

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**

**КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Направление: 03.03.03 — радиофизика

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(Бакалаврская работа)

**ФОРМИРОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО БАНКА «КОНТУРОВ  
ЗЕРКАЛЬНОСТИ» СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА МАТЛАВ**

Работа завершена:

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 г.

\_\_\_\_\_ (С.С. Бахмутова)

Работа допущена к защите:

Научный руководитель

ассистент кафедры

радиоэлектроники

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 г.

\_\_\_\_\_ (С.Н. Терешин)

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 г.

\_\_\_\_\_ (М.Н. Овчинников)

**Казань — 2016**

## Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Метеорные явления.....	5
1.1 Краткая история развития науки о метеорах.....	7
1.2 Современные методы наблюдения метеоров.....	8
Глава 2. Метеорные радиосистемы и их программное моделирование.....	11
2.1 Программный комплекс КАМЕТ.....	17
Глава 3. Реализация «контуров зеркальности» в Matlab.....	21
Заключение.....	30
Литература .....	31
Приложение А.....	32
Приложение Б.....	33
Приложение В.....	35
Приложение Г.....	39
Приложение Д.....	42

## Введение

В небе периодически наблюдаются «падающие звезды», вызывающие у людей разные эмоции: у кого-то интерес, у кого-то страх. Однако, мало кто задается вопросом, что же это на самом деле такое. А это лишь видимый результат попадания небольших объектов из окружающего космического пространства в атмосферу Земли. Для изучения и освоения разрабатывались различные способы наблюдения этих явлений, например, визуальный и фотографический, большое распространение получил очень перспективный метод – радиолокационный. Именно благодаря данному методу наблюдения метеоров есть возможность «собирать» информацию о строении слоев атмосферы на высотах 70-110 км, а так же о перемещениях (регулярных и нерегулярных) воздушных масс на этих высотах.

Изучение метеорного вещества очень важно в прояснении происхождения солнечной системы и ее эволюции.

Изучение процессов ионизации и свечения, траекторий малых тел Солнечной системы полезно для выяснения их физических свойств. В свою очередь, изучение этой физической природы нужно для более полного понимания происходящего в Солнечной системе, т.к. метеорные частицы попадают на Землю из различных частей окружающего пространства Солнечной системы. Вещество метеоров сохранилось в «первоначальном» состоянии, поэтому данные тела несут в себе важную информацию о формировании Земли, зарождения на ней жизни и образования цивилизации. Изначально все нужные данные получали лишь экспериментальными наблюдениями. Такие методы были неэффективны и требовали много времени.

Для более быстрых и точных исследований всех этих явлений можно использовать моделирование радиосистем.

Целью работы являлось создание новых более полных «контуров зеркальности» для программной модели метеорных радиосистем.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- проанализировать учет геометрической селекции и применение «контуров зеркальности» в программе моделирования радиосистем;
- реализовать функцию проверки возможного элемента «контуров зеркальности» средствами пакета Matlab;
- реализовать программу формирования «контуров зеркальности» для разных длин трасс и заданного набора направлений;
- проанализировать возможное применение сформированных «контуров зеркальности».

## Глава 1. Метеорные явления

Метеор – от греческого «метеорос» дословно переводится как «предмет, парящий в воздухе» или «явление вверху». В настоящий момент метеор принимают за «падающую звезду». На самом же деле метеорным телом или метеороидом является твердое тело, передвигающееся в межпланетном пространстве. За сутки Земля сталкивается с миллионами небесных тел, которые в дальнейшем сгорают в верхних слоях атмосферы. Некоторые, более большие частицы, не сгорают полностью, в результате в небе наблюдается светящийся объект.

Скорость, с которой метеорное тело попадает на Землю и его масса влияют на цвет, яркость и высоту свечения «звезды», которую мы наблюдаем, при ее падении. Однако, необходимо различать высоты начала свечения и начала регистрации: первая зависит только от скорости, а для регистрации важна и масса падающего небесного тела. Метеоры делятся на два вида: встречные (яркие, белые) и догоняющие (слабые, желтые), т.е. можно сделать вывод, что скорость встречных метеоров значительно больше скорости догоняющих.

Когда частица очень большая – ее называют болидом – в небе наблюдается светящийся яркий шар с длинным следом. Свечение болида начинается гораздо выше, чем у метеоров. Такое небесное тело чаще всего появляется со звуком (шумом, свистом, грохотом) и падает на Землю.

Метеорные тела можно разделить на три группы (по свойствам для регистрации):

1. Микрометеороиды – из-за своих маленьких размеров они тормозят в верхних слоях атмосферы еще до того, как нагрются до температуры при которой начинается свечение. Регистрируют их в основном с помощью детекторов и ловушек на космических аппаратах и ракетах.

2. Метеороиды – создают свечение и ионизацию при прохождении атмосферы. Регистрируются как визуальными, так и радиолокационными методами.
3. Метеориты – регистрируются в виде ярких болидов.

#### Характеристики метеора:

- масса метеорной частицы;
- размер метеорной частицы;
- скорость;
- видимый путь (длина трека);
- высота воспламенения;
- яркость свечения;
- химический состав.

Метеор – явление, возникающее в верхних слоях атмосферы, не зависящее от дальнейшей судьбы метеорного тела (метеороид может улететь обратно в космическое пространство, сгореть или упасть на Землю).

Метеорные тела являются частью Солнечной системы, и время жизни этих частичек значительно меньше, чем существование всей системы. Благодаря этому есть возможность изучить процессы возникновения и эволюции метеоров. Возникают метеорные рои путем разрушения астероидов или кометных ядер, а эволюция происходит за счет различных факторов (гравитационное возмущение планет, негравитационные эффекты, столкновение с метеороидами).

Для полного изучения данных процессов необходимо знать структуру роя – плотность потока метеорных тел. Эту информацию можно получить путем радиолокационных наблюдений (подробнее в гл.2). Сложность наблюдений заключается в том, что в одно время в пределах антенной системы меняются и масса регистрируемого тела, и площадка.

Многолетние исследования принесли свой результат. Был разработан метод обработки радиолокационных наблюдений, позволяющий определять плотность потока двумя способами: по общему числу радиоэха и по числу эхо дольше 1 с.

Метеорный поток (звездопад, звездный дождь) – совокупность метеоров, образованных прохождением метеорного роя атмосферы Земли. Чаще всего метеорным дождем называют поток с очень большой интенсивностью (более тысячи метеоров в час).

Когда Земля встречается с метеорной частицей, мы можем наблюдать в атмосфере траекторию. При «столкновении» Земли с потоком наблюдается множество траекторий, выходящих как будто из одной определенной точки. Такую точку называют радиантом.

Метеоры делятся на потоковые и спорадические (случайные, одинокие). Но чаще всего спорадические принадлежат к очень слабым потокам, которые невозможно выявить. Иногда, наоборот, происходит столкновение с очень плотными потоками, которые можно наблюдать визуально в течение 1-2 часов. Однако, это большая редкость, такие явления бывают несколько раз в столетие.

Изначально метеоритные рои движутся компактной группой, но в результате гравитации они растягиваются вдоль орбиты.

## **1.1 Краткая история развития науки о метеорах**

Летописцы разных народов и стран с древних времен писали о больших количествах падающих звезд. Так, например, в самых ранних сведениях 1809 года говорится о множестве летящих и пересекающих друг друга звезд. Первая запись о ежегодном потоке Лириды появилась в 687 г. до н.э. В Греции в 467 г.

до н.э. появилась запись об упавшем на землю метеорите, размером с колесницу.

Так, предметы, периодически вторгающиеся на Землю, стали вызывать у народа интерес, в некоторых странах они даже служили символами культа. В более поздние времена ученые стали разделяться на две «группы»: одни говорили, что эти камни попадают на землю извне и они являются небесными фейерверками; другие утверждали, что это земные камни в которые ударила молния. Первым внеземное происхождение метеоров доказал Био.

В конце 18 века физик Хланди предположил, что все пространство вне Земли заполнено летающими частицами, которые начинают гореть при прохождении атмосферы. Эта теория заинтересовала двух студентов Геттингенского университета, они продолжили исследования и выявили, что вспышки происходят на высоте примерно 90 км, что скорость частицы очень велика (соизмерима со скоростью планеты). Именно этих студентов считают основателями современных методов изучения метеоров.

По всему миру в разное время наблюдались метеорные потоки, которые вдохновляли все большее количество ученых из разных стран начинать исследования. Позднее ученые стали предугадывать возможные даты и места появления потоков.

С каждым десятилетием технические возможности изучения метеоров и наблюдения за ними улучшались, появлялись различные методы: визуальный, фотографический, телевизионные и т.д.

## **1.2 Современные методы наблюдения метеоров**

Некоторые утверждают, что наблюдать за метеорами любитель и профессионал могут одинаково. Но это было правдой еще в прошлом столетии, когда для записей и обработки результатов были нужны карандаш, точные часы и звездная карта. Еще в 1911 г. появилось Американское метеорное общество, собирающее визуальные данные о небесных телах. Члены этого общества,



находясь на разных концах страны и наблюдая за какими-то известными потоками записывали количество и звездные величины метеоров, кто-то даже зарисовывал метеорные следы.

В Британии была собрана группа, основавшая методику, при которой общество из 7-8 человек наблюдало за поведением метеорного потока, диктовало секретарю информацию о метеорных следах, а он, в свою очередь, заносил все на звездную карту. Со временем перед наблюдателями стали помещать рамки с нитями, которые разбивали небо на кадры.

Позже стали появляться телескопы, они были мало практичны, т.к. метеор редко попадает в их поле зрения, поэтому довольно сложно дать точную оценку движения частицы. Практически невозможно точно оценить скорость, т.к. присутствуют ошибки с определением интервалов времени. Но и на проектировании телескопов наука не остановилась. Эпик сконструировал прибор с вибрирующим зеркалом.

Конечно, современные методы (например, фотографические) дают более точные результаты, чем визуальные, но это не значит, что от последних стоит полностью отказаться. Все исследования, полученные современными способами, сопоставляют с визуальными наблюдениями. Радионаблюдения дают нам только информацию об ионизации, но чаще всего эта информация нужна совместно с визуальными данными.

Метеоры очень кратковременные и быстро передвигающиеся явления. Практически невозможно определить в какое время и в какой части неба появиться «вспышка», поэтому сложно поймать метеор в кадр. Для снимка одного метеора сверхчувствительной светосильной камерой приходится тратить десятки часов. Для эффективности стали веерообразно закреплять по несколько камер (4-6 штук). Два таких агрегата, находящихся на некотором расстоянии друг от друга называют фотографическим патрулем.

Изначально это патруль должен был использоваться в других целях, но ученые поняли, что благодаря фотографиям могут получать очень ценную информацию о метеорах.

Уиппл начал производить наблюдения из двух удаленных друг от друга пунктов. Фотографии делали через обтюратор, что помогало без проблем вычислять угловую скорость. В дальнейшем этот способ стали использовать другие ученые и профессора из разных университетов, усовершенствовали его (со временем обтюратор сделали вращающимся). Однако ни одна группа не проводила продолжительных систематических наблюдений.

Джеймс Бейкер создал камеру Супер-Шмидт специально для наблюдения и фотографирования метеоритов. Эта камера отличается от обычных тем, что поле ее зрения и проникающая сила гораздо больше. Всего было сконструировано 6 таких камер, 4 из которых находятся в Гарварде.

Одним из самых важных шагов в развитии фотографического метода наблюдения за метеорами является создание фотоэлектрического оборудования. Однако на момент его конструирования оно не получило широкого применения из-за недостаточной чувствительности. Вскоре после этого было разработано другое похожее оборудование, но с большей чувствительностью, предназначенной для работы именно с метеорами.

## Глава 2. Метеорные радиосистемы и их программное моделирование

### моделирование

Радионаблюдения значительно отличаются от визуальных и фотографических. Радиометоды являются активными. Первичная энергия, исходящая от метеора генерируется передатчиком (радиочастотным генератором), а уже после этого небольшая часть энергии возвращается к радиоприемнику (на энергию воздействуют электроны метеорного следа), при этом оба прибора стоят на земле.

Еще одним преимуществом радиометодов является то, что даже сравнительно маленькое небесное тело, проходящее через атмосферу на высоте около 100 км, оставляет за собой метеорный след, передающий исчерпывающую информацию на радиоприемник, даже если генератор слабый.

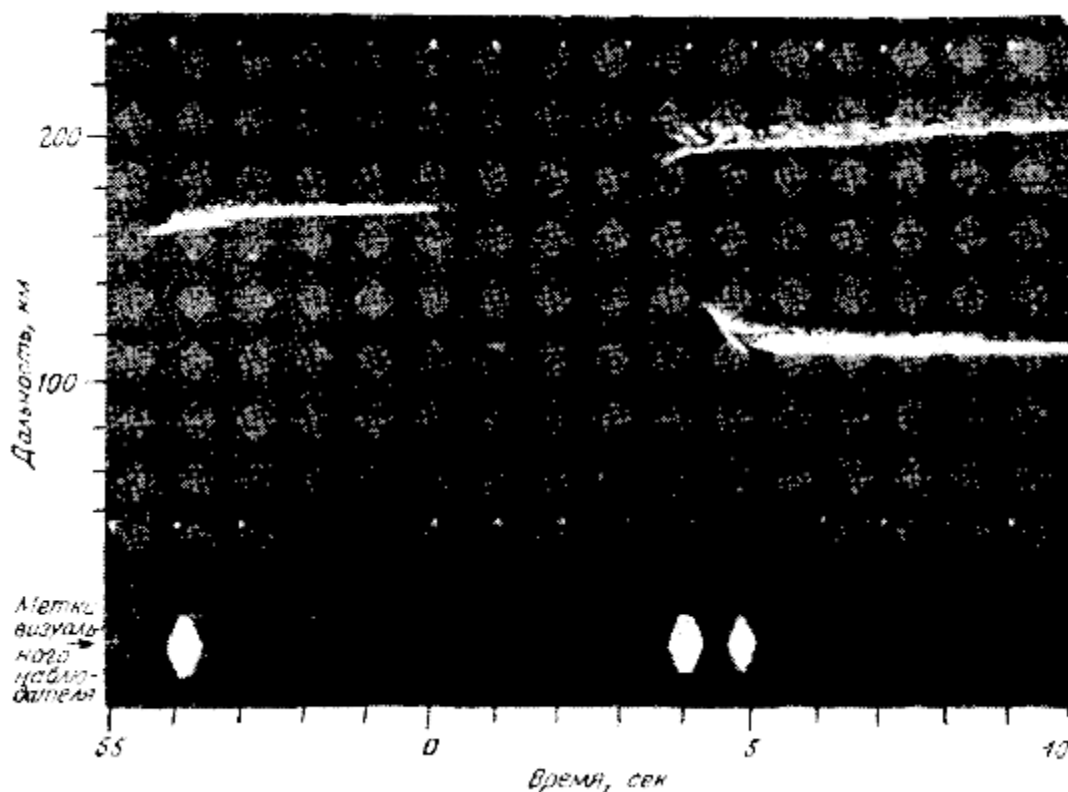


Рисунок 1 - Три следа от метеоров (дальность-время)

В 30 годах исследователи заметили, что в атмосфере на высоте 100 км наблюдается радиоэхо не только днем, но и ночью. Если днем этот сигнал принимали за солнечное излучение, ночью этого быть не могло. Первым это

явление назвал метеором Нагаока. Другие ученые, вопреки его мнению, вскоре доказали, что метеоры увеличивают ионизацию.

На период второй мировой войны радиоисследования были приостановлены. Но даже военные во время работы с радиолокаторами (обнаружении вражеских самолетов) очень часто видели сигналы, поступающие от метеоров. Изначально эти сигналы принимались за цель, операторы были введены в заблуждение. Однако со временем военные приспособились и научились распознавать эти «ложные цели». По окончании войны, ученым разрешили использовать военную технику непосредственно для наблюдения за метеорами. В те годы проводилось очень много исследований, однако, лишь в пятидесятых годах появилась практическая метеорная радиосвязь.

Впервые совместить результаты визуальных и радиолокационных наблюдений решили в конце двадцатого столетия. Они получали соотношения между видимыми величинами метеора и длительностью его эха. И снова по всему миру появились ученые или группы людей, заинтересовавшиеся новыми методами, и пытающиеся внести какие-то новшества в исследования метеоров.

Так, например, вскоре после войны Ловелл основал экспериментальную станцию для радиоисследований. Именно его команда внесло огромный вклад в изучение небесных тел. Изначально они работали лишь с метеорами, потом их заинтересовали эксперименты с внегалактическими и галактическими явлениями. Именно они основали всемирно известный 75-метровый телескоп. Группа Ловелла проводила исследования над потоком Драконида. Они зарегистрировали метеоры визуально (330), фотографически (155) и радиолокационно, а потом сравнили результаты. Было видно что максимум активности потока длится несколько минут.

В СССР метод сравнения различных способов наблюдений так же началось с потока Драконида в 1946 г. Руководил исследовательской группой Левин. Однако подробных сведений об их работе не осталось.

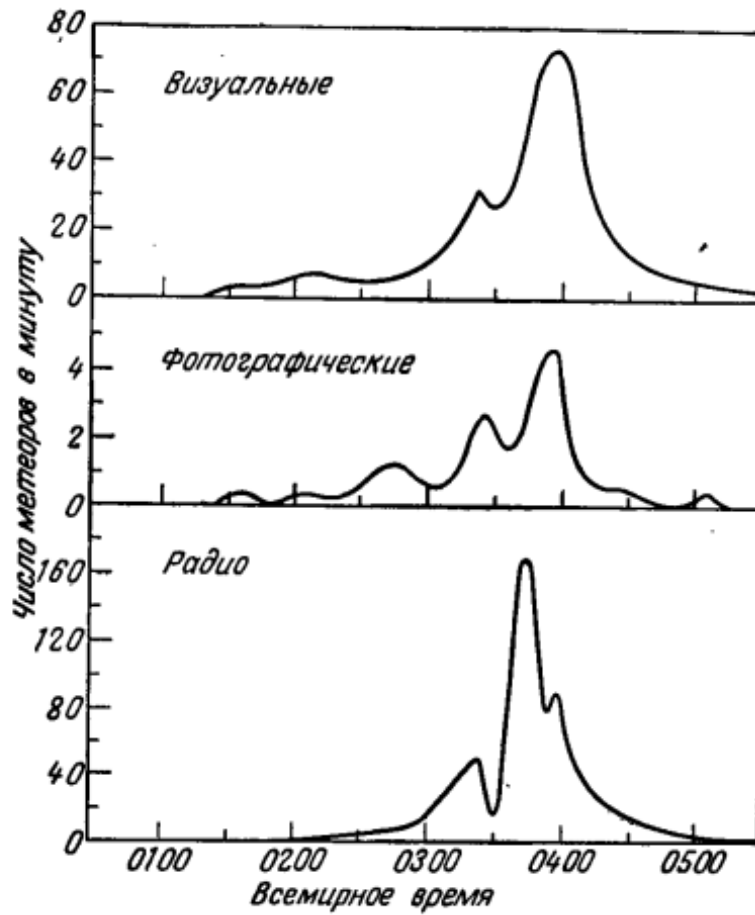


Рисунок 2 - Численность метеоров потока Драконида, зарегистрированная тремя методами наблюдения

В 1952 году начали изучать возможность радиосвязи между двумя приемниками путем рассеивания радиоволн метеорными следами.

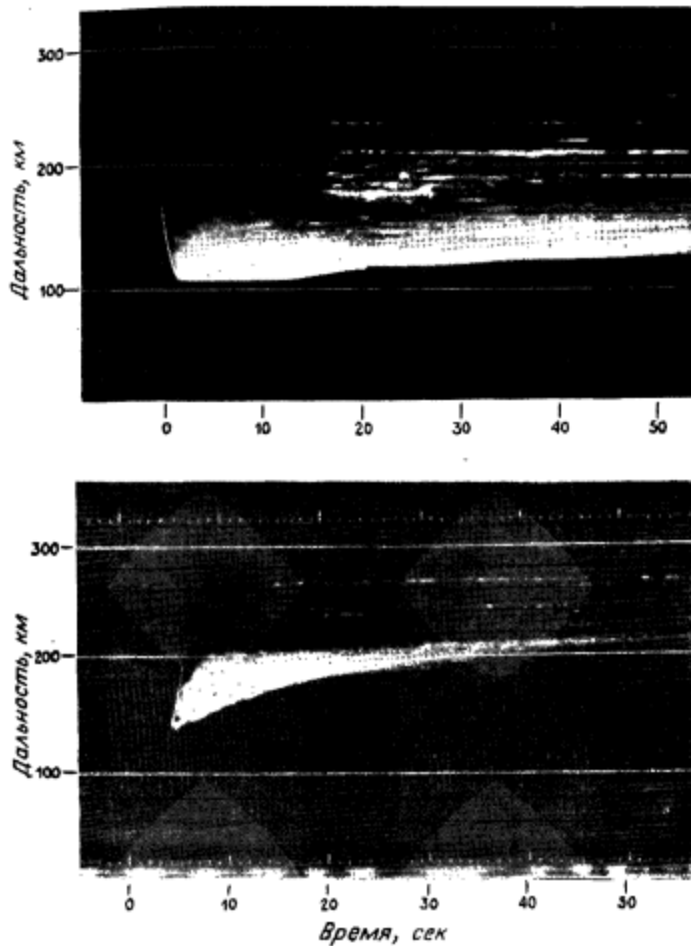


Рисунок 3 - На верхнем рисунке показано эхо приближающегося к станции метеору, на нижнем – удаляющегося.

Примерно с середины пятидесятих годов интерес к метеорам достиг своего пика, основывалось все больше групп. Усовершенствование техники позволяло обнаруживать более слабые тела и увеличивать точность проводимых измерений. Радиоисследования стали связывать не только с фотографиями и визуальными наблюдениями, но и с информацией с ракет и спутников. Наука развивается и в настоящее время, принося все больше результатов и открывая огромные возможности.

В атмосферу Земли постоянно попадает множество частиц различных размеров. Метеорные тела образуются от комет или астероидов. Попадая в атмосферу частица сгорает, образуя за собой метеорный след (ионизованный газ). Размеры этого следа очень большие, они достигают нескольких километров. Однако, из-за влияния ветра и диффузии след рассеивается и

радиосигнал становится меньше. Если ионизации достаточно, след может эффективно отражать.

Для радиосвязи нужно, чтобы в области, где перекрываются диаграммы антенн имелось достаточно следов, которые удовлетворят условиям зеркальности.

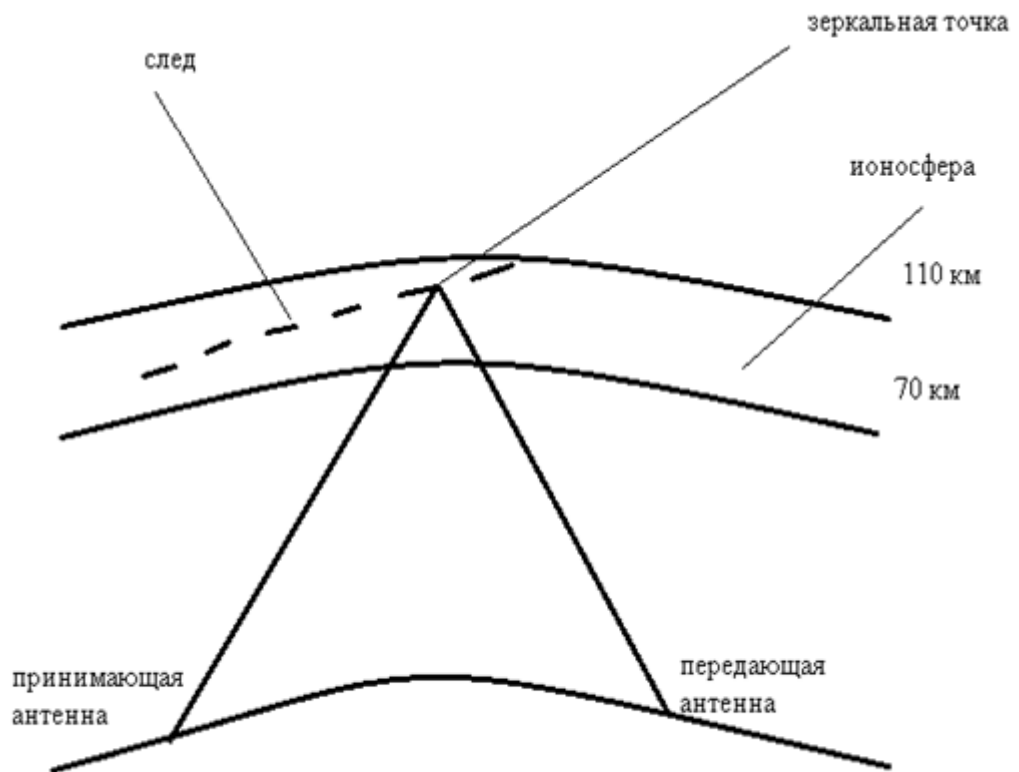


Рисунок 4 - Зеркальное отражение

Одна антенна излучает определенный сигнал (с установленными формой и амплитудой). Другая – принимает его и передает обратно. Так приемники будут обмениваться сигналами, пока существует метеорный след.

При достаточной ионизации след может эффективно отражать радиоволны и в случае выполнения условия зеркальности направлений от передатчика и к приёмнику может приниматься полезный сигнал. Это используется метеорными радиосистемами.

Для работы используют две антенны (принимающая и передающая), они установлены по краям радиолинии.



Рисунок 5 - Блок-схема метеорной радиосистемы

Информация в управляющем компьютере хранится в накопителе, в который она попадает либо через модем, либо вносится вручную на клавиатуре. Правильность вносимых данных и режим работы (технический) регулируется оператором на дисплее. Если нужно записать большой объем, к компьютеру подключают внешнюю память. Для вывода данных используется так же модем или принтер.

Информация поступает на кодер, образуя видеосигнал, затем идет на модулятор, откуда уже выходит радиосигнал, усиливаемый передатчиком. Далее через антенный коммутатор (переключатель) сигнал попадает в антенную систему.

В приемной антенне происходит обратный процесс. Сигнал поступая в приемник, через демодулятор выдается видеосигналом. Полученные данные поступают на управляющий компьютер и выводятся на модем или на принтер.

В 70-е годы в Казани ввели в эксплуатацию метеорный радар «КГУ М5», оснащенный пятью поворотными антеннами. Метеорные отражения приходят с погрешностью в  $1^0$ . Обзор небесного пространства осуществляется поворотом



антенн с интервалом в 15 минут. Большое внимание в те годы придавалось исследованиям орбитальной структуры метеорного комплекса вблизи Земли.

При проектировании новых и модернизации, оптимизации уже созданных систем и их анализе как очень эффективное средство используют программное моделирование метеорных радиосистем.

## **2.1 Программный комплекс КАМЕТ.**

В Казанском университете, в лаборатории ПРАЛ разработан программный комплекс имитационного моделирования метеорных радиосистем - программа КАМЕТ. Она дает возможность смоделировать часовой сеанс работы модельной метеорной радиосистемы. Для более эффективной и быстрой работы, используют контура зеркальности (рабочие зоны).

Контур зеркальности – область, в которой сконцентрированы эффективные для регистрации точки.

Именно контура помогают значительно сэкономить время и не проводить проверки для «пустых» частей.

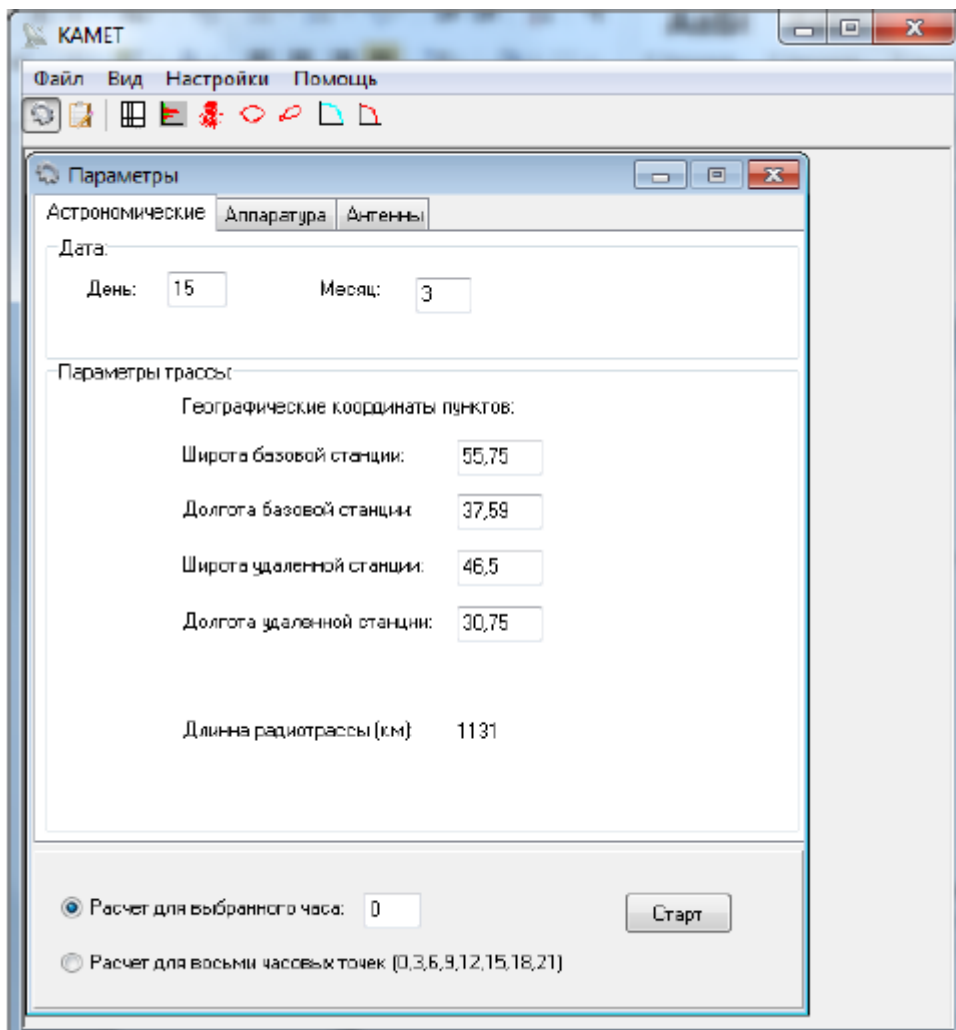


Рисунок 6 - Главное окно приложения КАМЕТ

Изначально нужно ввести параметры вручную или окна заполнятся автоматически. Все параметры подразделяются на три типа: астрономические, аппаратура и антенны. Промежуточные рассчитанные данные будут автоматически сохраняться после остановки программы. После ввода географических координат и даты исследований, автоматически подсчитывается длина трассы (расстояние между антеннами).

После произведения расчетов есть возможность выбрать вид, в котором наиболее удобно просмотреть результаты (таблица, график, диаграмма). Несколько примеров:

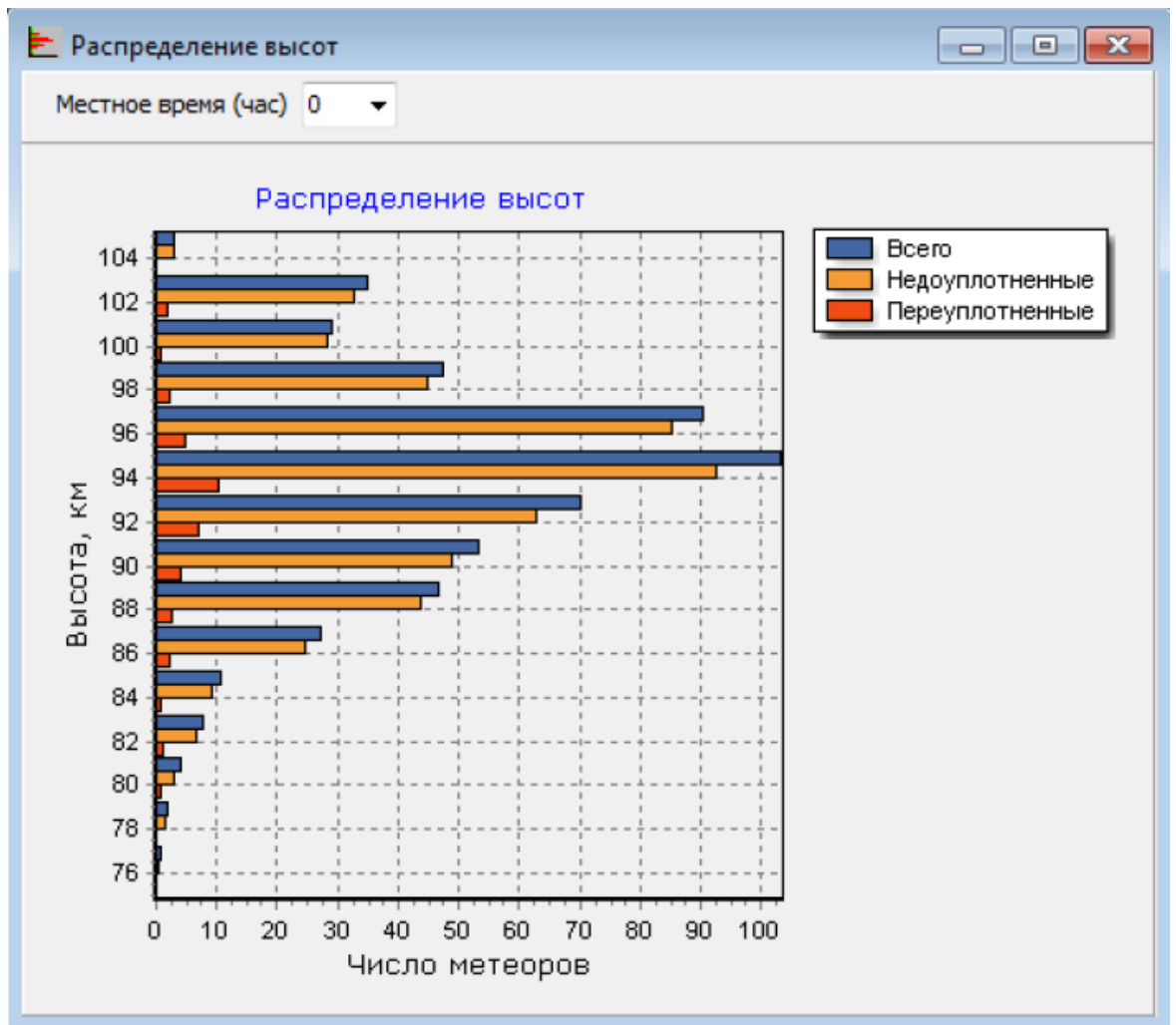


Рисунок 7 - Диаграмма распределения по высотам

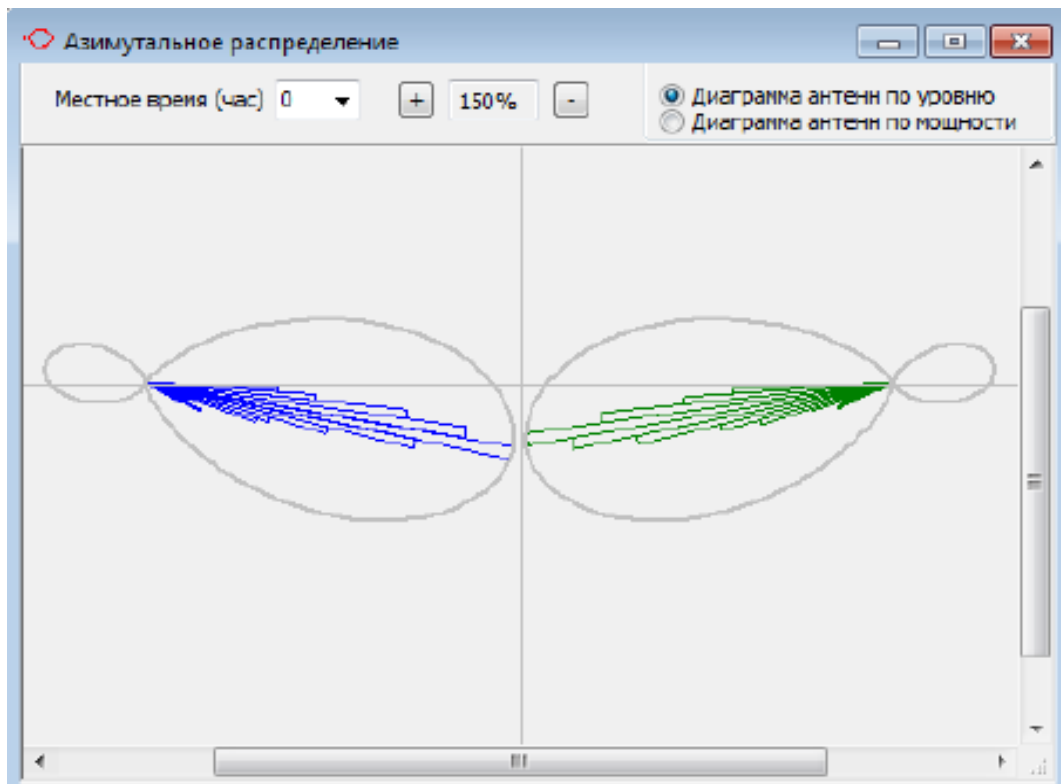


Рисунок 8 - Диаграмма распределения по азимуту

Важную роль играет расположение зеркальной точки, она должна находиться над линией горизонта обоих пунктов.

Траекторию метеорных следов генерируют там, где выполняются условия геометрической селекции, так как это значительно экономит время работы машины. В итоге количество траекторий, поступающий на вход физической модели, уменьшится по окончанию геометрического отбора.

### Глава 3. Реализация «контуров зеркальности» в Matlab

В данной работе рассматривается использование «контуров зеркальности» в моделировании метеорных радиосистем.

Для работы используется файл *tbtiv2.d* программы КАМЕТ. Все значения и действия с имеющимися данными выполнялись в пакете matlab. Программа открывает файл *tbtiv2.d* и производит поиск необходимых данных для заданного месяца.

Выбор нужного контура зеркальности происходит с использованием переменных *Ink* и *Ikon*. Где *Ink* - индекс первого элемента активной области, при заданной длине *D*, а *Ikon* - индекс последнего элемента активной области .

Контуров зеркальности ограничивают область на опорной плоскости, в пределах которой группируются эффективные опорные точки. Лишь такими точками генерируются метеорные следы, которые будут удовлетворять всем условиям геометрической селекции. При выборе опорной точки за пределами активной области будет происходить лишь потеря производительности при моделировании.

В приведенном файле записана информация об эффективных точках, необходимых нам для работы с «контурами», так и некоторые не интересующие значения, поэтому нужно было их пропустить.

Задаются значения:

```
static const float
dltr[13]={0.0,0.5,25.0,51.0,150.0,250.0,350.0,450.0,550.0,650.0,750.0,
850.0,950.0};
static const long ink[13]={0,1,1969,3961,5977,7969,9937,11833,
13681,15313,16417,17089,17569};
```

где *dltr* является длиной трассы, *ink* - первый элемент активной области, соответствующий какому-то из значения длины трассы.

Первый фрагмент файла *tbtiv2.d*. Из файла занесены данные контуров зеркальности в массивы. Нужно пропустить 2016 первых элементов для 12 месяцев ( $13 \cdot 12 + 12 \cdot 12$ ). Описание в Приложении А.

Сделали пример «контур зеркальности» для одной из длины трасс (Рис.11), код для вывода этого рисунка в приложении Б.

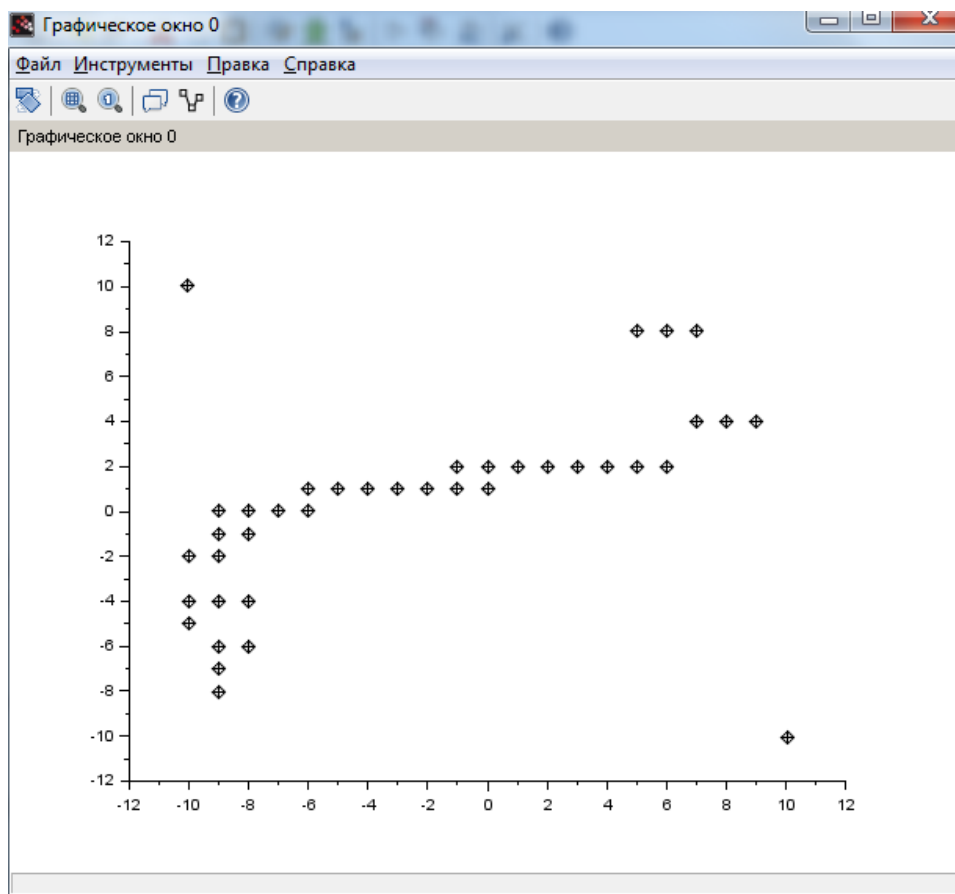


Рисунок 9 - Пример формы одного «контур»

В программной модели КАМЕТ имитируются метеорные следы на основании обобщенных результатов радиолокационных наблюдений, зафиксированных в виде таблиц Пупышева. Все возможные направления были разделены на небольшие участки (примерно одинаковые в стерadiansах). Полученные участки разделили на полосы с указанными границами эклиптической широты. Полосы же, в свою очередь, разделены по эклиптической долготе. В программе моделирования необходимо поочередно учитывать имитацию метеорных следов имитацию метеорных следов для

каждого направления из этой схемы. При этом очень важно. Какими окажутся данные направления в системе, связанной с моделированием радиотрассы. Направления могут не совпасть, т.к. ось z местной системы координат может оказаться в случайном месте).

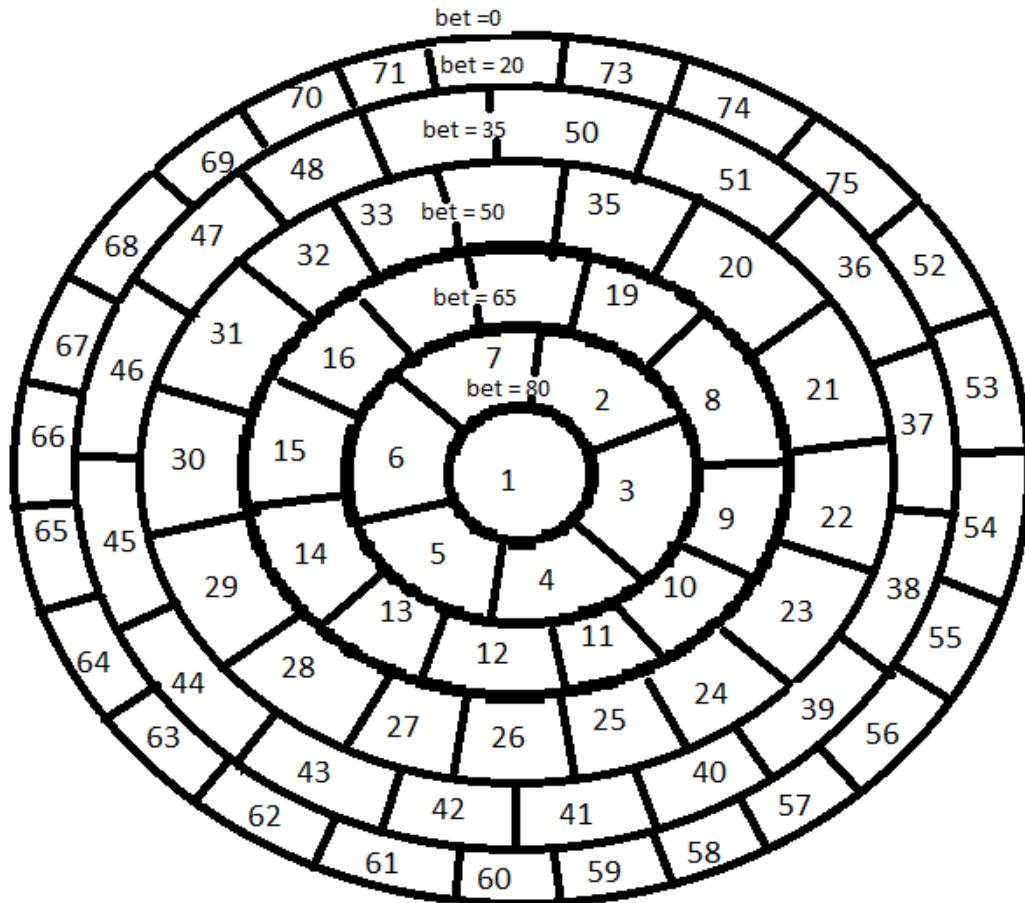


Рисунок 10 - Схема элементов данных о притоке частиц в эклиптической системе координат

Для каждого очередного направления требуется учет потока частиц, пересекающих горизонтальную плоскость в разных ее участках. Из предыдущих экспериментальных (вычислительных) исследований понятно, что частицы, пересекающие горизонтальную плоскость далеко от середины трассы, не удовлетворяют условиям геометрического отбора. Поэтому полезными элементами опорной плоскости оказываются те, которые ограничены опорной площадкой. В принципе для проверки зеркальности может выполняться проверка каждого элемента поочередно. При этом, для большинства таких

проверок окажется, что для следов, проходящих через элемент, условие зеркальности не выполняется, и только для сравнительно небольшого количества выполнится. Набор элементов опорной площадки, удовлетворяющий условиям отбора, и формирует контур зеркальности.

В результате выполненной проверки видим, что не все элементы будут заполнены. Важно, что контур зеркальности зависит только от направления, для которого выполняется имитация, и от длины трассы. Поэтому авторы модели КАМЕТ решили предварительно заготовить некоторый набор контуров, чтобы не тратилось время при моделировании на проверку пустых элементов. Были сделаны контура зеркальности для части направлений и записаны в виде специальных таблиц (табличные контура). Когда рассматривается направление, для которого нет табличного контура, используется близкий к нему.

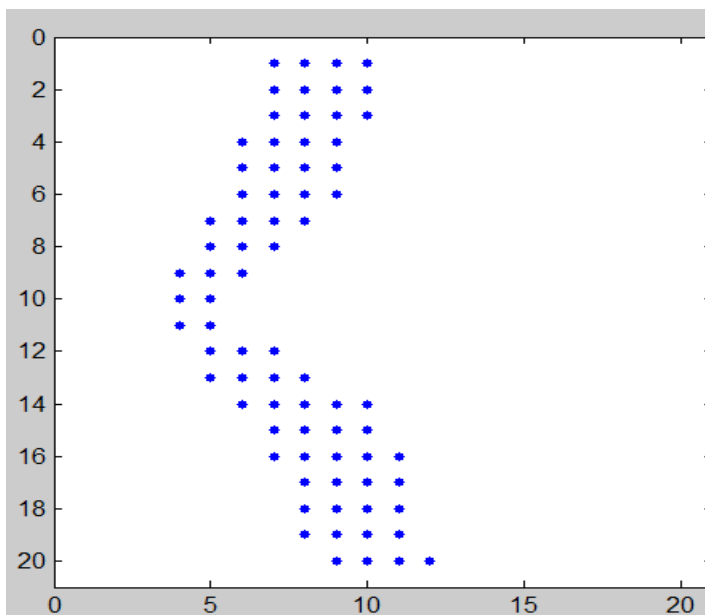


Рисунок 11 – элементы, удовлетворяющие геометрическому отбору (контур зеркальности)

Уже давно были сделаны старые табличные контура зеркальности, их применение каким-то образом протестировали, результаты оказались успешными. Позже вносились различные изменения в программу моделирования, которые не всегда согласовывались со старыми контурами. В результате таких несогласованностей, при сравнении старых контуров



зеркальности и поочередной проверкой каждого элемента теперь выявляется недостаточность табличных данных.

Учитывая требования геометрической составляющей расчетов (геометрическая селекция) была создана функция `Geom_selekt` (приложение Г) на языке MATLAB.

```
function [ r1, r2, x, y, z, h ] = Geom_selekt ( D, p, en, nt )
```

входные параметры:

`D` – половина длины трассы ( масштаб единичного отрезка используемой системы координат )

`p` - направляющий косинус по оси `z`

`en` - направляющий косинус по оси `y`

`nt` – номер проверяемого элемента опорной плоскости

выходные параметры:

в случае удовлетворительного результата проверки

`r1` – расстояние от передатчика до отражающей точки

`r2` – расстояние от отражающей точки до приёмника

`x, y, z, h` - координаты и высота отражающей точки

Если отражающая точка на следе от элемента удовлетворяет всем условиям проверки, данный элемент включается в контур. Если же отражение на следе элемента не удовлетворяет хотя бы одному условию, его в контур не вносим.

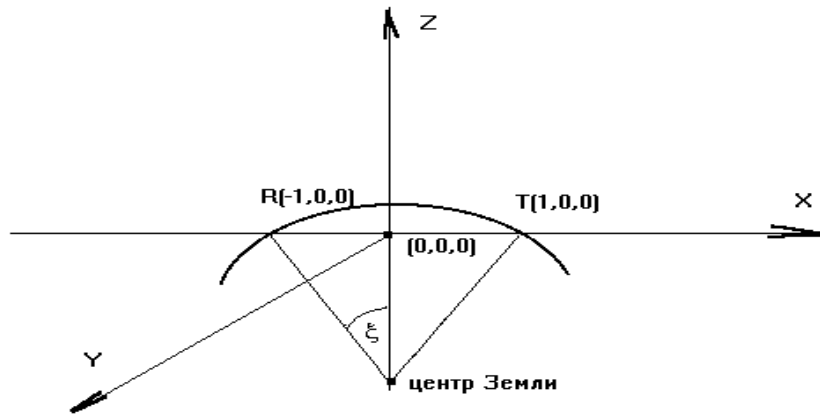


Рисунок 12 - Прямоугольная система координат с центром в средней точке радиолинии.

R и T – принимающий и передающий пункт. Угол, соответствующий дуге TR:

$$\cos 2\xi = \sin \varphi_T \cdot \sin \varphi_R + \cos \varphi_T \cdot \cos \varphi_R \cdot \cos(\lambda_T - \lambda_R) \quad (1.1)$$

где  $\varphi$  и  $\lambda$  координаты принимающего и передающего пунктов, соответственно.

Эклиптические координаты  $\beta$  и  $\lambda$  переводим в экваториальные

$$\sin \delta = \cos \varepsilon_0 \sin \beta + \sin \varepsilon_0 \cos \beta \sin \lambda, \quad (1.2)$$

$$\cos \alpha = \frac{\cos \beta \cos \lambda}{\cos \delta}, \quad (1.3)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \beta \sin \lambda \cos \varepsilon_0 - \sin \beta \sin \varepsilon_0}{\cos \delta}, \quad (1.4)$$

Зная зенитное расстояние  $\cos z_p$  и азимут радианта  $A$ , вычисляем направляющие косинуса в системе координат  $x, y, z$

$$l = \sin z_p \cdot \cos(A - A_0), \quad (1.5)$$

$$m = \sin z_p \cdot \sin(A - A_0), \quad (1.6)$$

$$n = \cos z_p. \quad (1.7)$$

В качестве исходной опорной плоскости выбрана плоскость на высоте 95км над серединой трассы ( $z_0 = 95/D_0$ ).

Условия, которым должны удовлетворять координаты зеркальной точки:

$$\frac{x-x_0}{l} = \frac{y-y_0}{m} = \frac{z-z_0}{n}, \quad (1.8)$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1, \quad (1.9)$$

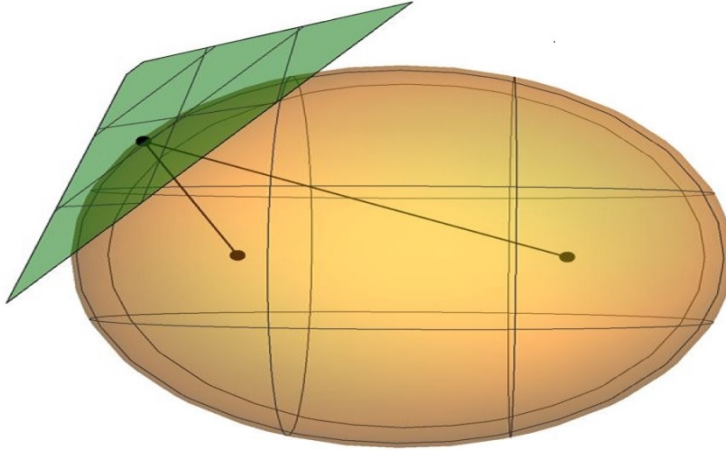


Рисунок 13 –Эллипсоид вращения и опорная пощадка

В результате промежуточных вычислений получается квадратное уравнение относительно  $x$ , коэффициенты для которого равны:

$$a = \frac{v \cdot m + u \cdot n}{l}, \quad b = (v \cdot m + u \cdot n)^2 + (u^2 + v^2 + 1) - l^2,$$

$$c = m \cdot (v \cdot m + u \cdot n)(u^2 + v^2 + 1),$$

$$u = z_0 - \frac{n}{l} \cdot x_0, \quad v = y_0 - \frac{m}{l} \cdot x_0$$

Выбираем корень, соответствующей ограничениям на высоту (от 70 до 110)

$$h = D_0 \cdot \left( \sqrt{x^2 + y^2 + \left( z + ctg \frac{\xi}{2} \right)^2} - \frac{1}{\sin \frac{\xi}{2}} \right) \quad (1.10)$$

Была принята «область генерации»  $z=95/D_0$ . Разбиваем ее на  $p^2$  с размерами  $\Delta x = \Delta y = L/p$ .

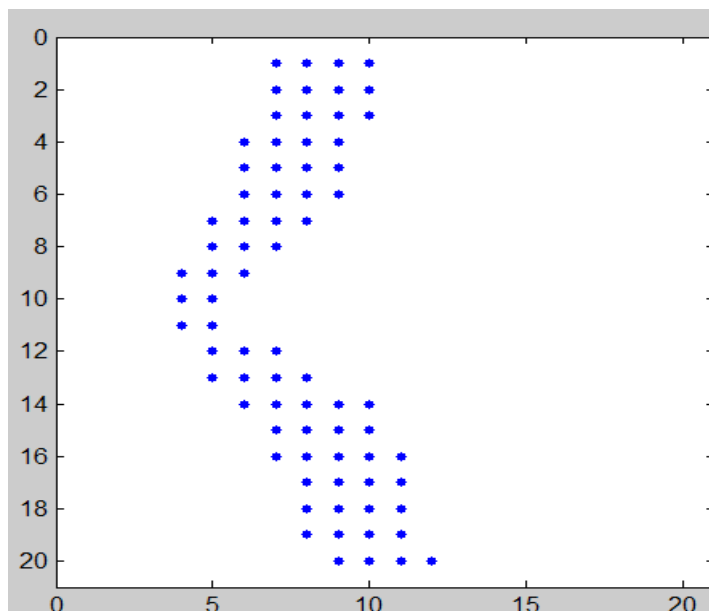
$$l = \sqrt{1 - m^2 - n^2} \text{ направляющий косинус по оси } x.$$

Если для проверяемого элемента опорной плоскости нет удовлетворительной зеркальной точки, функция задаёт нулевые значения выходных параметров.

Для формирования и анализа новых контуров написан скрипт `kontura`(приложение В). В нём в циклах для заданных длин трасс и граничных направлений запускается функция `Geom_selekt` и по результату элементы заносятся в очередной контур и в итоге получается требуемый набор контуров. Далее выводятся таблицы с данными для контуров, заданных давно и сформированных в данной работе, заметили небольшие недоработки старых контуров, таблица со сравнениями так же выводится в скрипте `kontura`. С учетом всех условий был написан скрипт (Приложение Г) для вывода новых контуров для 9 длин трасс (9\*60). Наборы, не удовлетворяющие условиям отбора заполняются нулевыми элементами.

Результаты можно увидеть в двух вариантах:

1. вывести рисунок



2. вывести контур с элементами 0 и 1



## Заключение

Был сформирован усовершенствованный банк контуров зеркальности. Для реализации поставленных целей были выполнены задачи:

- изучены принципы и освоен способ вычисления условий геометрического отбора и его применение непосредственно в выборе подходящих «контуров зеркальности» в программе моделирования радиосистем;

- написана функция для проверки предполагаемого элемента «контура зеркальности»;

- реализована программа формирования «контуров зеркальности», при этом рассматривали разные длины трасс и заданные для них наборы направлений;

- проанализировано возможное применение сформированных «контуров зеркальности».

## Литература

1. Мак-Кинли, Д. Методы метеорной астрономии / Д. Мак-Кинли – М.: Мир, 1964. – С. 11-39
2. Бронштэн, В.А. Физика метеорных явлений / В.А. Бронштэн – М.: Мир, 1981. – С. 74-82
3. Белькович, О.И. Статистическая теория радиолокации метеоров / О.И. Белькович – К.: Казанский университет, 1971. – С. 5-19
4. Бабаджанов, П.Б. Метеоры и их наблюдение / П.Б. Бабаджанов – М.: Наука, 1987. – 28-44 с., 49-73 с.
5. Белькович, О.И. Радиофизические методы околоземного космического пространства / О.И. Белькович, А.М. Насыров, А.В. Карпов и др. – К.: Казанский университет, 2005. – С. 173-182
6. Карпов, А.В. Компьютерная модель радиосистемы / А.В. Карпов, С.Н. Терешин, А.Р. Курганов, А.В. Наумов – К.: Казанский университет, 1998. – С. 5-21
7. Дьяконов, В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В.П. Дьяконов – Мю\.: ДМК-Пресс, 2011. – 976 с.

**Приложение А. Скрипт на языке Matlab считывания данных о контурах.**

```

dltr= [0.5,25.0,51.0,150.0,250.0,350.0,450.0,550.0,650.0,750.0, 850.0,950.0]
ink =[1,1969,3961,5977,7969,9937,11833, 13681,15313,16417,17089,17569]
[fd,err]=mopen('TBTIV2.d', 'r')
for i = 1:2016
    mfscanf(fd, '%g');
end

for id = 1 : 12
    kan(id)=17904
    if id<12 then
        kan(id)=ink(id+1)
    end
    ikon(id)=kan(id)-ink(id)

    for i=1 : ikon(id)
        nkon(id, i) = mfscanf(fd, '%d');
    end
end

for id=1 : 12

    for i=1 : 60
        nnk(id, i) = mfscanf(fd, '%d');
    end
end
fclose(fd)

```



**Приложение Б. Просмотр одного из контуров**

```
id = 8
```

```
p = 0.6
```

```
en = 0.5
```

```
tabl (1 : 20, 1: 20 ) =0;
```

```
pp=0.35;
```

```
pn=0.1;
```

```
jP =0;
```

```
for j=1 : 10: 50;
```

```
    jP = j
```

```
    if p < pp then
```

```
        break;
```

```
    end
```

```
    pp=pp+0.1;
```

```
end
```

```
for j = jP : 60
```

```
    if en < pn then
```

```
        break;
```

```
    end
```

```
    j=j+1;
```

```
    pn=pn+0.1;
```

```
end
```

```
i=nnk(id,j)
```

```
nko=nkon( id, i )
```

```
nko1=nkon( id, i + 1 )
```

```
while nko > 0
```

```
    for nt = nko:nko1
```

```
        tabl (nt) = 1;
```

```
        i = i + 2;
```

```
        nko=nkon( id, i )
```

```
        nko1=nkon( id, i + 1 )
```

```
    end
```

```
end
```

```
set(gca(),"auto_clear","off");
```

```
plot2d([-10.03],[10.03],-8);
```

```
plot2d([10.03],[-10.03],-8);
```

```
for i = 1:20
```

```
    for j = 1:20
```

```
        if tabl ( i, j) > 0 then
```

```
            plot2d ([ i - 11], [j-11], -8)
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

## Приложение В. Скрипт формирования и проверки новых контуров

```
id = 8; D = 360
```

```
maxB0 ( 1 : 60 ) = 0;
sumB0 ( 1 : 60 ) = 0;
maxKD ( 1 : 60 ) = 0;
```

```
for nD = 1 : 60
    D = 350 + nD * 5
    b0M ( 1 : 60 ) = 0;
    pNV ( 1 : 60 ) = 0;
    kd ( 1 : 60 ) = 0;
```

```
%nv = 1
```

```
for npp = 1 : 6
```

```
    p = 0.2 + npp * 0.1 ;
```

```
    for npn = 0 : 9
```

```
        en = 0.05 + npn * 0.1;
```

```
    tabl ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
    tabl2 ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
    tabl3 ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
```

```
    tabl4 ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
```

```
for i = 1:20
```

```
    for j = 1:20
```

```
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
```

```
        [ r1, r2, x, y, z, h, r ] = GEOM_SELEKT( D, p, en, nt );
```

```
        if r1 > 0 %then
```

```
            tabl2 ( i, j ) = 1;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
pp=0.35;
```

```
pn=0.1;
```

```
jP = 0;
```

```

%for j=1 : 10: 50;
nv = 1;
while p >= pp
    nv = nv + 10;
    pp=pp+0.1;
end

while en >= pn
    nv=nv+1;
    pn=pn+0.1;
end

tabl4t (1 : 20, 1: 20 )=0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h, r] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

pp = pp-0.1;
tabl4t (1 : 20, 1: 20 )=0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h, r] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

pn = pn-0.1;

if pn <= 0;
    pn = 0.01;
end

```

```

tabl4t ( 1 : 20, 1: 20 ) =0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h, r ] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

```

```

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

```

```

pp = pp+0.1;
tabl4t ( 1 : 20, 1: 20 ) =0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h, r ] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

```

```

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

```

```

tabl3 = tabl2 - tabl4;

```

```

tabl4;

```

```

b0 = 0

```

```

for i = 1:20
    for j = 1:20
        if tabl3(i,j) > 0 %then
            b0 = b0 +1;
            kd1 = min ( i , (20 - i) );
            kd2 = min ( j , (20 - j) );
            kd ( nv ) = kd ( nv ) + min ( kd1, kd2 );
        end
    end
end
end

```

```
pNV ( nv ) = nv;  
b0M ( nv ) = b0;
```

```
end  
end
```

```
pNV  
b0M  
kd
```

```
maxB0(nD) = 0; sumB0(nD) = 0;  
maxKD(nD) = 0;
```

```
for i = 1 : 60
```

```
    sumB0(nD) = sumB0(nD) + b0M ( i );  
    maxB0(nD) = max ( maxB0(nD), b0M ( i ) );  
    maxKD(nD) = max ( maxKD(nD), kd ( i ) );
```

```
end
```

```
end
```

```
maxB0  
sumB0  
maxKD
```

## Приложение Г.

```
function [ r1, r2, x, y, z, h ] = GEOM_SELEKT( D, p, en, nt )
```

```
tochr = 0.001;
```

```
Rz = 6371;
```

```
h1 = 70 ; h2 = 110;
```

```
hOp = 95;
```

```
r952 = (( Rz + hOp )/D) ^2;
```

```
% D = 460
```

```
sinGam2 = D / Rz;
```

```
sg2 = sinGam2;
```

```
cosGam2 = sqrt ( 1 - sinGam2 * sinGam2 );
```

```
tg2 = sg2 / cosGam2;
```

```
% p = 0.45;
```

```
% en = 0.6;
```

```
proshel = 0;
```

```
sum2ppen = p*p + en*en;
```

```
if sum2ppen < 1
```

```
em = sqrt ( 1 - sum2ppen );
```

```
% nt = 339
```

```
% z0 = (hOp - Rz * (1 - cosGam2) )/ D
```

```
nxv= floor((nt-0.5)/20.);
```

```
if D <= 350 %then
```

```

% // dx=50./D;   dy=dx;

x0=(-475+50*(nt-20*nxv-1))/D;
y0=(475-50*nxv)/D;

else

%//c   P''P»CfI PePsPSC,CfC'P° b   */
x0=-1.634+(7.6e-4)*D;
y0=-x0;
dx=0.172-(8.e-5)*D; %// dy=dx;
x0=x0+dx*(nt-20*nxv-1);
y0=y0-dx*nxv;

end

z0=sqrt(r952-(x0^2+y0^2))-1/tg2;

u=z0-p*x0/em;
v=y0-en*x0/em;
a01=v*en+u*p;

b01=u*u+v*v+1;
a1=a01/em;
b1=a01*a01+b01-em*em;
c1=em*a01*b01;

%// false

del=b1*b1-4*a1*c1;

if del >= 0 %then
xa(1)=(-b1+sqrt(del))/(2*a1);
xa(2)=(-b1-sqrt(del))/(2*a1);

for m= 1:2

x=xa(m);
y=en*x/em+v;
z=p*x/em+u;
doCenZ=z+1/tg2;

```



```
h= D*sqrt(x*x+y*y+ doCenZ*doCenZ)-Rz;
```

```
if ( h >= h1 )&& ( h <= h2 ) %then
```

```
    r2= y*y+z*z;
```

```
    r1=sqrt((x-1.)*(x-1.)+r2);
```

```
    r2=sqrt((x+1.)*(x+1.)+r2);
```

```
    ri= y*en+z*p;
```

```
    ri= abs(((x-1.)*em+ri)/r1+((x+1.)*em+ri)/r2);
```

```
    if (ri < tochr ) %then
```

```
        proshel = 1;  %% true
```

```
        break %% goto l290;
```

```
    else
```

```
        r1 = 0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
if proshel > 0 %then
```

```
    r = r1*r2*(r1+r2);
```

```
else
```

```
    r = 90000;
```

```
    r1 = 0;
```

```
    r2 = 0;
```

```
    x=0 ; y = 0; z = 0; h =0;
```

```
end
```

```
end
```

## Приложение Д.

```
maxB0 ( 1 : 60 ) = 0;
sumB0 ( 1 : 60 ) = 0;
maxKD ( 1 : 60 ) = 0;
```

```
fd=fopen('NKONT.txt', 'w')
```

```
for nD = 1 : 3
    D = 50 + nD * 100
    fprintf(fd, '\n %i %8.2f\n', nD, D );
    b0M ( 1 : 60 ) = 0;
    pNV ( 1 : 60 ) = 0;
    kd ( 1 : 60 ) = 0;
```

```
%nv = 1
```

```
for npp = 1 : 6
```

```
    p = 0.2 + npp * 0.1 ;
```

```
    for npn = 0 : 9
```

```
        en = 0.05 + npn * 0.1;
```

```
        tabl ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
```

```
        tabl2 ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
```

```
        tabl3 ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
```

```
        tabl4 ( 1 : 20, 1 : 20 ) = 0;
```

```
    for i = 1:20
```

```
        for j = 1:20
```

```
            nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
```

```
            [ r1, r2, x, y, z, h ] = GEOM_SELEKT( D, p, en, nt );
```

```
            if r1 > 0 %then
```

```
                tabl2 ( i, j ) = 1;
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

```
pp=0.35;
```

```

pn=0.1;
jP =0;
%for j=1 : 10: 50;
nv = 1;
while p >= pp
    nv = nv + 10;
    pp=pp+0.1;
end

while en >= pn
    nv=nv+1;
    pn=pn+0.1;
end

tabl4t (1 : 20, 1: 20 )=0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h ] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

pp = pp-0.1;
tabl4t (1 : 20, 1: 20 )=0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h ] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

pn = pn-0.1;

```

```

if pn <= 0;
    pn = 0.01;
end

tabl4t (1 : 20, 1: 20 ) =0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h ] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

pp = pp + 0.1;
tabl4t (1 : 20, 1: 20 ) =0;
for i = 1:20
    for j = 1:20
        nt = ( i - 1 ) * 20 + j;
        [ r1, r2, x, y, z, h ] = GEOM_SELEKT( D, pp, pn, nt );
        if r1 > 0 %then
            tabl4t ( i, j) = 1;
        end
    end
end
end

tabl4 = tabl4 + tabl4t;

tabl3 = tabl2 - tabl4;

tabl4;
if npp + npn < 4
    spy (tabl4);
end
b0 = 0

fprintf ( fd, '\n\n %i  %i %8.2f  %8.2f\n', npp, npn, pp, pn );

for i = 1:20
    fprintf ( fd, '\n ' );
    for j = 1:20

```

```

if tabl4(i,j) > 0
    fprintf ( fd, ' 1' );
else
    fprintf ( fd, ' 0' );
end
if tabl3(i,j) > 0 %then
    b0 = b0 +1;
    kd1 = min ( i , (20 - i) );
    kd2 = min ( j , (20 - j) );
    kd ( nv ) = kd ( nv ) + min ( kd1, kd2 );
end
end
end

pNV ( nv ) = nv;
b0M ( nv ) = b0;

end
end

pNV
b0M
kd

maxB0(nD) = 0; sumB0(nD) = 0;
maxKD(nD) = 0;
for i = 1 : 60
    sumB0(nD) = sumB0(nD) + b0M ( i );
    maxB0(nD) = max ( maxB0(nD), b0M ( i ) );
    maxKD(nD) = max ( maxKD(nD), kd ( i ) );
end

end
maxB0
sumB0
maxKD

fclose(fd);

```