухтяк М.С. Линии на параболоиде, близкие к геодезическим. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. №6(38). С. 5-17.
2. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Жуков А.П. Моделирование формы поверхности напряженных сетчатых конструкций. Международная конференция по математике и механике, 16-18 сентября 2003 г., г. Томск: избранные доклады Томск, 2003. С. 215-220.
3. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Жуков А.П., Пономарев С.В., Сидоренко Ю.Н., Солоненко В.А., Усманов Д.Б. Моделирование формы поверхности напряженных сетчатых конструкций. Естественные и гуманитарные науки в 21 веке. Материалы регион. Конф. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003.
4. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Жуков А.П., Пономарев С.В., Сидоренко Ю.Н., Солоненко В.А., Усманов Д.Б. Моделирование формы поверхности напряженных сетчатых конструкций. Международная конф. по матем. и механ. 16-18 сент. 2003 г. Избранные докл. Томск. 2003. С.215-220.
5. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Жуков А.П., Пономарев С.В., Сидоренко Ю.Н., В.А.Солоненко, Усманов Д.Б. Моделирование формы отражающей поверхности трансформируемых рефлекторов. Краевые задачи и математическое моделирование: Сб. тр. 6 Всеросс. Научн. Конф. 29 ноября-1 декабря 2003 г. Краевые задачи и методы их решения/НФИ КемГУ; под ред. В.О.Каледина. - Новокузнецк, 2003. С.175-178.
6. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Жуков А.П., Пономарев С.В., Сидоренко Ю.Н., В.А.Солоненко, Усманов Д.Б. Моделирование формы поверхности напряженных сетчатых конструкций. Труды междунар. Конф. «Фундаментальные и прикладные вопросы механики»8-11 октября 2003г. Хабаровск. Т.1. Хабаровск, 2003. С. 317-324.
7. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Жуков А.П., Пономарев С.В., Солоненко В.А., Усманов Д.Б. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного

состояния трансформируемых рефлекторов. IV Всерос. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики». НИИ ПММ при ТГУ. Томск: Изд-во ТГУ, 2004.

8. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Пономарев С.В. Методика оптимального раскроя отражающей поверхности трансформируемых рефлекторов // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики (доклады IV Всеросс. научн. конф.) Томск, 5-7 октября 2005 г. Изд-во ТГУ, 2004. С.180-181.
9. Бутов В.Г., Бухтяк М.С., Пономарев С.В. Методика оптимального раскроя отражающей поверхности трансформируемых рефлекторов. IV Всерос. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики». НИИ ПММ при ТГУ. Томск: Изд-во ТГУ, 2004. С. 180-181.
10. Бухтяк М.С. Геометрическое моделирование деформации сетеполотна параболического рефлектора//Математическое моделирование. 2016. Т. 28. №1. С. 97-106.
11. Бухтяк М.С. Дефект отображения для деформированного лепестка сетеполотна. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2016. №2(40). С. 5-17.
12. Бутов В.Г., Бухтяк М.С. Вопросы моделирования отражающей способности поверхностей, приближенных к параболической форме. 6 Всеросс. Конф. 2 Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики». Томск, НИИПММ. 30.09 - 02.10.2008. С. 205-206. Бухтяк М.С. Нормальная конгруэнция параболоида. Демиквадрики. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. №5 (37). С. 5-19.
13. Бухтяк М.С. Раскрой сетеполотна для офсетного рефлектора. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2016. №3(41). С. 5-19.
14. Бухтяк М.С., Никульчиков А.В. Оценка среднеквадратичного отклонения поверхности параболического рефлектора от шестиугольной фронтальной

сети. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2012. № 4(20), С.5-14.

15. Бухтяк М.С., Никульчиков А.В. Поля на поверхностях, находящихся в точечном соответствии // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. № 6(26), С.56-69.
16. Бухтяк М.С., Пономарев С.В. Алгоритм раскроя сетеполотна офсетного параболического рефлектора. Федеральный институт промышленной собственности. Заявка № 69 № 2015э14446.
17. Бухтяк М.С., Пономарев С.В. Программный модуль вычисления свободной энергии трапецевидной пластины. ФИПС. Заявка №2013618081 от 10.01.2013 г., Свидетельство № 2013660499 от 07.11.2013 г.
18. Бухтяк М.С., Самылкина О.А. О раскрое сетеполотна для осесимметричного рефлектора. // Всероссийская конференция по математике и механике. Тезисы докладов. 02-04 октября 2013 г. – Томск: ТГУ, 2013, С. 93.
19. Бухтяк М.С., Самылкина О.А. Экстремумы локальных деформаций при отображении поверхности на поверхность. Научная конференция студентов и молодых ученых механико-математического факультета Томского государственного университета, посвященная 50-летию полета в космос Ю. А. Гагарина: сборник трудов конференции, 12-19 апреля 2011 года Томск, 2011 С. 15-17.
20. Бухтяк М.С., Соломина А.В. Геометрическое моделирование раскроя сетеполотна для осесимметричного рефлектора. Часть 1 // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. № 2(34), С.5-17.
21. Бухтяк М.С., Соломина А.В. Геометрическое моделирование раскроя сетеполотна для осесимметричного рефлектора. Часть 2//Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. № 4(36), С.5-14.
22. Шербаков Р.Н., Лучинин А.А. Краткий курс дифференциальной геометрии. – Томск: Изд-во ТГУ, 1974. – 250 С.

Приложение

Приложение А.

Таблица 1. Координаты концевых точек на поперечной параболе.

x	*y*	*z*
28	0.0	6.125
28	2.379451938114116	6.169232746295274
28	4.755627265658603	6.301687427264652
28	7.125307524157469	6.52164068213918
28	9.48538758731107	6.827910763136836
28	11.832925195519518	7.218891552209067
28	14.165182719187445	7.69259688646849
28	16.479659736214536	8.24671238297977
28	18.774115779601377	8.878651744577168
28	20.05765668225201	9.26804368424288

Приложение В.

Таблица 2. Координаты концевых точек на граничном эллипсе для дальних и ближних полулепестков.

Для дальних		
x	***y***	***z***
8.0	0.0	0.5
8.14204923779382	2.379451938114116	0.5621465415347959
8.57362593508185	4.755627265658603	0.7509613465983094
9.312303708423958	7.125307524157469	1.0741328724354817
10.392404414046617	9.48538758731107	1.5466769311453952
11.87604634969328	11.832925195519518	2.1957702779908104
13.880949092377584	14.165182719187445	3.0729152279151926
16.667709191051024	16.479659736214536	4.2921227710848235
21.105612667239928	18.774115779601377	6.233705541917468
28.0	20	9.25
Для ближних		
x	***y***	***z***
48.0	0.0	18.0
47.85795076220618	2.379451938114116	17.937853458465202
47.42637406491815	4.755627265658603	17.74903865340169

46.687696291576046	7.125307524157469	17.42586712756452
45.60759558595338	9.48538758731107	16.953323068854605
44.12395365030672	11.832925195519518	16.30422972200919
42.119050907622416	14.165182719187445	15.427084772084807
39.332290808948976	16.479659736214536	14.207877228915176
34.894387332760076	18.774115779601377	12.266294458082534
28.0	20	9.25

Приложение С.

Таблица 3. Длины дуг, ограничивающих полулепесток.

Для ближних	**Для дальних**
23.31152011007532	20.848404892207515
23.13400075662914	20.705139376786786
22.595829696621056	20.269650457738116
21.6787703342932	19.523463951905462
20.346963011319872	18.43032606084872
18.53492849426491	16.92421001175848
16.117368780794667	14.879122183822101
12.814297192432104	12.01424036224029
7.683965704649658	7.3868524622290135
0.06041413513195928	0.06041413513195928

АНТИПЛАГИАТ
ТВОРИТЕ СОБСТВЕННЫМ УМОМ

Отчет о проверке на заимствования №1

Автор: Черненко Роман Витальевич romanpeerss@mail.ru / ID: 6736477
Проверяющий: Черненко Роман Витальевич (romanpeerss@mail.ru / ID: 6736477)

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- http://users.antiplagiat.ru

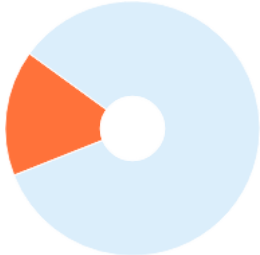
ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 5
Начало загрузки: 11.06.2019 11:49:31
Длительность загрузки: 00:00:01
Имя исходного файла: ВКР_Черненко-конвертирован
Размер текста: 998 кБ
Символов в тексте: 31169
Слов в тексте: 3454
Число предложений: 466

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
Начало проверки: 11.06.2019 11:49:33
Длительность проверки: 00:00:01
Комментарии: не указано
Модули поиска: Модуль поиска Интернет

ЗАИМСТВОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
15,72%	0%	84,28%



Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
Заимствования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска
[01]	7,07%	Скачать полнотекстовую версию	http://journals.tsu.ru	26 Ноя 2016	Модуль поиска Интернет
[02]	0%	vestmim_3_41_beta.pdf	http://journals.tsu.ru	26 Ноя 2016	Модуль поиска Интернет
[03]	3,18%	Посмотреть автореферат	http://sun.tsu.ru	16 Ноя 2012	Модуль поиска Интернет

Еще источников: 5
Еще заимствований: 5,48%