

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**  
**КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Направление: 03.03.03 — радиофизика

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(Бакалаврская работа)

**МОДЕРНИЗАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ**  
**МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТЕОРНОЙ РАДИОСИСТЕМЫ С НОВЫМ БАНКОМ**  
**КОНТУРОВ ЗЕРКАЛЬНОСТИ**

Работа завершена:

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 г. \_\_\_\_\_ (И.И. Низамов)

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**

## Оглавление

Введение.....	3
1 Метеорные радиосистемы и их компьютерное моделирование .....	5
1.1 Основы метеорной радиосвязи .....	5
1.2 Радиолокационные наблюдения метеоритов .....	6
1.3 Метеорные системы связи.....	15
1.4 Достоинства и минусы метеорной радиосвязи .....	18
1.5 Моделирование метеорных радиосистем .....	20
2 Программа моделирования радиосистем «Камет».....	22
2.1 Общая информация.....	22
2.2 Средства разработки программы.....	23
2.3 Состав проекта.....	24
2.4 Ядро ModelKamet3.....	24
2.5 Графический интерфейс КАМЕТ_3.....	25
2.6 Структура папки DATA.....	25
3 Модернизирование программы моделирования, для использования новых банков контуров зеркальности.....	27
Заключение .....	37
Список литературы .....	38
Приложение А .....	39
Приложение Б .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## Введение

При разработке и эксплуатации сложных радиосистем важны проблемы оптимизации их характеристик. Разрешение данных задач дает возможность повысить эффективность системы при постоянной энергетике радиоканала. Уже после формирования системы данные исследования возможно осуществлять экспериментально - на функционирующем объекте, однако для извлечения статистически надежных итогов необходимо осуществление продолжительных исследований, сопровождаемых надлежащими внушительными финансовыми расходами.

Другим способом определения характеристик системы как на стадии разработки, таким образом и на стадии эксплуатации считается применение математических моделей (зачастую реализованных в виде пакета проектов на ПК). Это дает возможность достигнуть существенной эластичности в осуществлении на модели такие условия, осуществление которых в натурном опыте вызвала бы неясные проблемы.

В данное время имеется довольно большое число компьютерных моделей для установления характеристик системы, которые нуждаются в улучшениях и введения новейших алгоритмов и методов.

Целью дипломной работы является получение модернизированной версии программы моделирования «Kamet», которая будет задействовать новый банк контуров зеркальности.

Для выполнения поставленной цели потребуется выполнить следующие задачи:

- разобраться в организации работы программы моделирования метеорных радиосистем «Kamet», и изучить особенности её использования;
- создать модернизированные версии программы моделирования с выводом промежуточных данных об элементах опорной плоскости: со старыми контурами, без контуров и с новыми контурами;

- составить комплекс вариантов параметров трасс и сеансов (план тестирования) обеспечивающий достаточную полноту тестирования;
- сравнить полученные данные результаты для всех вариантов и обобщить - сформулировать итоги сравнения.

# 1 Метеорные радиосистемы и их компьютерное моделирование

## 1.1 Основы метеорной радиосвязи

Каждый день в Земную атмосферу начиная с мелкой пыли из космоса и заканчивая крупными телами, попадает большое количество космических частиц. Относительно Земли скорость метеорных тел составляет 12-72 км/с. При входе в Земную атмосферу с такой скоростью метеорные тела нагреваются из-за трения о воздушное пространство и чаще всего испаряются. Из метеорного тела вылетают атомы с огромной энергией и сталкиваются с молекулами, атомами воздуха. При сгорании в атмосфере тело образует за собой столб ионизированного газа, который был назван метеорным следом. Размер метеорного следа составляет с поперечной стороны несколько метров, а с продольной может измеряться километрами.

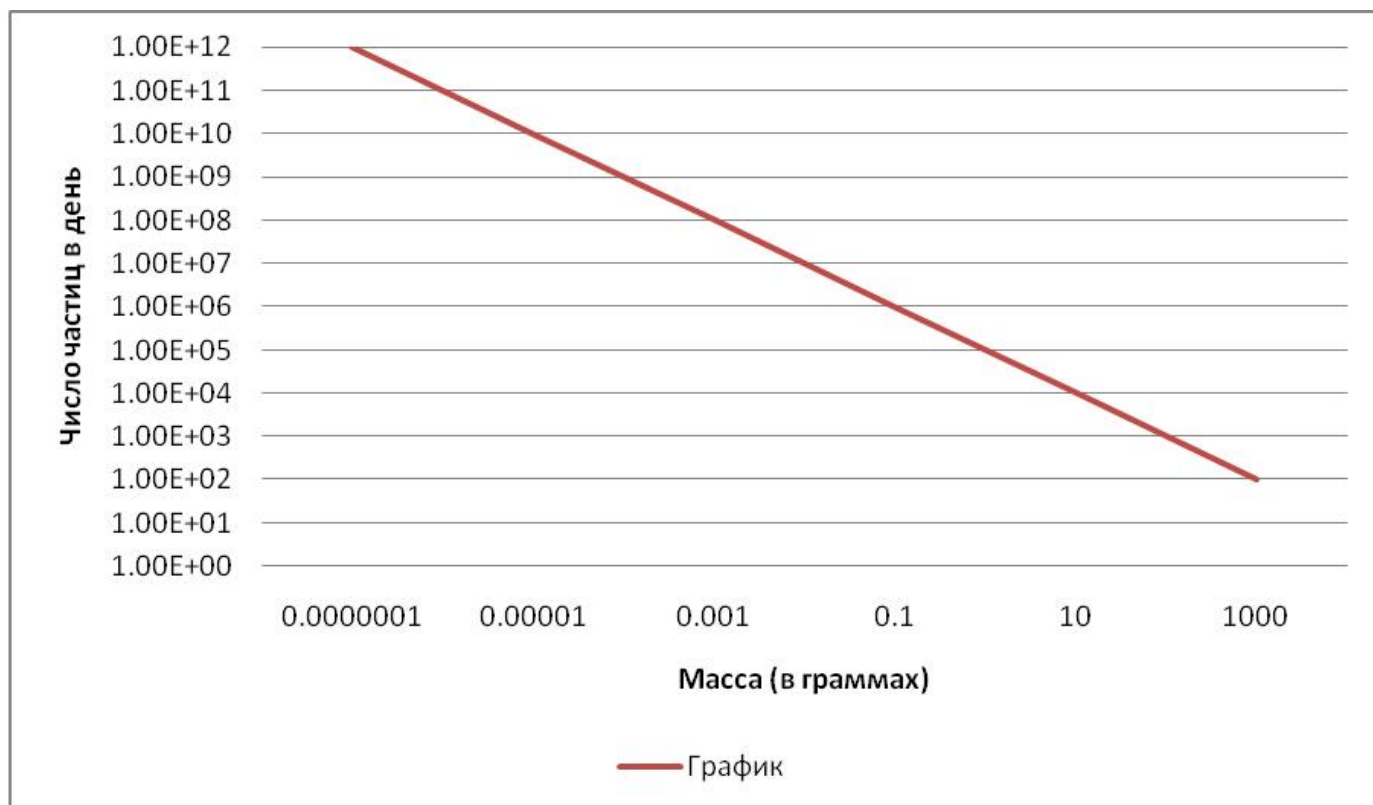


Рисунок 1 - показан график, в которой представлена зависимость числа частиц от массы. Оси координат в логарифмическом масштабе.

Причиной появления метеорных элементов могут являться более 100 тыс. объектов из космоса.

## 1.2 Радиолокационные наблюдения метеоритов

Метеорные следы способны отражать радиоволны и эта способность позволяет изучать метеориты с помощью радиолокационной аппаратуры. Отличие радиолокационных наблюдений от визуальных, фотографических и других в следующем. При визуальных, оптических, телевизионных, фотографических наблюдениях идет регистрация энергии, которую излучает метеор, а при радиолокационных идет регистрация рассеянных или отраженных электронами метеорного следа электромагнитная энергия передатчика радиолокационной станции. Метеориты имеют и собственное радиоизлучение, но излучение слабое и регистрация не осуществляется.

Радиолокационные методы позволяют наблюдать за метеоритами в любое время и при разных погодных условиях. С помощью радиолокационных методов возможно регистрировать намного более слабые метеориты, чем оптическими средствами. Радиолокационные методы незаменимы при изучении очень кратковременных метеорных потоков и дневных потоков.

Характер взаимодействия радиоволн и метеорных следов отличается и делится на несколько типов:

- ненасыщенные, у которых электронная концентрации на единицу длины следа ( линейная электронная плотность) меньше  $10^{13}$  электронов на один метр длины следа. Падающая на них радиоволна проникает в любую точку следа и рассеяние происходит на каждом электроны;
- насыщенные, у которых линейная электронная плотность больше или равна  $10^{13}$  эл/м и внутри следа имеется область, где количество электронов в единице объема превосходит некоторое критическое

значение для данной частоты радиоволн. Радиоволны отражаются от границы этой области, как от металлической поверхности.

Минимальное значение электронной концентрации следа, регистрируемого радиолокатором, работающим на длине волны  $\lambda$ , или на частоте  $f$ , определяется по следующей формуле:

$$N_{\text{кр}} = \frac{\pi m c^2}{\lambda^2 \varepsilon^2} = \frac{\pi m}{c^2} f^3,$$

Здесь  $m = 0,911 \cdot 10^{-30}$  кг и  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл – масса и заряд электрона,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света,  $f = \frac{c}{\lambda}$  – частота радиолокатора. Если частота выражена в МГц, то  $N_{\text{кр}} = 1.24 \cdot 10^{-3} f^2$  эл/м<sup>3</sup>.

Принцип радиолокационного метода заключается в следующем. Антенная система излучает радиоимпульсы. Радиоволна рассеивается метеорным следом, и отраженный сигнал принимается в виде кратковременного импульса (эхо). Принятый сигнал можно наблюдать на экране осциллографа радиолокатора, регистрировать фотографически или вводить в память ЭВМ.

Промежуток времени  $t$  между моментами излучения радиоимпульса и моментом приема отраженного метеорным следом радиоэха позволяет определить дальность метеора  $R$ . Так как скорость  $c$  радиоволн известна, то  $R = \frac{ct}{2}$ .

Метеорит является движущимся явлением, поэтому количество излучаемых импульсов обычно составляет пятьсот или шестьсот в секунду. Образованный движущимся метеорным телом ионизированный след является длинным и прямолинейным, поэтому эхо, отражаясь зеркально, будет возвращаться обратно, если след перпендикулярен к лучу зрения радиолокатора. Показано на рисунке 2.

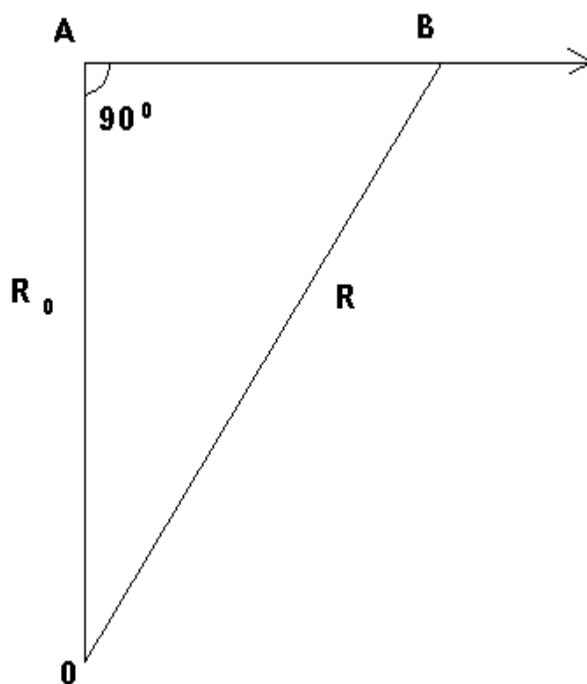


Рисунок 2 – схема отражения радиосигнала от следа метеора.

В точке отражения метеорный след образует прямой угол. При использовании радиолокаторов с длиной волны от восьми до десяти метров получают и не зеркальные отражения от участков следа, находящихся в стороне от точки ортогонального пересечения. Поэтому на экране радиолокатора можно проследить изменение расстояния до метеора со временем. Это дает возможность определить скорость метеора.

Пусть в момент времени  $t_0$  (рисунок2) метеорное тело находилось в зеркальной точке А на кратчайшем расстоянии  $R_0$  от радиолокатора, расположенного в точке О. В момент времени  $t$  метеорное тело будет находиться в точке В траектории на расстоянии  $R$  от радиолокатора. Тогда скорость  $v$  определится по формуле

$$v = \frac{AB}{t-t_0} = \frac{\sqrt{R^2 - R_0^2}}{t-t_0}.$$



Этот способ годится только в случае очень ярких метеоров, дающих так называемое головное эхо, так как только в этом случае можно непосредственно измерять изменение дальности.

Другой метод измерения скорости метеора основан на наблюдении явления дифракции радиоволн от формирующегося в поле зрения антенны радиолокатора ионизированного столба. Сущность метода, основанного на изменении амплитуды отраженного от метеорного следа радиосигнала, можно пояснить следующим образом.

Допустим, что в точке  $O$  (рисунок 3) находится передающая и приемно-регистрирующая радиолокационная аппаратура, работающая на длине волны  $\lambda$ ,  $MM'$  - создаваемый метеором ионизированный столб,  $P$  - точка ортогонального пересечения следа метеора с лучом зрения радиолокатора (зеркальная точка).

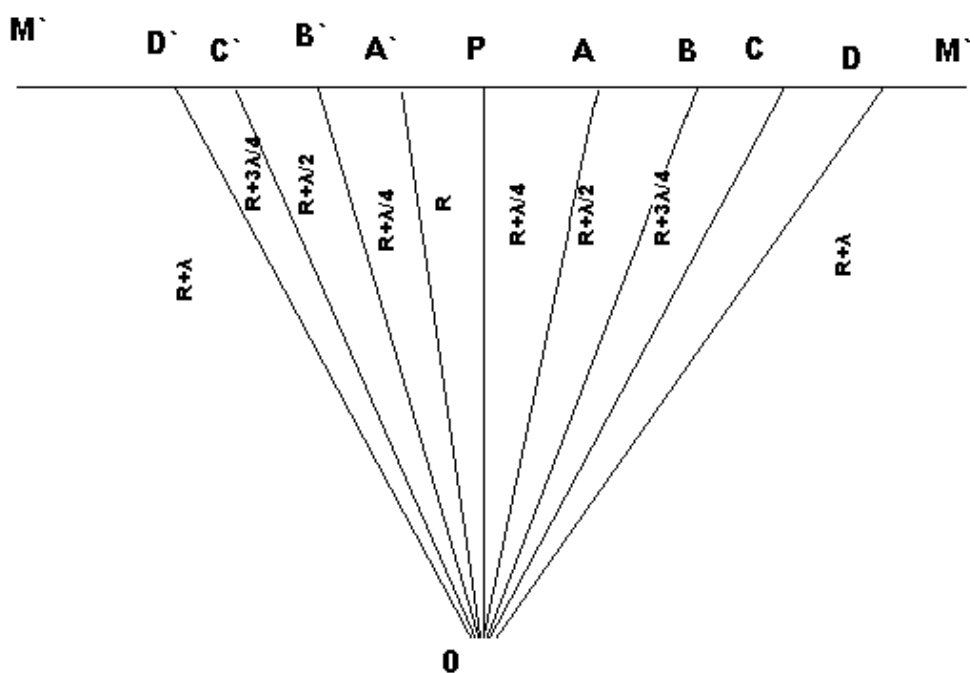


Рисунок 3 – схема образования дифракционных картин при полете метеора.  $O$  - радиолокационная станция,  $MM'$  - траектория метеора.

О к следу метеора  $MM'$  линии  $OA$ ,  $OA'$ ,  $OB$ ,  $OB'$  и т.д. так, чтобы выполнялись условия

$$OA = OA' = R + \lambda/4,$$

$$OB = OB' = R + \lambda/2,$$

$$OC = OC' = R + 3\lambda/4,$$

$$OD = OD' = R + \lambda \text{ и т.д.}$$

Под действием распространяемых радиолокатором радиоволн электроны ионизированного следа  $MM'$  начнут колебаться и рассеивать во все стороны радиоволны. Некоторая часть рассеянных радиоволн будет принята в точке  $O$  и создает изображение эха на экране радиолокатора. Но радиоволны, посланные радиолокатором и отраженные различными участками следа, будут возвращаться в точку  $O$ , пройдя разные расстояния: радиоволны, отраженные от участков  $PA$  и  $PA'$  следа, пройдут расстояния в пределах от  $2R$  до  $2(R + \lambda/4) = 2R + \lambda/2$ , а отраженные от участков  $AB$  и  $A'B'$  - в пределах от  $2(R + \lambda/4)$  до  $2(R + \lambda/2) = 2R + \lambda$ . Таким образом, радиоволна, рассеянная на участке  $PA$ , будет иметь с радиоволной, рассеянной на участке  $AB$ , разность фаз, равную половине волны ( $\lambda/2$ ), или  $\pi$ , как говорят, эти волны будут находиться в противоположных фазах. Поэтому радиоволна с участком  $AB$  будет ослаблять последнюю. И наоборот, волна с участка  $BC$  усилит её. Таким образом, если приходящие в точку  $O$  радиоволны имеют одинаковые (или отличающиеся на целое число длин волн) фазы, то они усиливают друг друга. Если же они имеют противоположные (или отличающиеся на нечетное число полуволн) фазы, то происходит ослабление радиоэха. В результате амплитуда отраженного сигнала со временем будет меняться (рисунок 4).

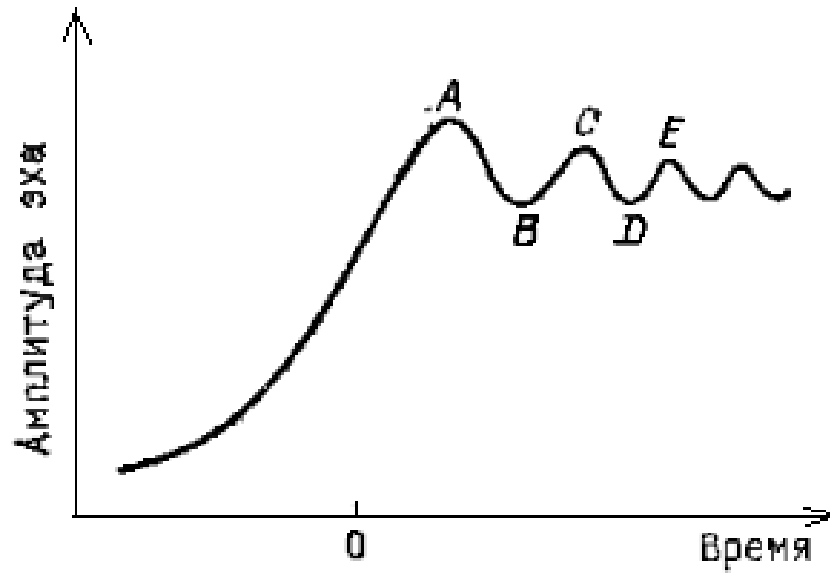


Рисунок 4 – колебания амплитуды отраженного радиосигнала вследствие дифракции радиоволн.

Расстояние между последовательными максимумами и минимумами могут быть определены следующим образом. Из рисунка 3 имеем

$$(PA')^2 = (R + \lambda/4)^2 - R^2.$$

Пренебрегая членом, содержащим  $\lambda^2$ , получим

$$PA' = \sqrt{0,5R\lambda} = 0,7\sqrt{R\lambda}$$

аналогично

$$PB' = \sqrt{R\lambda}$$

Тогда расстояние между первым максимумом и первым минимумом будет

$$PB' - PA' = 0,3\sqrt{R\lambda}.$$

Если это расстояние пройдено метеором за время  $t$ , то его скорость

$$v = \frac{0,3\sqrt{\lambda R}}{t}$$

может быть легко вычислена, так как длина волны радиолокатора  $\lambda$  известна, расстояние до метеорита измеряется, а интервал времени между максимумом и минимумом может быть легко найден по дифракционной картине метеора.

Радиолокационные наблюдения метеоров существенно расширили наши представления о структуре комплекса метеорных тел в окрестности орбиты Земли, о физических процессах, происходящих в ионизованных метеорных следах. Радиолокационные наблюдения метеоров позволили получить новую ценную информацию о многочисленных дневных и ночных метеорных потоках, о метеорной обстановке в окрестности орбиты Земли, а также о ветровых движениях земной атмосферы в метеорной зоне.

Метеорные следы под воздействием воздушных течений, господствующих в верхних слоях земной атмосферы, перемещаются в пространство, или, как говорят, дрейфуют. Радиолокационные измерения дрейфа ионизированных метеорных следов являются незаменимым средством детального изучения скорости и направления верхнеатмосферных ветров в метеорной зоне атмосферы.

При удалении метеорного следа от радиолокационной станции длина волны отражаемых радиосигналов увеличивается, а при приближении уменьшается. Явление изменения длины радиоволны при перемещении источника колебаний (в данном случае метеорного следа), известное под названием эффекта Доплера, позволяет определить скорость перемещения метеорного следа по лучу зрения, а следовательно, скорость по направлению ветра.

Радиолокационные наблюдения метеоров позволили изучить регулярные и нерегулярные движения атмосферы в метеорной зоне.

С целью реализации радиосвязи посредством метеорного канала требуется, чтобы диаграммы антенн передатчика и приемника перекрывались, а в сфере перекрытия было достаточное количество метеорных следов, удовлетворяющих условию зеркальности отражений.

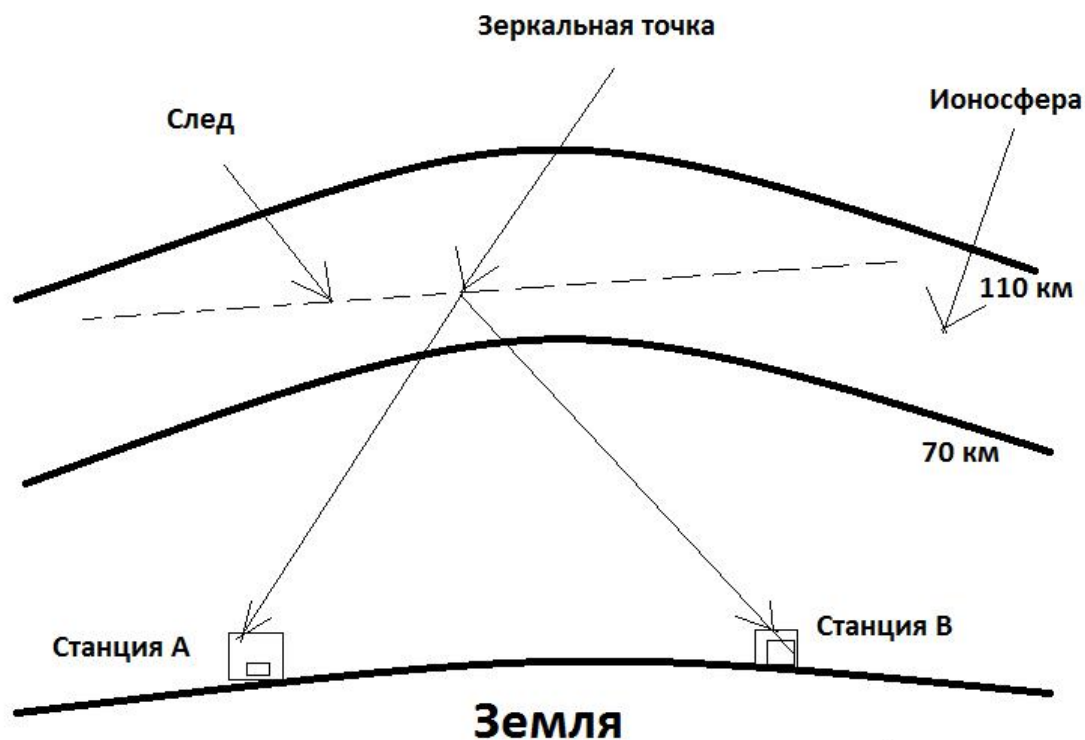


Рисунок 5 – принцип работы метеорных радиосистем.

С целью определения взаимосвязи следует выявить существования подходящего метеорного отпечатка в области перекрытия антенн.

С этой целью одна станция (главная либо Master-station) регулярно излучает в воздух зондирующий сигнал знаменитой формы и амплитуды. Иная база (удаленная либо Remote-station), установив данный сигнал, сообщает назад сигнал, удостоверяющий способности коммуникации.

В случае если центральная станция приобретет данный сигнал, то станции вступают в положение объединения и меняются пакетами сведений вплоть до тех времен, пока имеется след. В случае если за период сеанса взаимосвязи в одном метеорном следе не все сведения оказались транслированными, станции снова будут вступать в режим ожидания подходящего метеорного следа.

В мощь относительной редкости подходящих метеорных отпечатков, действующий цикл (взаимоотношения времени службы системы для передачи

данных к единому времени деятельность системы) равно как норма, является с 1% вплоть до 5%.

Метеорная связь гарантирует механическое скоротечное сжатие значительного количества радиосигналов, в следствии чего же их глушения либо перехватывание становится весьма сложным занятием. Малогабаритные и многоцелевые системы метеорной взаимосвязи, в которых для развития информативных пакетов, буферизации и корректировки погрешностей применяются орудиям вычислительной техники, совершают допустимым формирование значительного количества практических систем передачи и сбора сведений.

При передачи данных при помощи микрометеорного канала применяются 2 комплекта приёмо-передающей техники, расположенных в краях метеорной радиолинии на рисунке 5.

Распоряжающейся ПК функционирует с накопителем данных. Сведения способны поступать при помощи радиомодема, включенной телефонной сети. Материал способен быть внедрен с поддержкой клавиатуры. Точность комплекта данных, а кроме того технические системы работы единичных блоков радиосистемы имеют все шансы проверяться оператором системы посредством монитора. Наружная память способна быть подключена к распоряжающемуся ПК, в случае если следует осуществлять и сохранять крупные объёмы данных. Больше с целью заключения данных применяется печатающее устройство, или данные переходят в наружные устройства посредством радиомодемов.

Передаваемые данные посредством накопителя шифруются в кодере, создавая таким образом именуемый видеосигнал. Модулятор видеосигнал перестроит в радиосигналах, который увеличивается передатчиком. В метеорных радиосистемах как правило применяется совмещенная.

### 1.3 Метеорные системы связи

Подходящие обстоятельства распространения сигналов на метеорных радиоперелиях формируются только в кратковременные промежутки, которые предопределяются продолжительностью жизни ионизированных метеорных следов. Для многих следов эти нужные интервалы времени составляют 0,1-1,5 секунд. При этом прежде неясно, когда на трассе появится благоприятный метеорный след и когда исчезнет. Каким же способом в этих обстоятельствах проводится передача сообщений? Какой принцип действия метеорных систем связи? В отличие от простых систем связи в метеорных системах используется принцип прерывистой передачи информации. Он состоит в следующем: информация с высочайшей скоростью транслируется порциями только в этапы существования на трассе нужных метеорных следов. При их нехватке оборудование функционирует в «ожидающем» порядке, продолжая обработку принятой информации, которая подается потребителю одинаково с средней скоростью. Такой способ передачи сообщений, безусловно, определен прерывистым характером метеорной ионизации атмосферы.

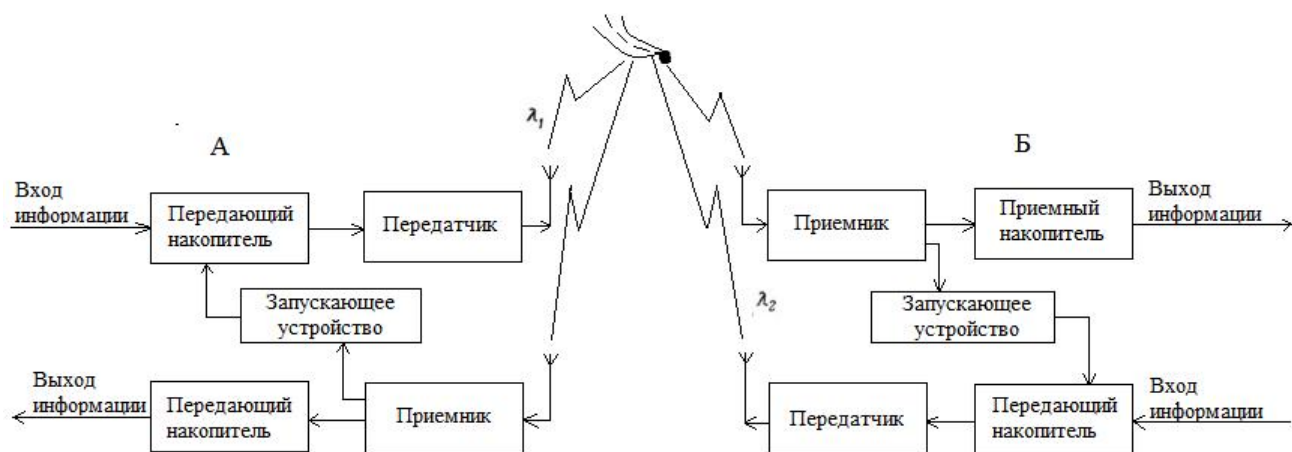


Рисунок 6 – упрощенная блок-схема метеорной системы связи

Кроме передатчика, приемника и антенных приборов простого вида, в состав техники вступают запускающее приспособление, транслирующий и приемный накопители данных.

Запускающее приспособление уготовлено в целях автоматического управления режимом передачи в соответствии с неустойчивыми обстоятельствами распространения сигнала на трассе. Передающий и приемный накопители, представляют значение запоминающих приборов. Их использование обусловлено потребностью совмещать высокоактивную прерывчатую передачу согласно радиоканалу с равномерной подачей уведомлений журналистам на выходе линии связи. С данной целью на передающей стороне техники известие заранее обрабатывается и находится в передающем накопителе в форме, комфортной для незамедлительной высокоскоростной передачи.

В состав передающего накопителя вступают приборы для считывания и переустройства уведомления в сигналы, передаваемые согласно радиоканалу. Приемный накопитель применяется с целью записи принимаемых порций информации и последующего переустройства их в постоянное сообщение. Заключительное подается на оконечные приборы с сбавленной скоростью, обыкновенной для этого типа связи.

Проанализируем линию метеорной связи продолжительной L. Под потенциальной областью связи станем расценивать часть объема ионосферы, урезанного высотой метеорной области и плоскости местного кругозора двух точек направления связи. Оценим масштабы ПОС. Вертикальные масштабы метеорной области урезаны высотой сто десять километров, при этом девяносто процентов абсолютно всех отражений совершается в диапазоне высотой с восьмидесяти двух до 98 километров (слой покрова шестнадцать километров). На горизонтальные масштабы потенциальной области связи влияние основным образом проявляет расстояние среди пункта приема и передачи. На маленьких метеорных радиолиниях (меньше чем 300км) потенциальная область связи захватывает почти целую небесную область, в том числе области за точками приема и передачи. С ростом



длины линии потенциальной области связи снижаются в объемах, локализуясь к середине либо немного в сторону от оси полосы связи.

Воздействие регионального горизонта влияет на длительных линиях связи и ограничивает наибольшее расстояние метеорной связи дальности около 2200 километров.

Полностью объем потенциальной области связи по-разному может быть полезен для связи, имеется малогабаритная область - отражающая область, которая способна быть составлена из 1-го, либо нескольких областей, находящихся по обе стороны радиолинии, а которой концентрируется значительная доля отображающих точек. Формат и местоположение отображающей области в силу больших условий, изменяются равно как в ходе дней, так и сезона выполнения радиосвязи. Подобные отличия поясняются неравномерностью распределения по небесной области радиантов и быстротой метеорных элементов.

Для продолжительных радиолиний типичный тип и расположение отображающих областей приведено на рисунке 7.

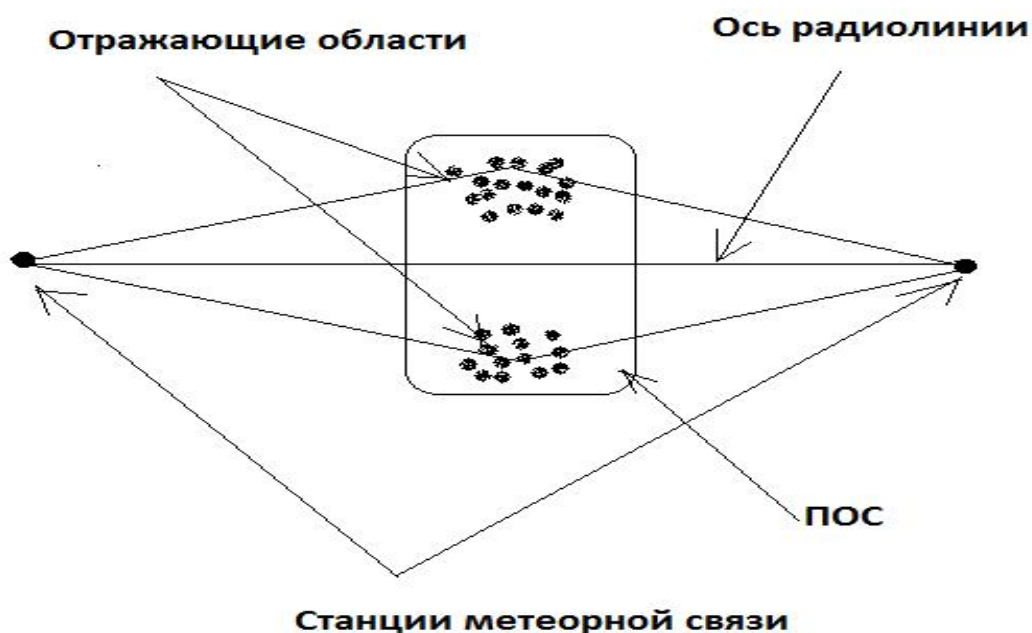


Рисунок 7 – Размещение отображающей области.

В этом случае существует две отображающие области по краям от оси радиолинии. В связи от сезона и времени дней одна из них станет вводить наиболее сильное вложение по количеству радио отражений. Результативность радиосвязи в значительном формируется степенью взаимодействия диаграмм антенн радиолинии с объемами и расположением в области отображающей зоны. Главные условия к диаграммам антенн радиоканала возможно выразить соответствующими способами:

1. Необходимо стараться усмирить боковые лепестки диаграммы ориентированности, которые никак не озаряют отражающую область.

2. Угловые масштабы диаграмм антенн обязаны являться никак не более угловых масштабов отображающей зоны.

#### **1.4 Достоинства и минусы метеорной радиосвязи**

Отображение метровых радиоволн с метеорных следов было найдено приблизительно 80 лет назад. Первоначальные публикации, посвящённые фактическому использованию данного явления в астрономии и ради передачи данных, возникли в 50- начале 60-х годов минувшего столетия. Метеорная связь более 40 лет существовала предметом изучения и исследований экспертов Казанского института. Данный тип радиосвязи не требует спутников для распространения на крупные дистанции (вплоть до 2000км) и в то же время практически никак не находится в зависимости от состояния ионосферы в отличие с коротковолновой радиосвязи. Но данный тип радиосвязи в минувшие года в силу небольшой пропускной возможности был основательно потеснен спутниковой радиосвязью. Но имеется области, в которых характерные черты микрометеорный радиосвязи становятся весьма заманчивыми.

О спутниковой и сотовой взаимосвязи понимают все без исключения, даже не эксперты в сфере радиосвязи о наличии метеорной взаимосвязи известной только не крупному окружению профессионалов.

Из-за результат отображения радиоволн с метеорных следов на непродолжительное время способен появляться канал взаимосвязи, дающий передать данные в интервал вплоть до 2000км. Главная нехватка метеорной взаимосвязи- это её неритмичность. На самом деле, микрометеорный канал появляется случайным способом и содержит случайное время существования. При наиболее полном ознакомлении с принципами работы метеорных концепций взаимосвязи становятся ясным, то что самостоятельно неритмичность никак не считается значимым минусом- довольно припомнить то что предоставление сведений в цифровых сетях с коммутацией пакетов таким же образом ведь считается прерывистой. Прерывистость в целом только прикладывает определенные ограничения в тип передаваемых сведений. В то же время значительным сдерживающим условием в работе метеорных систем необходимо причислить среднюю пропускную способность канала.

На самом деле несколько 10-ов или сотен бит в одну секунду в сопоставлении с миллионами бит в одну секунду, которые переходят по оптоволоконным либо спутниковым каналам связи, воображаются очень небольшой и никак незначительной величиной, так что способен появиться вопрос: а необходим ли в целом такого рода канал связи? Необходимо ли тратить время и старания в его изучение и усовершенствование?

Ответов и противоречий можно привести некоторое количество.

Во-первых, в случае если например, проанализировать абонентскую телефонную линию, то она, находясь занятой, приблизительно 15 мин. в день, так же содержит среднюю пропускную работоспособность в некоторое количество сотен бит в одну секунду. Но никто именно не колеблется в потребности самих абонентских линий и в необходимости улучшения их состояния и увеличения особенности их деятельность. И невзирая на формирования вещания в другом метровом спектре ( больше знаменитого как FM),остается вещание в гектометровых и декаметровых волнах (классические обозначения ДВ,СВ,КВ).Точно таким же

образом, формирование спутникового и проводного TV никак не влечет за собою остановки радиовещания в метровых волнах.

Во-вторых, метеорная взаимосвязанность существовала и остается связью для своеобразных, сверх экстремальных обстоятельств и чрезвычайных обстановок. Она не существовала и не станет соперником классическим и современным системам взаимосвязи, таким как сотовая, спутниковая. Помимо этого, невозможно выпускать из виду, то что многочисленные из названных систем довольно чувствительны для естественных либо других вмешательств в их работу; метеорная взаимосвязанность в данном отношении существенно наиболее устойчива.

В-третьих, метеорный канал - единственный из не многочисленных природных каналов связи, которые имеют оригинальную способность-взаимность. Период распространения радиоволн в непосредственном и противоположном направлении равняется. Данное может дать вероятность создавать на его основании системы синхронизации шкал времени, что согласно собственным верным данным превышает спутниковую концепцию и никак не находятся в зависимости от спутников, а так же общие систем связи и синхронизации. Это одно из более значимых и занимательных использований метеорных связей.

Анализ академических использованных материалов демонстрирует, то что метеорная взаимосвязанность согласно старому применяется, выполняется, вводится и усовершенствуется оборудование. Длятся изучения согласно оптимизации применения метеорного канала связи.

Кроме этого, при исследовании метеорного канала связи, равно как и при всяком научном исследовании, постоянно имеется возможность выявить, что-либо новое, пускай в этот период почти никак не используемое.

## **1.5 Моделирование метеорных радиосистем**

Изучения характеристик метеорной связи предполагает собою довольно непростую тему. Скорость передачи данных  $W$ , количество метеорных отражений  $N$

и прочие информационные свойства находятся в зависимости равно как от значительного числа технических данных (характеристик приемопередающей техники и антенных систем), а так же обладают существенные вариации, определяющиеся большими факторами, которые находятся в зависимости от времени и сезона выполнения испытания. По причине трудности и трудоемкости испытания маловероятно что когда либо подобное изучение станет проведено в целом размере в натурном опыте. Более многообещающим методом формирования аналогичных исследований является имитационное моделирование на точной модели метеорного радиоканала, которая обязана являться откалибрована в базе сравнения с экспериментальными сведениями.

Сущность моделирующего подхода в приложении к модификации метеорного радиоканала способна показать последующей многофункциональной цепью: Сущность моделирующего подхода в приложении к модификации метеорного радиоканала способен показать последующей многофункциональной цепью: Радиант (точка в небесной области). Линия движения метеорита - Микрометеорный след - Метеорный сигнал. Поступление метеорного элемента определяется на основании таблиц распределения радиантов спорадических метеоритов, экспериментально приобретенных на радио полигонах КФУ.

## 2 Программа моделирования радиосистем «Камет».

### 2.1 Общая информация

Программа «Камет» является моделирующей статистической модификацией метеорного радиоканала. Проект создан с целью расчета:

- основных данных метеорного радиоканала: количества и коэффициента заполнения для выбранного часа суток работы;
- характеристик линии метеорной взаимосвязи при определенных параметрах аппаратуры.

Вычисления допустимо осуществлять для метеорных радиолиний, пребывающих в северном полушарии и ориентируемых случайным образом (допустимая протяженность трассы с 0 вплоть до 2200 километров), для случайного месяца и для различного часа радиосвязи.

Оценка входных данных.

Введение информации исполняется в интерактивном порядке. Входные сведения делятся на 4 главные категории.

Астрономические и географические характеристики:

- дата (в проекте приняты таблицы распределения плотности радиантов метеоритов с целью любого месяца);
- местное время выполнения испытания;
- географические местоположение двух точек (или местоположение центрального места, азимут и протяженность трассы).

Характеристики техники:

- частота испускания;
- мощность испускания;
- эффективная полоска;
- вид модуляции - частотная телеграфия либо фазисная телеграфия;
- вероятность погрешности на один бит.

Характеристики антенных систем.

В проекте дано право вычисления диаграммы направления антенн горизонтальной либо вертикальной поляризации, учитывая диэлектрические качества поверхности (подстилающей).

Протокол обмена данными.

В программу был вложен протокол с приостановкой и ожиданием (система сбора данных «Snotel»), обладающий соответствующими форматами:

- формат «Основная (центральная) - удаленная (периферийная)»;
- формат «Периферийная –центральная (согласие, подтверждение)».

Свойства выходящих данных.

Выходные данные состоят из двух блоков. В блоке один для контролирования приводят входные характеристики, а в блоке два результаты расчетов:

- часовое количество зарегистрированных в базу следов;
- коэффициент наполнения;
- пропускные способности канала в двух направлениях.

KAMET предполагает собою вычисляемое ядро и графическое оконное дополнение для ОС Windowsc обычным, подсознательно ясным дизайном. С целью занятия с приложением подразумевается присутствие у пользователя познаний в предметной отрасли.

## **2.2 Средства разработки программы**

«Kamet» выполнен на C++ в среде реализации Embarcadero RADStudioXE2. «Kamet» функционирует на ОС Windows2000/XP/Vista/7.

С целью установки дистрибутива способен являться какой угодно архиватор, предоставляющий возможность формировать самораспаковывающийся SFX-архив под ОС Windows.

С целью генерации документации в данной программе применен распределитель документации Doxygen, распространяемый лицензией GNU GeneralPublicLicense, и программа графов Graphviz(<http://www.graphviz.org>), распространяемый лицензией CommonPublicLicense.

### 2.3 Состав проекта

Программа «Kamet» реализована в среде C++ BuilderXE2. В текстуру вступают два отдельных модуля - устройство вычисляемого ядра системы ModelKamet3 и устройство графического интерфейса к нему КАМЕТ-3. Модули выполнены в отдельных проектах, предоставление сведений между модулями ведётся посредством файлов.

Модули применяют единую папку DATA с целью сохранения сведений и записи итогов.

Согласно умолчанию она располагается в каталоге с осуществимыми файлами, но подход к ней способен быть показ в файле “DataDir.txt”.

Подробные сведения о классах, их свойствах и способах находится в комментариях к начальным программам и в генерируемых документах.

### 2.4 Ядро ModelKamet3

Состав:

- ModelKamet3 - папка, которая включает в себя модуль (ModelKamet3.cpp), которая отвечает за управление, кроме это включает служебные данные.

- CPP-DIR - начальные коды первостепенного элемента (\*.cpp, \*.h).

- Debug\_Build - итог тестовой установки (\*.obj, \*.exe) и DataDir.txt.

- Release\_Build - итог финального проекта (\*.obj, \*.exe) и DataDir.txt.

- docs - файл настройки генератора Doxygen.



- en - документы на английском.
- ru - документы на русском.
- Forms-dir - начальные коды интерфейса (\*.cpp, \*.dfm, \*.h).

## **2.5 Графический интерфейс КАМЕТ\_3**

Состав КАМЕТ\_3:

- КАМЕТ-3 - папка, включает в себя распоряжающееся устройство (КАМЕТ\_3.cpp).
- CPP-DIR - начальные коды добавочной части (\*.cpp, \*.h).
- Debug\_Build - дополнительные данные.
- Debug\_Final - итог сборки и 2 добавочных файла: DataDir.txt, ModelPath.txt(имеющий путь к Modelkamet3.exe)
- Release\_Build - дополнительные данные конечной установки.
- Release\_Final - итог конечной сборки и 2 добавочных файла: DataDir.txt, ModelPath.txt(имеющий путь Modelkamet3.exe)
- docs - документ настройки Doxygen.
- en - документы на английском.
- ru - документы на русском.
- Forms-dir - начальные коды интерфейса (\*.cpp, \*.dfm, \*.h).

## **2.6 Структура папки DATA**

DATA включает начальные сведения, таблицу с целью помощи в расчетах, итоги вычислений. DATA в двух папках одинаковые.

-DATA

- common1.dat- главной документ начальных параметров для определенного вычисляемого эксперимента.

- common2.dat - документ со сведениями о пороге срабатывания приёмника.

- results.dat - итоги вычислений.

- Kamet.ini - документ, имеющий конфигурационные характеристики.

Как правило данный документ не надо готовить к печати. Присутствие потребности его редактирования, направьте к комментариям, присутствующим в данном файле.

- Distributions - представляет собой каталог. Имеет сведения для возведения распределений.

- INPUTD - папка. Включает документ TBTIV2.D со сведениями о притоке элементов для различных месяцев и документ с должностными параметрами в целях модификации.

### **3 Модернизирование программы моделирования, для использования новых банков контуров зеркальности.**

Компьютерное моделирование радиосистем представляет одно из самых молодых и бурно развивающихся направлений теоретической радиотехники. Использование в достаточной степени компьютерной модели позволяет расширить спектр прикладных задач и увеличить информативность исследований по разработке методов адаптации к неизвестным и переменным свойствам среды распространения.

Для исследования метеорный канал представляет собой сложный объект. Метеор является случайным явлением в пространстве и времени. Метеорная связь носит прерывистый характер, а динамический диапазон изменения амплитуд может составлять десятки децибел от метеора к метеору и в течении одного метеорного радиоотражения. Для изучения характеристик системы метеорной связи является целесообразным создание компьютерной модели.

Сущность настоящей работы: совершенствование программы моделирования метеорных радиосистем.

В качестве базовой программы моделирования был использован созданный в лаборатории КФУ программный комплекс КАМЕТ.

Программный комплекс КАМЕТ является имитационной статистической моделью метеорного радиоканала, предназначенной для прогнозирования характеристик систем метеорной радиосвязи с учетом большого количества характеристик радиоканала.

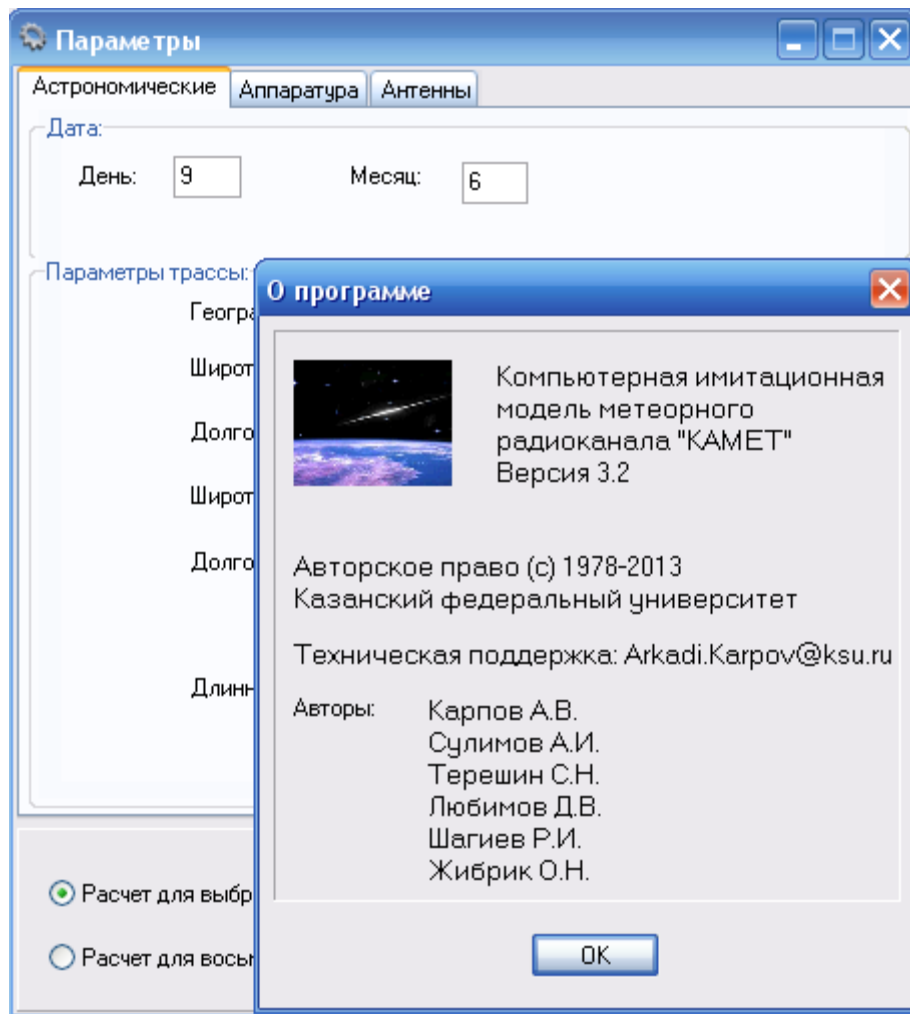


Рисунок 8 – главное окно и сведения программы КАМЕТ.

Проект создан с целью расчета:

- основных данных метеорного радиоканал: количества и коэффициента заполнения для выбранного часа суток работы.
- характеристик линии метеорной связи при определенных параметрах аппаратуры.

В КАМЕТ производится псевдо случайные генерации модели метеорных следов в соответствии с известными закономерностями сгорания метеорных частиц и их эффективные участки регистрируются на высотах от 70 до 110 км.

На рисунке 10 видим рабочее окно модели КАМЕТ, большая часть отражений на высоте 90-100 км.

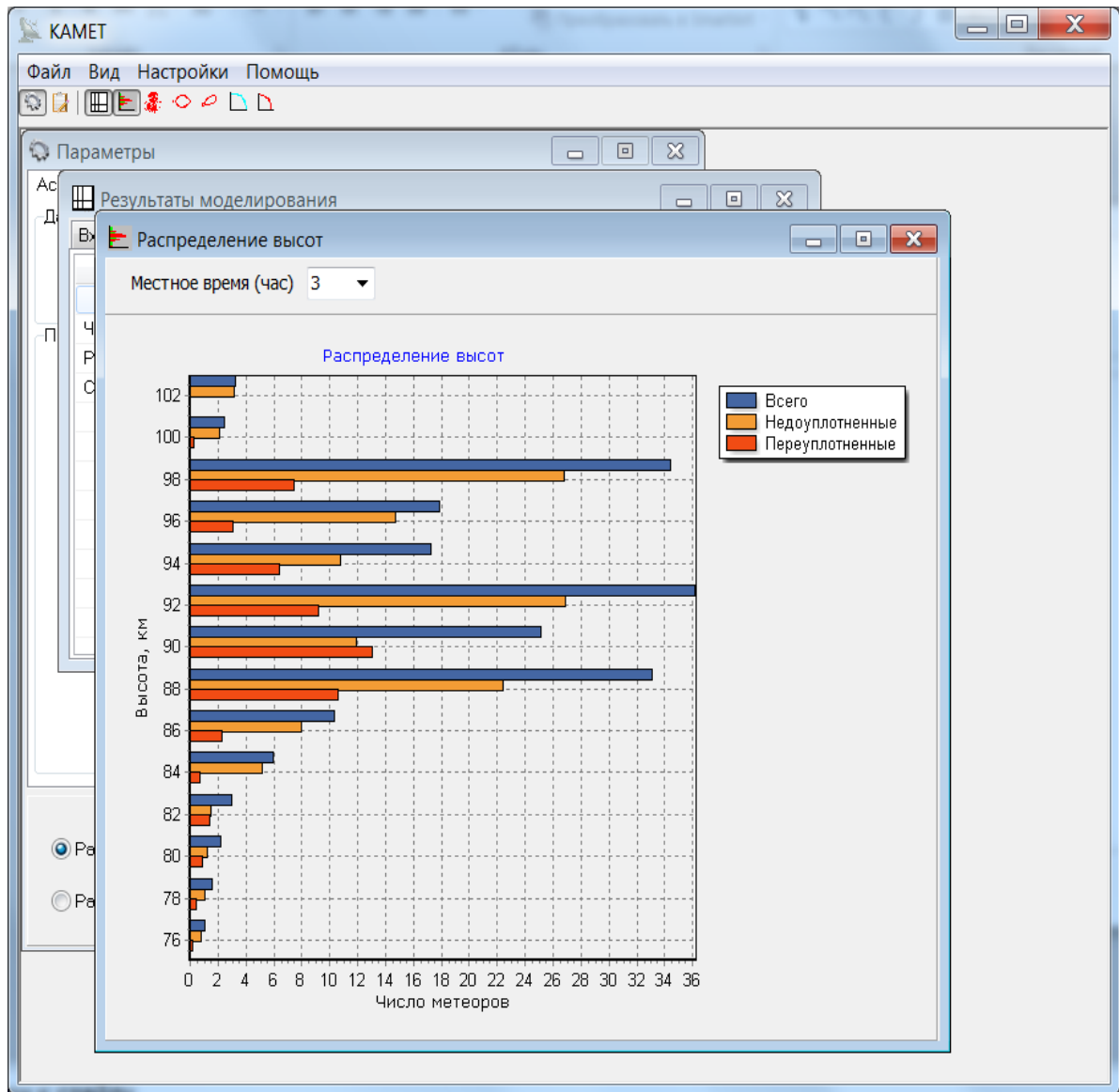


Рисунок 9 – распределение отражений на высотах.

На рисунке 10 примеры старых контуров зеркальности. Эти примеры поясняют, как места пересечения метеорных следов с опорной плоскостью зависят от полудлины трассы и направляющих косинусов.

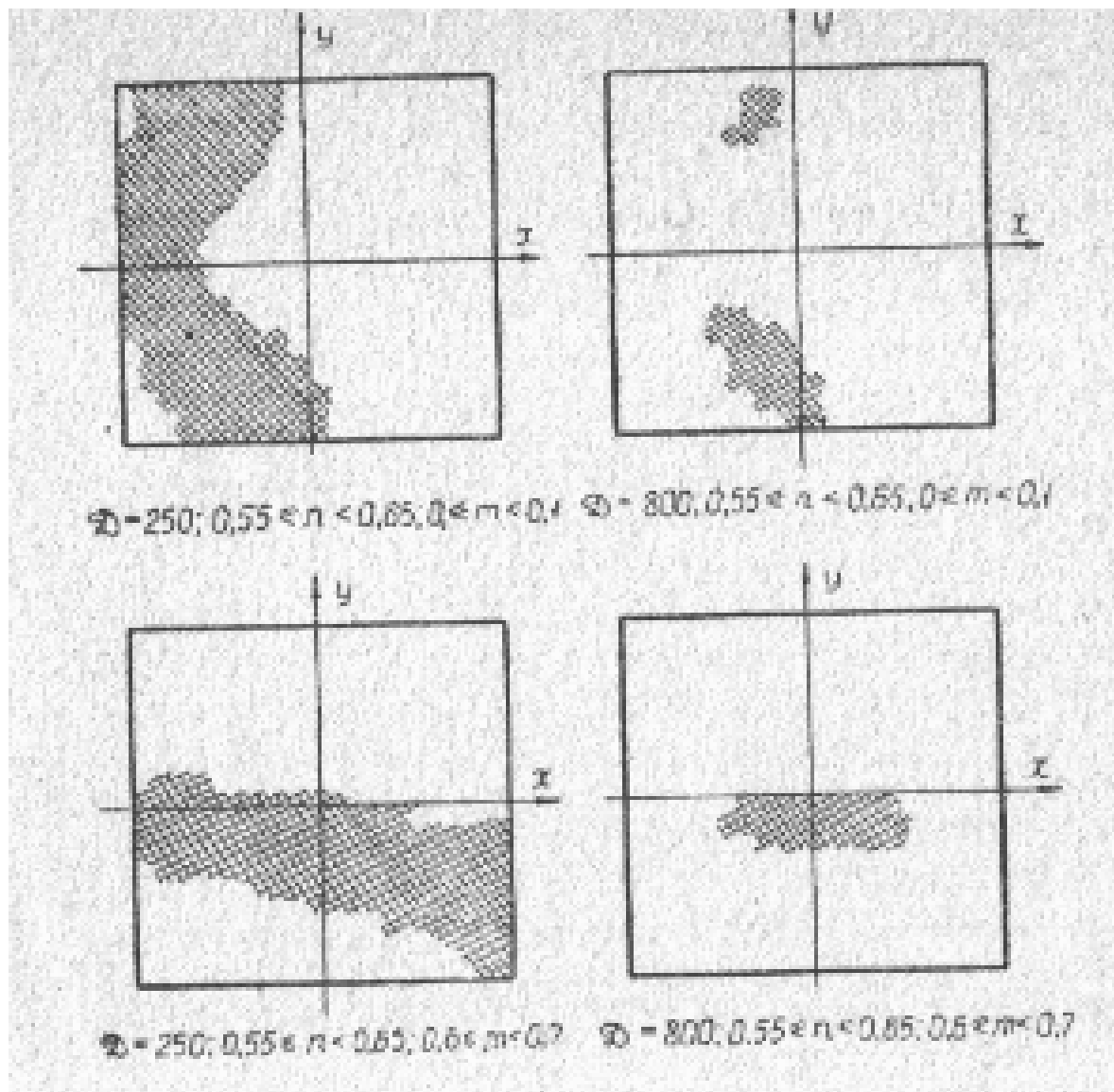


Рисунок 10 – старые контура зеркальности.

Обобщенные результаты радиолокационных наблюдений были записаны в виде таблицы Пупышева. На основании данной таблицы в программе КАМЕТ имитируются метеорные следы.

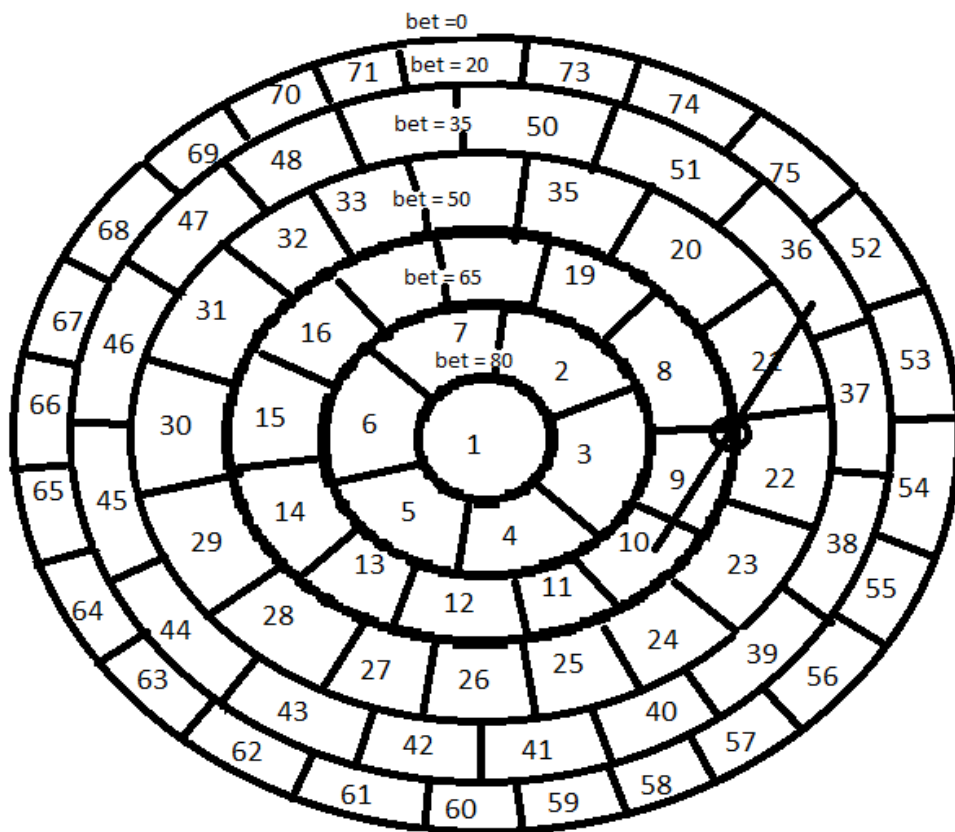


Рисунок 11 - схема элементов данных о притоке частиц в эклиптической системе координат.

Все направления разделены на примерно равные участки, на полосы с указанными границами эклиптической широты. В свою очередь полосы поделены по эклиптической долготе.

Чтобы достаточно полно было сделано тестирование, надо проверить как можно больше вариантов представленных на рисунке 12.

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
Широта середины трассы	58	53	48	43					
Азимут	3	42	48	87	93	132	138	177	
	183	222	228	267	273	312	318	357	
Месяцы	3	6	9	12					
Час	3	9	15	21					

Рисунок 12 – данные для тестирования.

Для того чтобы надежно протестировать качество контуров зеркальности, надо задавать координаты контуров, исходя из того, какая широта середины трассы, азимут и полудлина.

В программе КАМЕТ не предусмотрена возможность задавать азимут, поэтому, при выполнении работы, были выписаны формулы для вычисления координат пунктов по азимуту, средней широте, полудлине трассы.



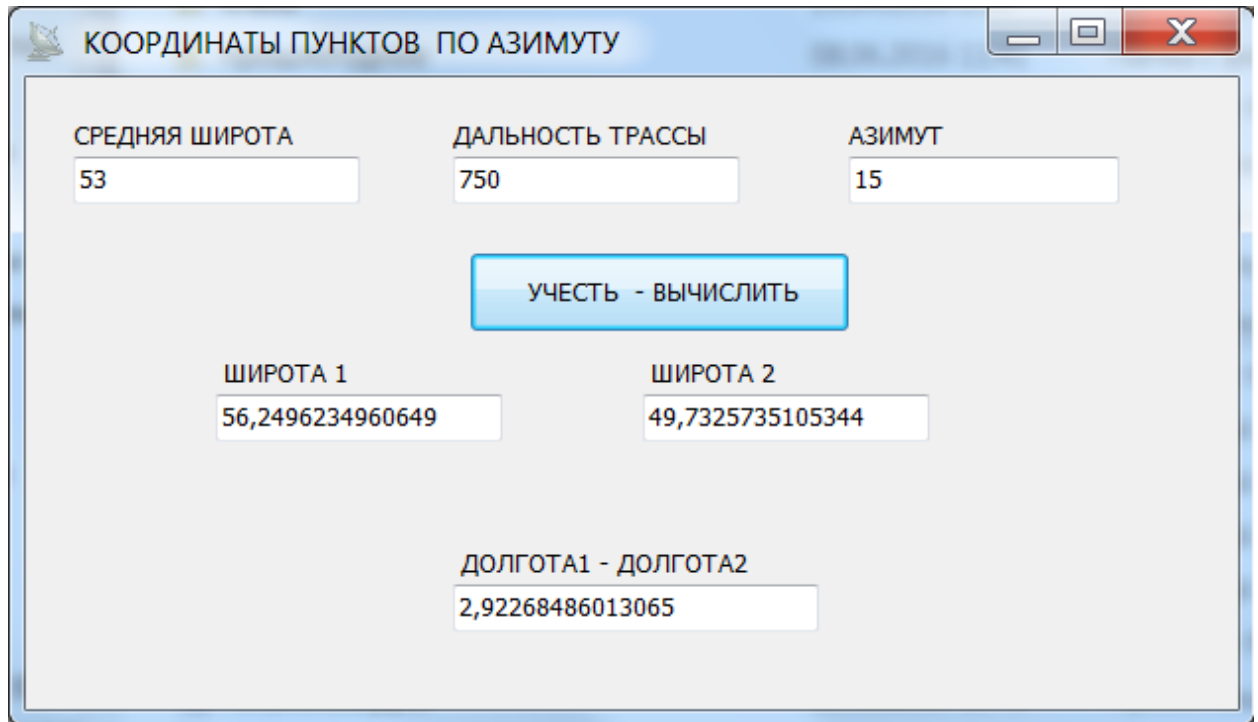


Рисунок 13 – вид окна программы вычисления координат.

$\psi$  – угол азимута трассы;

$$\sin(\Delta\lambda) = \sin\psi * \sin\frac{\gamma}{2} * \left(\frac{1}{\cos\varphi_1} + \frac{1}{\cos\varphi_2}\right);$$

$$\sin\frac{\gamma}{2} = \frac{d}{R_{\text{земли}}};$$

$$d = \frac{dl_{\text{трассы}}}{2}.$$

Надо учесть селективность диаграммы направленности антенн.

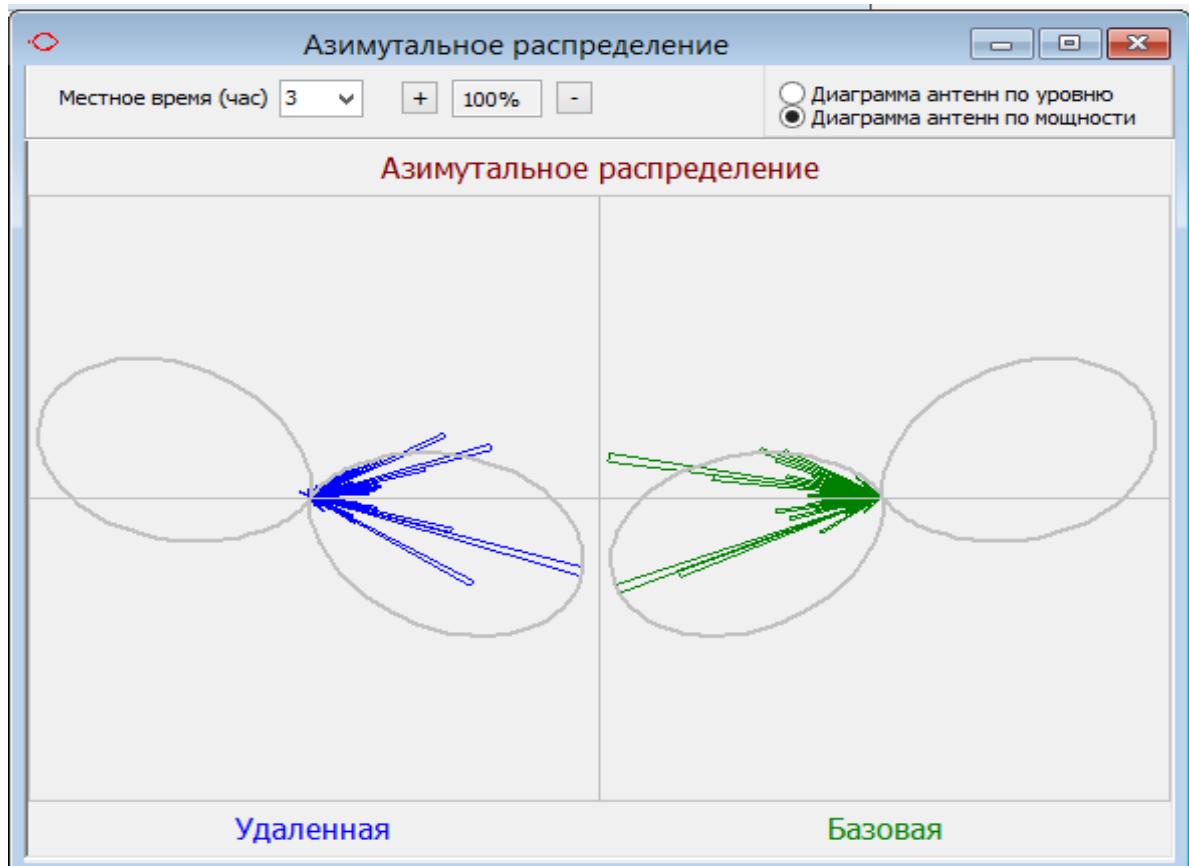


Рисунок 14 – селективность антенн горизонтальной поляризации.

При выполнении расчетов возникали трудности при работе с антеннами горизонтальной поляризации, приходилось подстраивать для разных сеансов, разных часов разные повороты антенн. Процесс работы занимал большое количество времени. Чтобы преодолеть это затруднение была выбрана самая простая антенна вертикальной поляризации, так как её КНД не зависит от азимута и проблема поворота антенн не возникает.



Рисунок 15 – без нежелательной селективности.



Рисунок 16 – распределение по углу места.

После выполнения тестовых расчетов, можно свести полученные данные к итоговой таблице.

D	150	250	350	450	550	650	750	850	950
старые	3,14	2,95	2,4	3,1	4,15	5,1	5,65	5,4	5,6
Новые	0,8	0,7	0,4	0,6	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2

Рисунок 17 – итоговая таблица данных (результаты выражены в %).

Приведенные данные в таблице демонстрируют оценку в процентах недостаточности по учтенному количеству метеорных радиоотражений при применении старых и новых контуров.

## Заключение

В результате выполнения выпускной работы достигнуты решения нескольких этапов:

Освоена информация о метеорном распространение радиоволн и о моделировании метеорных радиосистем.

Изучены необходимые части организации работы программы моделирования метеорных радиосистем «Kamet» и существенные особенности её использования.

Созданы модернизированные версии программы моделирования со старыми контурами и без контуров. Программы записывают промежуточные данные об элементах опорной плоскости.

Составлен комплекс вариантов параметров трасс и сеансов (план тестирования) обеспечивающий достаточную полноту тестирования.

Выбран вариант антенных систем с уменьшенной селективностью.

Получена модернизированная версия программы моделирования «Kamet», в которой используется новый банк контуров зеркальности.

Выполнен набор тестовых вычислений. Полученные результаты показывают лучшее качество нового банка контуров зеркальности.

## Список литературы

1. Карпов, А.В. Компьютерная модель радиосистемы / А.В. Карпов, С.Н. Терешин, А.Р. Курганов, А.В. Наумов – К.: Казанский университет, 1998. – С. 6-22
2. Карпов, А.В. Решение некоторых задач оптимизации алгоритма прогнозирования метеорного распространения радиоволн/ Карпов А.В. // Метеорное распространение радиоволн. – 1980.- Выпуск XVI. – С. 11-14
3. Белькович, О.И. Статистическая теория радиолокации метеоров / О.И. Белькович – К.: Казанский университет, 1971. – С. 7-20
4. Бронштэн, В.А. Физика метеорных явлений / В.А. Бронштэн – М.: Мир, 1981. – С. 57-70
5. Бабаджанов, П.Б. Метеоры и их наблюдение /П.Б. Бабаджанов – М.: Наука, 1987. - 88 с.
6. Мак-Кинли, Д. Методы метеорной астрономии / Д. Мак-Кинли – М.: Мир, 1964. – С. 10-37

```
//-----

#include <vcl.h>
#pragma hdrstop

#include "MainFm.h"
//-----

#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}
//-----

void __fastcall TForm1::knRunClick(TObject *Sender)
{
    double alf, az, dlt, d, fi0, fi1, fi2, e12;

    fi0 = StrToFloat ( mPoleFi0 ->Text );
    fi0 *= GradVRad;

    az = StrToFloat ( mPoleAz ->Text );
    az *= GradVRad;

    dlt = StrToFloat ( mPoleDlt ->Text );
```

```

d = dlt / 2;

alf =d / rz;
alf = atan2( alf, sqrt(1.0-alf*alf) );

fi1 = sin( fi0 ) * cos( alf ) +
      cos( fi0 ) * sin( alf ) * cos( az );

fi1 = atan2( fi1, sqrt(1.0-fi1*fi1) );

fi2 = sin( fi0 ) * cos( alf ) +
      cos( fi0 ) * sin( alf ) * cos( az + M_PI );

fi2 = atan2( fi2, sqrt(1.0-fi2*fi2) );

el2 = sin( az ) * sin( alf ) *
      ( 1 / cos( fi1 ) + 1 / cos( fi2 ) );
el2 = atan2( el2, sqrt(1.0-el2*el2) );

fi1 *= RadVGrad;
fi2 *= RadVGrad;
el2 *= RadVGrad;

mPoleF1 ->Text = FloatToStr ( fi1 );
mPoleF2 ->Text = FloatToStr ( fi2 );
mPoleRazD ->Text = FloatToStr ( el2 );

}

```



## Приложение Б

азимут	месяц	час							
3	март	3							
полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
Широта середины трассы									
58 с контурами	204	242	302	266	314	285	179	52	16
58 без контуров	251	284	347	276	315	286	180	65	17
53 с контурами	238	307	332	384	313	258	152	25	9
53 без контуров	276	336	370	362	314	259	154	41	9
48 с контурами	269	327	389	389	340	242	148	33	28
48 без контуров	328	365	429	398	343	242	149	69	28
43 с контурами	287	318	405	464	398	306	184	46	16
43 без контуров	359	410	431	480	400	307	187	93	19

азимут	месяц	час							
3	март	9							
полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта середины трассы									
58 с контурами	208	265	320	320	268	336	134	90	50
58 без контуров	246	318	354	332	269	349	135	90	50
53 с контурами	225	283	345	351	309	256	163	89	47
53 без контуров	271	316	365	366	310	257	175	93	57
48 с контурами	241	320	390	368	389	290	196	69	6
48 без контуров	305	364	419	381	392	292	201	131	13
43 с контурами	257	315	395	394	437	213	202	40	16
43 без контуров	327	392	431	411	441	199	204	112	16

азимут      месяц      час  
 3              март        15

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
Широта середины трассы									
58 с контурами	47	46	59	60	44	32	22	13	6
58 без контуров	53	54	61	61	45	34	24	13	6
53 с контурами	40	52	56	55	43	30	12	9	6
53 без контуров	48	59	58	57	44	29	17	9	6
48 с контурами	39	50	52	43	34	24	12	8	5
48 без контуров	48	56	54	47	37	27	16	9	5
43 с контурами	38	55	50	44	34	24	14	8	4
43 без контуров	42	61	51	47	37	27	15	8	4

азимут      месяц      час  
 3              март        21

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	47	57	61	57	39	29	14	10	7
58 без контуров	55	64	63	59	40	27	17	10	7
53 с контурами	40	54	56	49	34	24	13	9	4
53 без контуров	48	60	57	51	36	25	15	9	4
48 с контурами	38	49	51	46	36	24	14	10	4
48 без контуров	45	56	53	49	39	26	15	10	4
43 с контурами	41	44	47	47	40	29	17	11	4
43 без контуров	45	51	48	49	42	30	19	11	4

азимут      месяц      час  
 3              июнь        3

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	278	340	406	552	365	319	178	116	28
58 без контуров	356	436	482	584	372	291	180	135	62
53 с контурами	341	415	439	555	402	321	212	115	38
53 без контуров	426	481	476	573	415	324	238	136	77
48 с контурами	329	440	524	574	420	310	195	78	33
48 без контуров	414	508	584	607	436	319	210	127	74
43 с контурами	319	448	585	592	514	277	158	55	98
43 без контуров	430	565	658	616	528	291	160	133	113

азимут      месяц      час  
 3              июнь        9

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	299	416	453	395	422	362	221	65	68
58 без контуров	381	516	522	410	425	371	222	99	68
53 с контурами	372	450	508	421	481	380	293	133	40
53 без контуров	454	528	565	432	488	380	295	167	43
48 с контурами	370	475	547	463	452	314	213	46	27
48 без контуров	445	534	621	497	468	315	213	87	30
43 с контурами	297	406	600	502	447	277	149	63	22
43 без контуров	466	590	680	539	450	266	150	97	22

азимут            месяц        час  
 3                    июнь        15

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	128	150	164	152	117	72	39	33	21
58 без контуров	137	162	172	154	117	67	45	33	21
53 с контурами	122	144	149	136	96	59	29	16	5
53 без контуров	138	160	153	137	97	60	34	16	5
48 с контурами	101	119	135	115	88	65	35	12	2
48 без контуров	118	132	138	117	90	66	39	12	2
43 с контурами	96	109	112	109	85	65	35	15	5
43 без контуров	105	121	114	111	87	66	40	17	5

азимут            месяц        час  
 3                    июнь        21

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	95	130	147	111	79	54	39	31	11
58 без контуров	111	143	152	113	80	55	40	32	11
53 с контурами	96	111	130	99	63	41	20	14	6
53 без контуров	109	123	134	101	66	42	23	16	6
48 с контурами	94	110	105	91	68	46	19	12	4
48 без контуров	105	122	107	92	69	46	22	13	4
43 с контурами	91	102	98	84	71	56	35	17	5
43 без контуров	96	110	100	85	72	58	38	17	5

азимут      месяц      час  
 42            март        3

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
Широта сер. трассы									
58 с контурами	212	297	336	283	196	160	96	50	50
58 без контуров	234	319	354	287	198	161	97	62	51
53 с контурами	260	341	370	392	375	316	217	120	71
53 без контуров	301	377	400	400	377	306	220	150	72
48 с контурами	270	340	361	418	370	255	153	55	8
48 без контуров	323	382	382	423	373	256	162	55	14
43 с контурами	297	361	388	275	309	183	98	51	54
43 без контуров	345	394	423	279	312	184	102	65	54

азимут      месяц      час  
 42            март        9

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	216	300	351	271	202	149	60	31	42
58 без контуров	276	351	378	284	207	150	68	32	42
53 с контурами	255	337	375	350	359	232	128	45	18
53 без контуров	295	373	407	364	375	241	135	107	26
48 с контурами	264	335	427	417	274	193	116	71	41
48 без контуров	342	397	455	425	284	196	117	90	41
43 с контурами	292	350	415	373	472	353	240	107	19
43 без контуров	356	396	471	382	475	340	241	201	24

азимут      месяц      час  
 42            март        21

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	54	69	67	65	40	28	17	8	5
58 без контуров	62	76	68	66	41	29	18	8	5
53 с контурами	47	57	62	56	47	35	14	9	3
53 без контуров	55	63	63	57	49	36	21	9	3
48 с контурами	40	54	62	56	45	31	21	10	3
48 без контуров	51	63	64	60	49	34	22	11	3
43 с контурами	43	53	61	35	40	26	13	5	4
43 без контуров	52	63	63	36	41	27	14	7	5

азимут      месяц      час  
 42            март        15

полудлины трасс	150	250	350	450	550	650	750	850	950
широта сер. трассы									
58 с контурами	44	60	65	60	50	30	16	8	2
58 без контуров	51	67	66	62	51	31	16	9	2
53 с контурами	44	57	60	52	42	28	13	6	1
53 без контуров	51	63	61	54	43	29	17	7	1
48 с контурами	39	53	53	52	37	25	16	9	2
48 без контуров	49	61	55	55	40	26	20	9	2
43 с контурами	39	54	58	32	37	25	17	9	5
43 без контуров	46	61	60	33	39	26	18	9	5