

Министерство образования и науки РФ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский)
Федеральный Университет»**

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Направление: 03.03.03РАДИОФИЗИКА.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Бакалаврская работа)**

**Программная система автоматизации комплекса
вычислительных экспериментов с имитационной моделью
систем метеорной радиосвязи**

Работа завершена:

“ ___ ” _____ 2017 г.

Печенкина А.Г.

Работа допущена к защите:

Научный руководитель:

“ ___ ” _____ 2017г.

Терёшин С.Н.

Заведующий кафедрой:

д.ф.м.н., профессор

“ ___ ” _____ 2017 г.

Овчинников М. Н.

Казань - 2017

Содержание

Введение	3
1. Метеорные радиосистемы и компьютерное моделирование.....	5
1.1 Метеорная радиосвязь.....	5
1.2 Принцип организации метеорной радиосвязи.....	8
1.3 Моделирование метеорных радиосистем.....	9
2.1 Географические координаты точек на поверхности Земли.....	13
2.2 Прямая геодезическая задача	15
3. Программа «Запись банка вариантов».....	17
Заключение.....	22
Список литературы.....	23
Приложение А.....	25
Приложение В.....	31

Введение

В атмосферу Земли непрерывно попадает огромное количество мелких метеорных частиц. Большинство из них сгорает на высоте 80 - 120 километров, оставляя ионизированные следы. Отражения от метеорных следов радиоволнс диапазоном, приблизительно равным 1м, фиксируются специальными радиосистемами метеорной радиосвязи. Эксплуатация метеорной связи имеет следующие преимущества:

- метеорная связь более устойчива при ионосферных возмущениях естественного и антропогенного происхождения (воздействие на ионосферу нагретыми стендами, выбросы промышленности), чем радиосвязь в диапазоне коротких волн;
- в сравнении с другими видами связи она более скрытна и защищена от различных помех;
- возможность построения системы передачи данных от удаленных необслуживаемых объектов;
- показатель эффективности функционирования метеорной радиосвязи выше по критериям эффективность, стоимость для труднодоступных районов и районов со слабо развитой инфраструктурой;
- «мертвая зона» отсутствует в пределах всей зоны обеспечения.

Целью работы является создание программной системы автоматизированного формирования банка данных комплекса вычислительных экспериментов с имитационной моделью систем метеорной радиосвязи.

В представленной работе поставлены задачи:

- Изучить информацию о метеорных радиосистемах и их моделировании;

- Изучить программную систему моделирования метеорной радиосвязи «КАМЕТ», её модули и организацию данных, освоение особенностей её использования;
- Уточнить специальные цели требуемых вычислительных экспериментов и набора дополнительных компонентов системы, составить план вариантов;
- Разработать программу «Запись банка вариантов»;
- Выполнить комплекс вычислительных экспериментов и начальный предварительный анализ результатов.

1. Метеорные радиосистемы и компьютерное моделирование

1.1 Метеорная радиосвязь

Метеорные частицы фиксируются на высоте от 130 километров и ниже, исчезают как правило, на высоте 75 километров. Эта граница меняется в зависимости от массы и скорости частиц, которые проникают в атмосферные слои. Скорость, с которой метеоры входят в атмосферу планеты, составляет приблизительно 11-72 км/с. Вследствие трения об атмосферные слои метеорные тела на высотах 80-110 км сильно разогреваются, плавятся и оставляют ионизированный метеорный след. При метеорной связи радиосигнал отражается от метеорных следов, что позволяет создать протяженные (с дальностью действия до 2000 километров) беспроводные каналы передачи без существенных затрат на запуск и обслуживание спутников. Системы метеорной связи направляют радиоволны диапазоном 40-50 МГц модулированные сигналом данных в направлении ионизированного метеорами газа. Отразившись от ионизированного газарадиосигналы направляются обратно к поверхности планеты.[4]

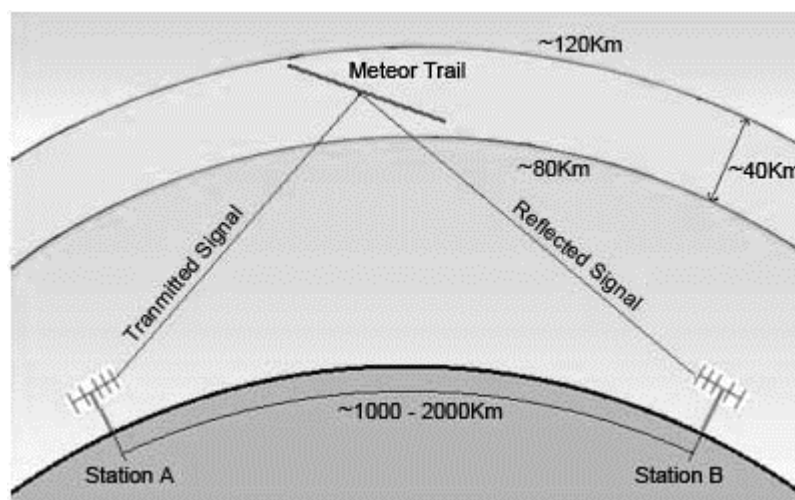


Рис.1 Отражение радиоволн от частиц

Протяженность метеорного следа достигает нескольких километров и зависит от массы метеора, а толщина не превышает нескольких сантиметров. Крупные метеоры, массой несколько килограмм, достигают низших слоев атмосферы, оставляя видимый в течение нескольких десятков секунд длинный метеорный след. Для метеорных радиосвязей наибольшее значение имеют частицы, масса которых превышает 10^{-7} г. Ионизированный след дисперсируется примерно за одну десятитысячную секунды. Диаметр следа изначально равен нескольким сантиметрам. В результате диффузии он со временем увеличивается до нескольких метров. Плотность электронов снижается, и вероятность эффективного отражения радиоволны уменьшается. Так же, как и для ионосферы, для каждого метеорного следа имеется критическая частота. При увеличении диаметра в результате диффузии критическая частота уменьшается. Время отражения от метеорного следа длинных волн больше, чем от коротких.

От насыщенного метеорного следа отражение осуществляется так же, как и от проводящей поверхности, то есть угол падения равен углу отражения. Для радиосвязи это явление благоприятно, так как отражающая поверхность находится в области первой зоны Френеля, а сам след ориентирован и на корреспондента. Уровень отраженного сигнала колеблется во времени. Метеорные следы подвержены воздействию ионосферных ветров, которые влияют на их положение и форму. В результате наблюдаются многократные отражения, приводящие к сильным колебаниям уровня принимаемого радиосигнала.

В большей мере благоприятны для проведения радиосвязи метеорные потоки, так как они появляются периодически в течение года. В период встречи Земли с метеорами число следов, отражающих радиоволны, увеличивается до 400-1000 в час, что приводит к достаточной ионизации фиксированного пространства ионосферы. Однако интервалы ионизации непродолжительны - от доли секунды до нескольких секунд. Не

каждый метеорный след можно использовать для проведения метеорной радиосвязи. Для каждой станции существуют области с большей вероятностью установления радиосвязи. Усилить сигнал можно поворотом в утренние часы антенны на $7 - 10^\circ$ севернее, а вечером на $7 - 10^\circ$ южнее направления на корреспондента. Повороты выполняются двумя корреспондентами. На линиях связи, применяющих рассеяние от метеорных следов, имеется оптимальная угломестная ориентация антенн.

Метеорную радиосвязь целесообразно реализовать в качестве дублирующей, а в условиях активного радиоэлектронного противодействия в качестве основной системы. Данная система результативна при передаче небольших объёмов информации в труднодоступных регионах с низкими энергозатратами в любое время суток и в любой сезон, с допустимым временем ожидания.

Метеорный канал статистически устойчив, что способствует организации надёжных линий связи без какой-либо необходимости смены частот. Низкие энергозатраты и устойчивость к естественным и антропогенным возмущениям в атмосфере Земли создают метеорную радиосвязь применимой для различного рода задач:

- Автоматический удаленный сбор данных;
- Автоматический контроль состояния протяжённых, территориально разнесённых технических систем;
- Связь в труднодоступных и удалённых районах;
- Связь в полярных широтах, подверженных различного рода ионосферным возмущениям.

1.2 Принцип организации метеорной радиосвязи

Комплекс метеорной системы может состоять из одной или несколько базовых, и одной, или несколько удаленных станций. При возникновении на небесной сфере в определенной области метеорного следа, сигнал от него отражается или переизлучается от базовой станции к удаленной. Если сигнал “начало передачи” корректный, то удаленная станция включает свой передатчик и пользуется сформированным каналом передачи для связи с базовой станцией. Характеристики радиосистем метеорной связи определяются информационной скоростью передачи или временем ожидания, требуемого для передачи с заданной надежностью. Это время необходимо для нахождения метеорного следа, который может применяться для передачи сообщения в заданную область пространства, со временем самой длительности передачи. Основные параметры, влияющие на производительность радиосистемы – несущая частота, мощность излучения, коэффициент направленности антенн, пороговая чувствительность приемника и требуемая скорость передачи данных.[5]

1.3 Моделирование метеорных радиосистем

Исследования характеристик системы метеорной связи представляет собой достаточно сложную задачу. Такие результаты как численность метеорных отражений N , средняя скорость передачи информации W и остальные информационные характеристики зависят от различных технических характеристик (параметров приемопередающей аппаратуры и антенных систем), а также имеют значительные вариации, определяющиеся астрономическими факторами, зависящими от времени и сезона проведения эксперимента. Из-за сложности и трудоемкости полевого эксперимента, маловероятно, что когда-либо такое исследование будет проведено в полном объеме. Имитационное моделирование на математической модели метеорного радиоканала (МРК) является наиболее перспективным путем развития подобных исследований. Эта модель должна быть откалибрована на основе сравнения с экспериментальными данными. [5]

Пример: описание имитационной модели «КАМЕТ».

Программа предназначена для вычисления:

- Основных характеристик метеорных радиосистем: численности и коэффициента заполнения для конкретного часа суток работы радиоканала;
- Характеристик линии метеорной радиосвязи при заданных параметрах аппаратуры.

Расчеты рекомендуется проводить для метеорных радиолиний, развернутых в северном полушарии и ориентируемых произвольным образом (возможная длина трассы от 0 до 2200 километров), для выбранного дня и месяца, а также часа проведения радиосвязи.

Основные характеристики данной программы подразделяются на три вида: индивидуальные, информационные и интегральные характеристики.

- Индивидуальные характеристики: длительность радиоотражения, максимальная амплитуда, амплитудно-временная характеристика радиоотражения.
- Интегральные характеристики: число метеорных радиоотражений за час, суммарная длительность радиоотражения в течении одного часа, коэффициент заполнения (рабочий цикл).
- Информационные характеристики: средняя скорость передачи данных, объем данных, переданных за время моделирования.

Характеристики входной информации.

Ввод данных осуществляется способом двухстороннего обмена информацией. Они подразделяются на четыре основные группы параметров.

Астрономические и географические параметры: день и месяц, местное время проведения эксперимента; географические координаты обеих радиостанций.

Параметры

Астрономические | Аппаратура | Антенны

Дата:

День: 9 Месяц: 5

Параметры трассы:

Географические координаты пунктов:

Широта базовой станции: 39,9

Долгота базовой станции: 116,4

Широта удаленной станции: 35,17

Долгота удаленной станции: 121,47

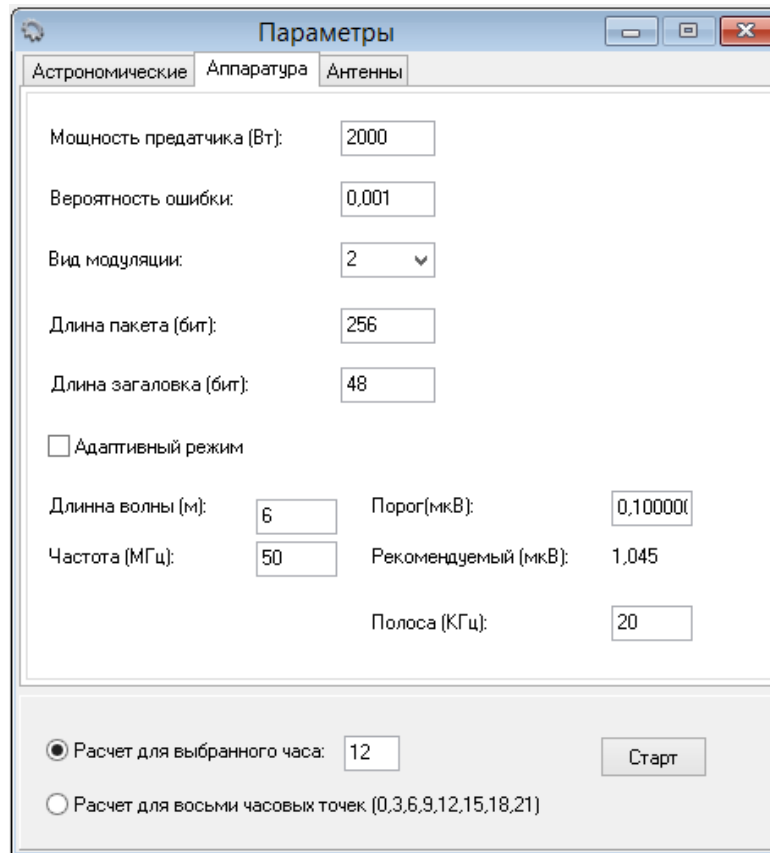
Длина радиотрассы (км): 689,7

Расчет для выбранного часа: 12 Старт

Расчет для восьми часовых точек (0,3,6,9,12,15,18,21)

Рис.2 Астрономические параметры

Параметры аппаратуры: мощность передатчика; частота излучения; эффективная полоса; вид модуляции; вероятность ошибки на 1 бит.



The image shows a software window titled "Параметры" (Parameters) with three tabs: "Астрономические" (Astronomical), "Аппаратура" (Equipment), and "Антенны" (Antennas). The "Аппаратура" tab is active. The window contains the following fields and controls:

- Мощность передатчика (Вт): 2000
- Вероятность ошибки: 0,001
- Вид модуляции: 2 (dropdown menu)
- Длина пакета (бит): 256
- Длина заголовка (бит): 48
- Адаптивный режим
- Длина волны (м): 6
- Порог(мкВ): 0,100000
- Частота (МГц): 50
- Рекомендуемый (мкВ): 1,045
- Полоса (КГц): 20
- Расчет для выбранного часа: 12
- Расчет для восьми часовых точек (0,3,6,9,12,15,18,21)
- Старт button

Рис.3 Параметры аппаратуры

Параметры антенных систем: виды поляризации, высота подвеса антенн, вид подстилающей поверхности, число вибраторов, число рядов, число этажей, поворот антенны, угол задирания, расстояние между рядами, расстояние между этажами, сдвиг фазы между рядами, сдвиг фазы между этажами.

Параметры

Астрономические | Аппаратура | Антенны

Горизонтальная поляризация: Базовая Удаленная

Вертикальная поляризация: Базовая Удаленная

	Базовая	Удаленная
Число вибраторов:	2	1
Число рядов:		1
Число этажей:	1	1
Расстояние между рядами(м):	3,2	3,2
Расстояние между этажами(м):	3,2	3,2
Сдвиг фазы между рядами(град):	0	0
Сдвиг фазы между этажами(град):	0	0
Поворот антенны(град):	0	0
Угол задирания (град)	0	0

Высота подвеса антенн

	Базовая	Удаленная
Высота (м)	6	6
Рекомендуемая (м)	6,319	6,319

Вид подстилающей поверхности:

	Базовая	Удаленная
Сухая земля	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Влажная земля	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Расчет для выбранного часа:

Расчет для восьми часовых точек (0,3,6,9,12,15,18,21)

Рис.4 Параметры антенн

Характеристики выходной информации:

Выходная информация представляет собой два раздела. В первом на контроль приводятся список всех входных параметров, во втором разделе выводятся результаты расчётов: число метеоров, рабочий цикл, скорость передачи данных.

Результаты моделирования

Входные параметры | Результаты моделирования

Входные параметры	Результаты расчетов для 3 часов		
	Все радиоотражения	Недоуплот.	Переуплот.
Число метеоров	852	775	77
Рабочий цикл (%)	4,161	3,126	1,035
Скорость передачи (бит/сек)	96		

Рис.5 Результаты моделирования

2. Географические координаты точек на поверхности Земли

Если спроектировать точку M земной поверхности на небесную сферу по направлению отвесной линии ZZ' , то сферические координаты зенита Z этой точки называются географическими координатами: географической долготой λ и географической широтой ϕ . Долгота и широта точек на поверхности Земли заданы относительно начального меридиана и земного экватора.[3] Земной экватор – это плоскость, перпендикулярная оси вращения планеты. Начальный, или нулевой меридиан - условно выбранный меридиан, от которого ведется счет географических долгот на земном шаре. За него берется точка, проходящая через Гринвичскую обсерваторию в Великобритании.

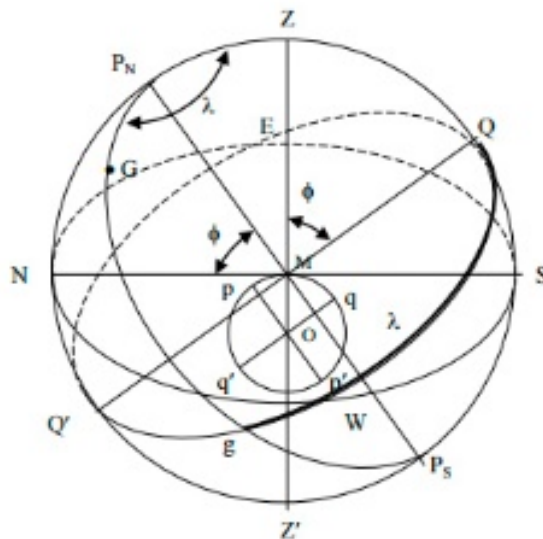


Рис.6 Географическая система координат [3]

В геодезической астрономии определены астрономические широта и долгота, ϕ и λ , а также астрономический азимут направления A . Астрономическая широта ϕ - это угол между плоскостью экватора и местным направлением зенита. Широта отсчитывается от экватора к

северному и южному полюсу от 0° до 90° . Астрономическая долгота λ – двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью текущего астрономического меридиана. Долгота отсчитывается от начального (гринвичского) меридиана к востоку (λ_E) и к западу (λ_W) от 0° до 180° . Астрономический азимут направления Астрономический азимут A (от арабского *assimt*) - двугранный угол между плоскостью астрономического меридиана заданной точки и вертикальной плоскостью, проходящей в конкретном направлении, отсчитываемый от направления на север по ходу часовой стрелки. Географические координаты на сегодняшний день принято записывать в $^{\circ}$ градусах в виде десятичной дроби.

2.2 Прямая геодезическая задача

Прямая геодезическая задача — это определение координат точек на небесной сфере через азимут, длины трассы и широты середины трассы. Решение этой задачи осуществляется матричным методом и формулами нахождения приращений и определения координат.

Рассмотрим две декартовы системы координат: $Ox_c y_c z_c$ и $Ox_n y_n z_n$:

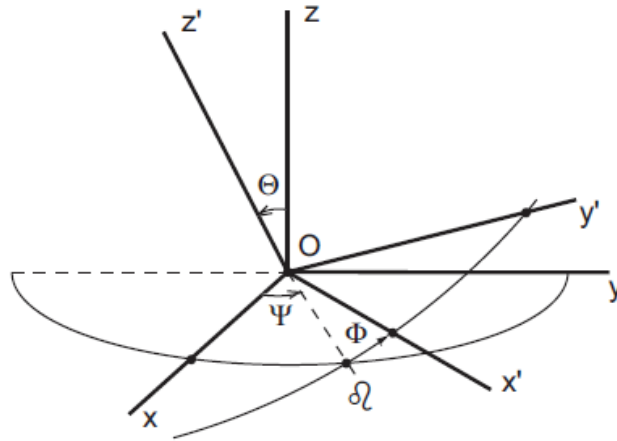


Рис.7 Системы координат [3]

Найдем матрицу вращения. Для этого сначала повернем систему $Ox_c y_c z_c$ относительно оси Oz_n на угол Ψ . Вращение относительно линии узлов (которая теперь совпадает с осью Ox) на угол Θ приведет к совмещению оси Oz_c с осью Oz_n . И, наконец, поворот относительно оси Oz_n на угол Φ переводит ось Ox_c в положение Ox_n (Oy_c в Oy_n соответственно). Все повороты — положительные. [3]

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} \text{ — матрица вращения. Отсюда}$$

берем формулы для создания программы решения геодезической задачи:

$$x_c = \sin d, \quad y_c = 0, \quad z_c = \cos d. \quad \alpha = A - 0.5 * \pi;$$

$$x_{n1} = x_c * \cos \alpha + y_c * \sin \alpha; y_{n1} = -x_c * \sin \alpha + y_c * \cos \alpha; z_{n1} = z_c;$$

$$\theta = Sh - 0.5 * \pi; x_{n2} = x_{n1}; y_{n2} = y_{n1} * \cos \theta + z_{n1} * \sin \theta;$$

$$z_{n2} = -y_{n1} * \sin \theta + z_{n1} * \cos \theta;$$

$S = \arcsin(z_{n2})$ — широта; $R = \arctg(y_{n2}/x_{n2})$ — разница долгот.

В среде программирования LAZARUS была создана программа решения этой задачи:

The screenshot shows a window titled "FM_GLAV" with the following interface elements:

- Input field "СРЕД ШИРОТА" (Average Latitude) with the value 55.
- Input field "АЗИМУТ" (Azimuth) with the value 30.
- Input field "ДЛИНА" (Distance) with the value 650.
- A button labeled "ПРЯМАЯ" (Direct).
- A dropdown menu currently showing "ПРЯМАЯ".
- Output field "ШИРОТА 1" (Latitude 1) with the value 57,5025055263536.
- Output field "ШИРОТА 2" (Latitude 2) with the value 52,4439992162019.
- Output field "РАЗНОСТЬ ДОЛГОТ 1" (Longitude Difference 1) with the value 2,71992191404355.
- Output field "РАЗНОСТЬ ДОЛГОТ 2" (Longitude Difference 2) with the value -2,39721492534796.

Рис.8

В пользовательском интерфейсе представлены формы ввода численных данных типа геосредней широты, азимута, длины радиотрассы. Кнопка «прямая» служит для вывода результата вычисления, который будет представлен в формах в нижней части окна.

Полный код программы в приложении А.

3.Программа «Запись банка вариантов»

При формировании плана исходных данных для автоматической настройки высоты подвеса антенны, выразим ее через дальность радиотрассы:

$$\gamma = \frac{D*0,5}{R_{\text{земли}}} ; d = R_{\text{земли}} * \sin \gamma ;$$

$$rd = \sqrt{R_{\text{земли}}^2 - d^2} ;$$

$$g2 = \arctg \frac{R_{\text{мет}} - rd}{d} - \arctg \frac{d}{rd} ;$$

$$h_{\text{рек}} = \frac{\lambda}{4 * \sin g2}.$$

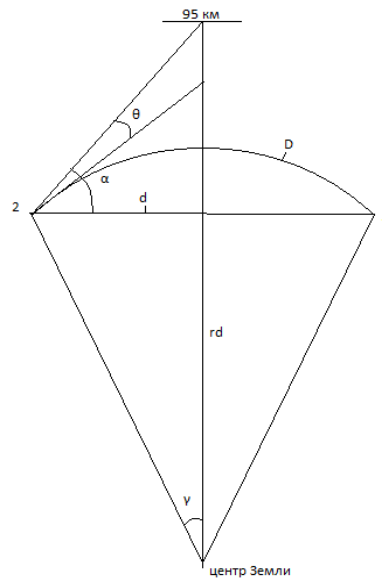


Рис.9

Автоматическая настройка антенны необходима для того, чтобы лепесток на диаграмме всегда был направлен на существенную область радиоотражений от метеорных следов:

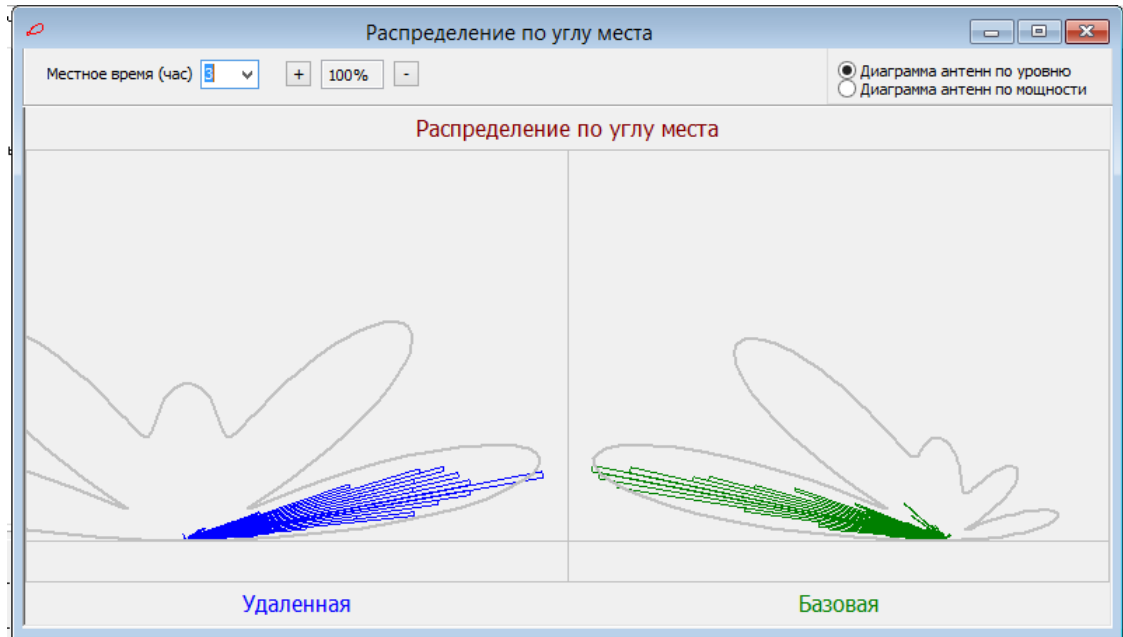


Рис.10 Диаграмма антенн

Для определения более значимых результатов моделирования сделаны по три версии высоты подвеса антенны: с увеличением на 10%, на 4% и на - 2% высоты.

В LAZARUS составляем план исходных данных:

ЗАДАЕМ ЗНАЧЕНИЯ:	
ДЛИНА	
НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧ.	600
ШАГ	100
КОНЕЧНОЕ ЗНАЧ.	700
ШИРОТА	
НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧ.	45
ШАГ	5
КОНЕЧНОЕ ЗНАЧ.	50
АЗИМУТ	
НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧ.	5
ШАГ	10
КОНЕЧНОЕ ЗНАЧ.	15
ДНИ ГОДА	
НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧ.	11
ШАГ	14
КОНЕЧНОЕ ЗНАЧ.	25

СОЗДАТЬ

Рис.11 Программа формирования исходных данных

В формах вводятся данные длины, широты, азимута и дней года.

При нажатии на кнопку «создать» происходит вывод списка возможных вариантов исходных данных и запись их в папку «zvibr»:

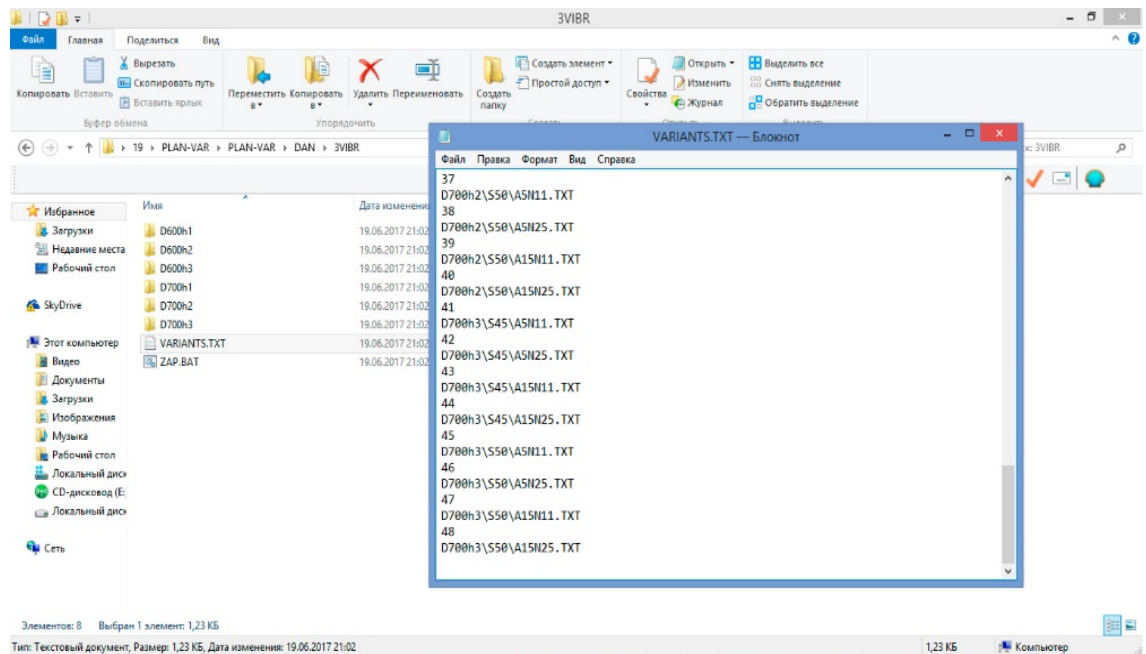


Рис.12 Вид папки zvibr

Вычисление результатов моделирования метеорной радиосвязи:

Запускаем файл ZAP.BAT, архивируем и записываем результаты эксперимента в папку rez:

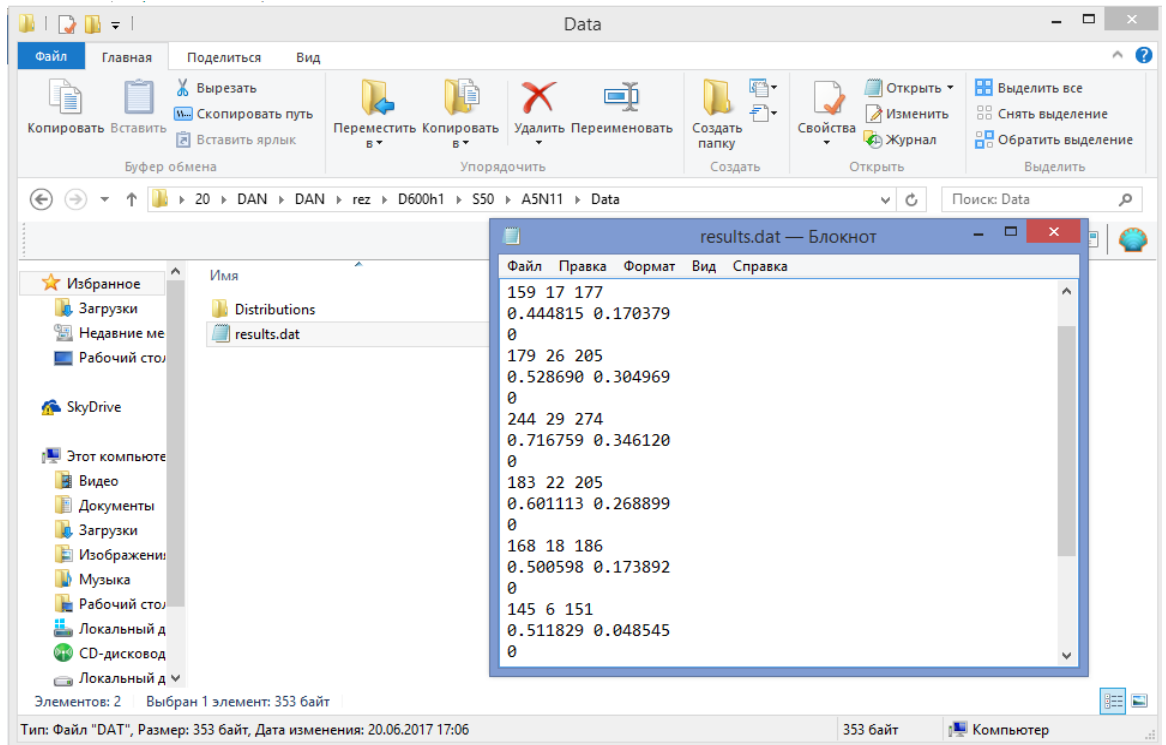


Рис.13 Вид папки rez

Для того чтобы получить сведения о том, в каких группах направлений были существенные части численностей радиоотражений от метеорных следов, в модель метеорной радиосвязи был вписан дополнительный компонент вычислений распределений по группам направлений.

Поделим полусферу на четверти всех возможных направлений:

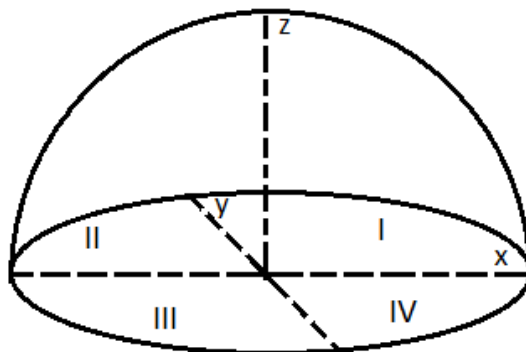


Рис.14 Полусфера

Каждую из этих 4 частей делим на 60 групп направлений.

Для горизонтальных направлений: 0.1 - 0.35 - 0.45 - 0.55 - 0.65 - 0.75 - 1.

Для вертикальных: 1 – 1011 – 20 21 – 30 31 – 4041 - 5051 – 60.

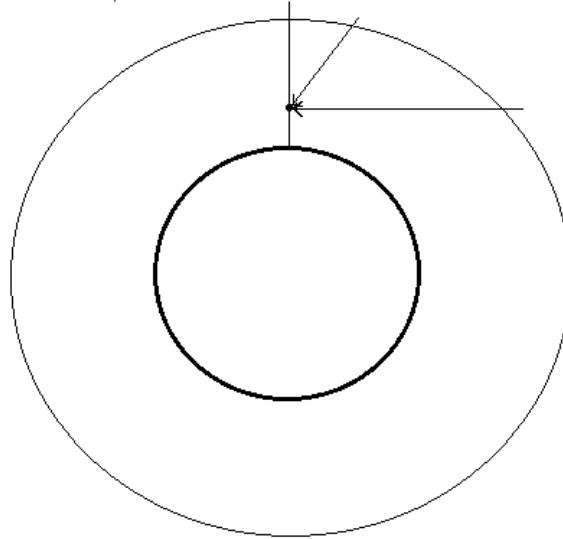


Рис.15 Направления метеоров

По группам с заданными таким образом границами выявляются и записываются в дополнительный набор результатов распределения численности радиоотражений.

Начальный предварительный анализ результатов:

Табл. 1 Распределения группы направления

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,530978	0	0	0	3,64451	0	1,08258	10,4152	0	0,270467
0,1	0	0	2,27066	0	0	0	0	0	0	7,39204
0,2	0	0	0	0	0	9,88002	0	52,5776	0	0
0,3	0	0	2,01811	0	0	0	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0	0	15,2087	0	90,8369	0	0
0,5	0,204296	0	0	3,76621	0	10,4561	0	0	0	0

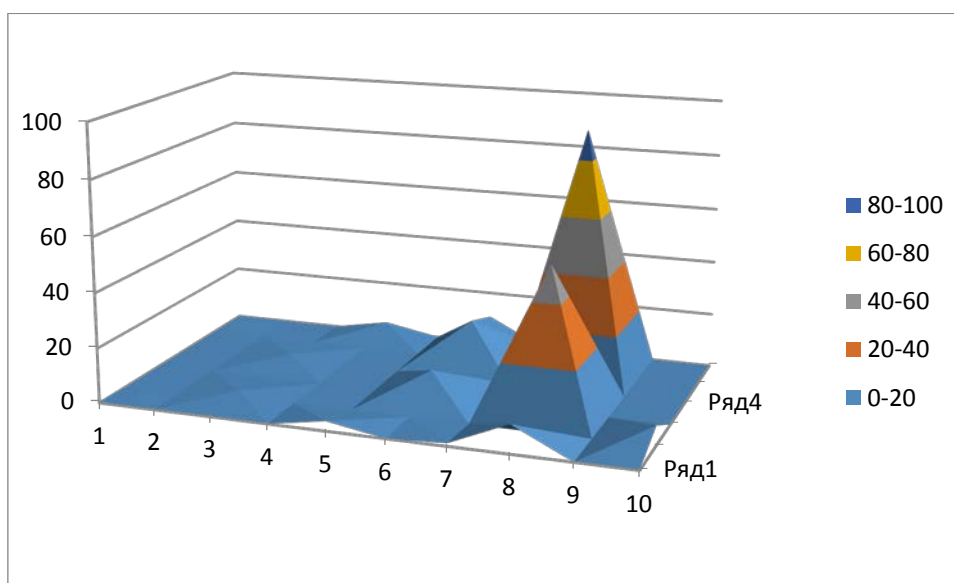


Рис. 16 Распределения группы направлений

На рисунке представлен частный пример распределения численности групп направления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении бакалаврской работы:

- Изучена программная система моделирования метеорной радиосвязи «КАМЕТ», освоены особенности её использования.
- Уточнены специальные цели требуемых вычислительных экспериментов и набор дополнительных компонентов системы, составлен план вариантов.
- Освоена система программирования «LAZARUS». Разработана программа «Запись банка вариантов».
- Выполнен комплекс вычислительных экспериментов и начальный предварительный анализ результатов.

Сформированный банк результатов системы моделирования «КАМЕТ» в дальнейшем может быть использован в запланированном изменении алгоритма моделирования.

Список литературы

1. Гетман В. С. «Внуки Солнца». М., 1989г.
2. Черенкова Е. Л. «Распространение радиоволн» - «Радио и связь», Москва, 1984г.
3. Жаров В.Е. «Сферическая астрономия» - Фрязино, 2006
4. Гиенко Е.Г. «Астрометрияи геодезическая астрономия» - Новосибирск: СГГА, 2010.
5. Карпов А.В. А.Р. Курганов, А.В. Наумов, С.Н. Терешин «Компьютерная модель радиосистемы», - Казань, 1998, -40 с.
6. Алексеев Е.Р , Чеснокова О.В, Кучер Т.В. FreePascaleLazarus: Учебник по программированию, Издательский дом ДМК-пресс-2010, 442 с.
7. Протасевич Е.Т., Шишковский В.И. «О лабораторном моделировании рассеяния радиоволн метеорными следами» - Томский политехнический университет, 2004г

Приложение А

Текст модуля главной формы программы решения прямой геодезической задачи:

```
unit GLAV_FM;

{$mode objfpc}{$H+}

interface

uses

    Classes, SysUtils, FileUtil, Forms, Controls, Graphics, Dialogs, StdCtrls;

type

{ TFM_GLAV }

TFM_GLAV = class(TForm)
    KN_GO: TButton;
CBox: TComboBox;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    POLE_RAZN1: TEdit;
    POLE_RAZN2: TEdit;
    POLE_SHIR: TEdit;
    Label1: TLabel;
    POLE_AZIM: TEdit;
    POLE_DLINA: TEdit;
    POLE_SHIR1: TEdit;
```

```
POLE_SHIR2: TEdit;
procedureCBoxEditingDone(Sender: TObject);
procedureFormCreate(Sender: TObject);
procedureKN_GOClick(Sender: TObject);
private
{ private declarations }
public
{ public declarations }
end;
var
    FM_GLAV: TFM_GLAV;
implementation
    Uses math;
    {$R *.lfm}
    { TFM_GLAV }
CONST
    RZ = 6371;
    GVR = PI / 180;
    RVG = 1 / GVR;
    KMVR = 1./RZ;
    KMVGR = KMVR * RVG;
    C = 6399698.90178;
    C_S2 = 0.006738525415;
    RSEC = 206264.806247096;
    STR_0 = ' ПРЯМАЯ ';
    STR_1 = ' ОБРАТНАЯ ';
VAR
    N_VAR : WORD;
```

FLAG : BOOLEAN

;

FUNCTION P0 (SH, A, D : DOUBLE; VAR S1, S2, R1, R2 : DOUBLE):
BOOLEAN;

VAR

D0, D0R, S : DOUBLE;

SIN_31, SINR , S31 : DOUBLE;

XN1, XN2, YN2, YN1, ZN1, ZN2, ZC, XC, YC : DOUBLE;

ALF, TET : DOUBLE;

BEGIN

SH := SH * GVR ;

A := A * GVR ;

D := 0.5*D;

D0 := D * KMVGR;

D0R := D * KMVR;

XC := SIN (D0R);

YC := 0; ZC := COS (D0R);

ALF := A - 0.5*PI;

XN1 := XC * COS(ALF)+ YC * SIN (ALF);

YN1 := -XC * SIN (ALF) + YC * COS (ALF);

ZN1 := ZC;

TET := SH - 0.5*PI;

XN2 := XN1 ;

YN2:= YN1 * COS(TET)+ ZN1* SIN (TET) ;

ZN2 := -YN1* SIN (TET) + ZN1 * COS (TET)

;

S31 := ARCSIN (ZN2);

```

S1 := S31 * RVG;
R1 := ARCTAN2 ( YN2, XN2 ) ;
R1 := 90 + R1 * RVG;
XC := -SIN ( D0R );
ALF := A - 0.5*PI;
XN1 := XC * COS( ALF )+ YC * SIN ( ALF );
YN1 := -XC * SIN ( ALF ) + YC * COS ( ALF );
ZN1 := ZC;
TET := SH - 0.5*PI;
XN2 := XN1 ;
    YN2:= YN1 * COS(TET )+ ZN1* SIN ( TET ) ;
ZN2 := -YN1* SIN ( TET ) + ZN1 * COS ( TET )
;
S31 := ARCSIN ( ZN2 );
S2 := S31 * RVG;
R2 := ARCTAN2 ( YN2, XN2 ) ;
R2 := 90 + R2 * RVG;
END
;

FUNCTION P1 ( S1, DOL1, S2, DOL2 : DOUBLE; VAR SH, A, D : DOUBLE
): BOOLEAN;
VAR
S : DOUBLE;
BEGIN
SH := SH * GVR ;
A := A * GVR ;

```

```

D := 0.5*D;

S := 1000 * D * RSEC / C;
END
;
procedureTFM_GLAV.CBoxEditingDone(Sender: TObject);
begin
IF CBOX.ITEMINDEX = 0 THEN
    BEGIN    N_VAR := 0;
KN_GO.Caption:= STR_0
end
    ELSE
    BEGIN    N_VAR := 1;
KN_GO.Caption:= STR_1
end
end;
procedureTFM_GLAV.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    N_VAR := 0;
KN_GO.Caption := STR_0;
end;
procedureTFM_GLAV.KN_GOClick(Sender: TObject);
VAR
    S1, S2, RD1, RD2, DL, AZ, SS : DOUBLE;
begin
IF N_VAR = 0 THEN
    BEGIN
SS := STRTOFLOAT (POLE_SHIR.Text );

```

```
AZ := STRTOFLOAT (POLE_AZIM.Text );
```

```
DL := STRTOFLOAT (POLE_DLINA.Text );
```

```
FLAG := P0( SS, AZ, DL, S1, S2, RD1, RD2 );
```

```
    POLE_SHIR1.Text := FLOATTOSTR(S1);
```

```
    POLE_SHIR2.Text := FLOATTOSTR(S2);
```

```
    POLE_RAZN1.Text := FLOATTOSTR(RD1);
```

```
    POLE_RAZN2.Text := FLOATTOSTR(RD2)
```

```
end
```

```
    ELSE
```

```
        BEGIN
```

```
end
```

```
end;
```

```
end.
```

Приложение В

Текст модуля главной формы «запись банка вариантов»:

```
unit GLAV_FM;
{$mode objfpc}{$H+}
interface
uses
    Classes, SysUtils, FileUtil, Forms, Controls, Graphics, Dialogs, StdCtrls,
    ExtCtrls, Grids;
type

{ TFMGLAV }

TFMGLAV = class(TForm)
    KN1: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    TABL_N: TStringGrid;
    TABL_D: TStringGrid;
    TABL_S: TStringGrid;
    TABL_A: TStringGrid;
procedure KN1Click(Sender: TObject);
private
{ private declarations }
```

```

public
{ public declarations }
end;

var
    FMGLAV: TFMGLAV;
implementation
{$R *.lfm}
{ TFMGLAV }
USES ZADACHI;
CONST
    RMET = 6466.2;
DLITMEC : ARRAY [ 1 .. 12 ] OF WORD = ( 31 , 28, 31, 30, 31, 30,
                                         31, 31, 30, 31, 30, 31 );

    SCOP = 'COPY 3VIBR\';
    SC2 = ' DATA\COMMON1.DAT';
    SC3 = 'M.EXE' ;
    SC4 = '7z.exe a -tziprez\';
    SC5 = ' data\results.dat data\Distributions';

VAR
KSTR : ARRAY [ 1 .. 25 ] OF STRING[ 100 ];
FUNCTION H_ANT ( DL, F : DOUBLE ) : DOUBLE;
VAR
    GAM, G2, RD, d, EL : DOUBLE;
BEGIN
GAM := 0.5 * DL / RZ;

```



```
d := RZ * SIN ( GAM );
```

```
rd := sqrt( SQR(rz)-SQR(d) );
```

```
g2 := aRCtan((RMET-rd)/d) - aRCtan(d/rd);
```

```
EL := 300 / F;
```

```
  H_ANT := abs( el / (4*sin(g2)) )
```

```
end;
```

```
procedure TFMGLAV.KN1Click(Sender: TObject);
```

```
LABEL
```

```
  END_VARS;
```

```
VAR
```

```
  D_MEC, MEC,
```

```
  NV, I, J, K, S, N, N_D, N_S,
```

```
  DEN, DEN_NACH, SHAG_DEN, N_LAST : WORD;
```

```
  KUS1, KUS2, STRNAME, KUS3, KUS4, KUS5,INTROSTR : STRING;
```

```
  NACH, KON, SHAG,
```

```
SHAG_DI, SHAG_S, SHIR, S_NACH, DL,
```

```
  A, A_NACH, SHAG_A, A_KON,
```

```
  H_A, REC_H_A, F_NES,
```

```
  S1, D1, S2, D2, CH1, CH2 : DOUBLE;
```

```
  FVARS, FZ, FNEW, FC1BAZ : TEXTFILE
```

```
  ;
```

```
begin
```

```
IF NOTSetCurrentDir ( 'DAN') THEN
```

```
  BEGIN
```

```
    SHOWMESSAGE ( 'HET DAN ' );
```

```
exit
```

```
END
;
IF NOTdIRECTORYEXISTS ( '3VIBR') THEN
    MKDIR ( '3VIBR')
ELSE
    BEGIN
SetCurrentDir ('..\');
exit
end;
    ASSIGNFILE ( FC1BAZ, 'C1-Baz.TXT');
    RESET ( FC1BAZ );
    READLN ( FC1BAZ, MEC, DEN, KSTR[1]);
    READLN ( FC1BAZ, S1, D1, S2, D2, CH1, CH2, F_NES);
    READLN ( FC1BAZ, KSTR [ 2 ]);
    READLN ( FC1BAZ, KSTR [ 3 ]);
    READLN ( FC1BAZ, KSTR [ 4 ]);
    READLN ( FC1BAZ, KSTR [ 5 ]);
    READLN ( FC1BAZ, S1, S2, KSTR [ 6 ]);
    FOR K:= 7 TO 20 DO
        READLN ( FC1BAZ, KSTR [ K ]);
    CLOSEFILE ( FC1BAZ );
CHDIR( '3VIBR' );
    ASSIGNFILE ( FVARS, 'VARIANTS.TXT' );
    REWRITE ( FVARS );
    ASSIGNFILE ( FZ, 'ZAP.BAT' );
    REWRITE ( FZ );

    WRITELN ( FZ, 'pause' );
```

```

WRITELN ( FZ, ' ');
NACH := STRTOFLOAT ( TABL_D.Cells[1, 0] );
SHAG := STRTOFLOAT ( TABL_D.Cells[1, 1] );
KON := STRTOFLOAT ( TABL_D.Cells[1, 2] );

N_D := ROUND((KON - NACH) / SHAG ) + 1;
DL := NACH;
SHAG_DL := SHAG;
NACH := STRTOFLOAT ( TABL_S.Cells[1, 0] );
SHAG := STRTOFLOAT ( TABL_S.Cells[1, 1] );
KON := STRTOFLOAT ( TABL_S.Cells[1, 2] );
N_S := ROUND((KON - NACH) / SHAG ) + 1;
S_NACH := NACH;
SHAG_S := SHAG;
NACH := STRTOFLOAT ( TABL_A.Cells[1, 0] );
SHAG := STRTOFLOAT ( TABL_A.Cells[1, 1] );
KON := STRTOFLOAT ( TABL_A.Cells[1, 2] );
A_NACH := NACH;
SHAG_A := SHAG;
A_KON := KON;
DEN_NACH := STRTOINT ( TABL_N.Cells[1, 0] );
SHAG_DEN := STRTOINT ( TABL_N.Cells[1, 1] );
N_LAST := ROUND((STRTOFLOAT ( TABL_N.Cells[1, 2] ) - DEN_NACH) /
SHAG_DEN ) + 1;
NV := 1;
FOR I := 1 TO N_D DO
BEGIN
// KUS1 := 'D' + INTTOSTR(I);

```

```

KUS1 := 'D' + INTTOSTR(ROUND(DL));
  REC_H_A := H_ANT ( DL, F_NES );
  FOR J := 1 TO 3 DO
  BEGIN
KUS2 := 'h' + INTTOSTR(J);
STRNAME := KUS1 + KUS2;
  // IF NOT DIRECTORY EXISTS ( STRNAME ) THEN
  MKDIR ( STRNAME );
  // BEZ SMENY CHDIR (STRNAME);
  //---

  H_A := REC_H_A * ( 1 - 0.08 + 0.06 * J );
SHIR := S_NACH;
  FOR S:=1 TO N_S DO
  BEGIN
KUS3 := 'S' + INTTOSTR(ROUND(SHIR));
  MKDIR ( STRNAME + '\' + KUS3 );
  A:= A_NACH;
  WHILE A <= A_KON DO
  BEGIN
    KUS4 := 'A' + INTTOSTR(ROUND(A));
    IF NOT PRJAMAJA_GEODEZICH
( SHIR, A, DL, S1, S2, D1, D2 )
      THEN
      BEGIN
        WRITELN ( FVARS, ' ERROR ' );
GOTO END_VARS
end;

```

```

DEN := DEN_NACH;
    FOR N:=1 TO N_LAST DO
    BEGIN
        KUS5 := 'N' + INTTOSTR( DEN );
            INTROSTR:= KUS3 + '\' + KUS4 + KUS5;
MEC := 1; D_MEC := DEN;
WHILE D_MEC > DLITMEC [ MEC ] DO
    BEGIN
        D_MEC := D_MEC - DLITMEC [ MEC ];
        INC ( MEC )
end;

ASSIGNFILE ( FNEW, STRNAME + '\' + INTROSTR + '.TXT' );
REWRITE ( FNEW );
WRITELN ( FVARS, NV );
WRITELN ( FVARS, STRNAME + '\' + INTROSTR + '.TXT' );
WRITE ( FZ, SCOP );
WRITELN ( FZ, STRNAME + '\' + INTROSTR + '.TXT', SC2 );
WRITELN ( FZ, SC3 );
WRITELN ( FZ, SC4,
        STRNAME + '\' + INTROSTR + '.ZIP', SC5 );
WRITELN ( FZ ); WRITELN ( FZ );
WRITE ( FNEW, MEC:4, D_MEC:5 );
WRITELN ( FNEW, KSTR [ 1 ] );
WRITE ( FNEW, S1:8:3, D1:8:3
        , S2:8:3, D2:8:3 );
WRITELN ( FNEW, CH1:9:4, CH2:9:4, F_NES :8:2 );
FOR K:= 2 TO 5 DO

```

```
        WRITELN ( FNEW, KSTR [ K ]);

        WRITE ( FNEW, H_A:11:3, H_A:11:3 );
        WRITELN ( FNEW, KSTR [ 6 ]);
        FOR K:= 7 TO 20 DO
            WRITELN ( FNEW, KSTR [ K ]);
        CLOSEFILE ( FNEW );
        INC ( DEN, SHAG_DEN );
        INC ( NV )
            // MKDIR(INTROSTR);
        END

    ;
    A := A + SHAG_A
        END;
    SHIR := SHIR + SHAG_S
        END;
        //---
        // BEZ SMENY SetCurrentDir('..');
end ;
DL := DL + SHAG_DL
end ;
    END_VARS:
SetCurrentDir('..../');
    WRITELN ( FZ, 'PAUSE' );
    CLOSEFILE ( FVARS ); CLOSEFILE ( FZ )
end;

end.
```

