

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) Федеральный Университет»

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Направление: 03.03.03 - радиофизика

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Бакалаврская работа)

Сглаживание экспериментальных данных астрономического
блока модели метеорных радиосистем

Работа завершена:

“__”_____2017г. _____ Новоселова А. С.

Работа допущена к защите:

Научный руководитель:
ассистент кафедры радиоэлектроники

“__”_____2017г. _____ Терешин С. Н.

Заведующий кафедрой:

Д. ф. –м. н., профессор

“__”_____2017г. _____ Овчинников М. Н.

Казань 2017

Содержание

Введение	3
Глава 1	
1.1 Метеоры и метеорные потоки	4
1.2 Современные методы наблюдения метеоров	6
Глава 2	
2.1. Метеорные радиосистемы	8
2.2. Компьютерная модель “КАМЕТ”	10
Глава 3	
3.1. Аппроксимация	15
Глава 4	
4.1. Сглаживание экспериментальных данных	16
Заключение	25
Список литературы	26
Приложение А	27
Приложение В	37

Введение

При разработке и пользование радиосистем в первую очередь нужно оптимизировать параметры системы на основе свойств среды распространения и разработки метода адаптации к неизвестным свойствам среды распространения.

Методом определения параметров системы на стадии разработки и эксплуатации является программа компьютерного моделирования метеорных радиосистем, разработанная в Казанском федеральном университете программа Камет. В дипломной работе были использованы экспериментальные данные плотности потока метеорных частиц.

Цель дипломной работы создания программы сглаживания экспериментальных данных астрономического блока модели метеорных радиосистем.

Необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучить астрономический блок модели метеорных радиосистем;
2. Разработка алгоритма и создание подпрограммы формирования предварительных реперных данных;
3. Составление уравнений сохранения средних значений по зонам и создание подпрограммы вычисления полного набора реперных значений по полученным решениям;
4. Создание подпрограммы вычисления сглаженных значений плотности потока метеорных частиц по полному набору реперных точек.

1.1. Метеоры и метеорные потоки

Метеор в переводе с греческого означает “явление вверху” или “предмет парящий в воздухе” – явление, появляющиеся из – за сгорания в атмосфере Земли небольших космических частиц – метеорных тел, вторгшихся со скоростью от 15 до 80 км/сек. При попадание в слои атмосферы эти тела нагреваются, ярко светится и распадаются. Нагреваясь от трения в воздухе, такие тела распадаются на высоте 50 -120 км. Такие явления длятся от 3 до 5 секунд. Существуют встречные и догоняющие метеоры.

Яркость и цвет метеора зависят от массы метеорных тел и скорости относительно Земли. “Встречные” метеоры горят на большей высоте, они ярче и белее; “догоняющие” метеоры светится слабее и желтее.

Очень яркие метеоры, которые ярче планет называются болидами. Болиды, которые проникают в атмосферу ниже 50 – 55 км и попадают в более плотные слои воздуха, часто сопровождаются звуковыми явлениями и падением метеорного тела на Землю.

Метеоры отличаются от метеороидов и метеоритов. Метеором называется явление светящегося следа метеороида, независимо от того, улетит он в космическое пространство или сгорит в атмосфере или упадет на Землю метеоритом.

Характеристикой метеора так же является скорость, длина трека, яркость свечения, высота воспламенения и химический состав. Метеор достигший 1 звездной величины при скорости 40 км/с, воспламеняется на высоте 100 км, а сгорает на высоте 80 км и расстоянии от наблюдателя в 150 км, то время полета будет 1,5 секунды, а размер 0,6 мм при массе 6 мг.

Зачастую метеоры формируются в метеорные потоки – неизменные массы метеоров, возникающие в определенной стороне неба и определенном времени года. Известны такие метеорные потоки, как Леонид, Персеид и

Квадрантид. Все метеорные потоки порождаются за счет разрушения и сгорания комет.

Если проследить путь метеоритов, то кажется что они летят из одной точки на небе называемой радиантом. Это разъясняется происхождением и расположением космической пыли в пространстве космоса. Названия метеорным потокам дают по созвездиям где расположен их радиант, или ориентируются на ближнюю и яркую звезду.

Метеорный поток – совокупность метеоров проникающих в земную атмосферу роя метеоритных тел. Метеорный поток с большой численностью (более 1000 метеоров в час) называют метеоритным дождем.

Метеорные рои занимают определенные орбиты в космическом пространстве, то потоки наблюдаются в определенное время года, при пересечении орбиты Земли и роя, а также когда радиант оказывается в определенной точке на небе.

Астрономами зарегистрировано тысячи метеорных потоков. Однако с развитием средств наблюдения неба их количество сократилось. Сейчас зарегистрировано 64 метеорных потока еще 300 ожидают подтверждения.

1.2 Современные методы наблюдения метеоров

Вхождение метеороида в атмосферу Земли со скоростью от 10 до 70 км/с, сопровождается разрушением, сгоранием, дроблением и испарением. В результате столкновения метеорных молекул с атомами и молекулами воздуха происходит распад молекул на возбужденные и ионизированные атомы. Ионы метеорного вещества и возбужденные атомы образуют свечение. Свечение метеора наблюдают визуально, фотографируют или регистрируют приемником излучателя. Также можно “наблюдать” в радиодиапазоне.

В течение длительного времени изучение метеоров было основано только на визуальном наблюдении. Были найдены частоты появления, сезонные и суточные варианты численности и определены радианты нескольких сотен метеорных потоков. Сейчас методы наблюдения за метеорами более развиты: спектральные, радиолокационные, фотографические, телевизионные.

Рассмотрим радиолокационный метод наблюдения. Свойство метеорных следов отражать радиоволны позволяет исследовать их радиоприемной аппаратуры. Принципиальное отличие от других способов наблюдения заключается в следующем. Если при других способах наблюдения записывается излучаемая энергия, то при радионаблюдении регистрируется отраженная электронами следа электромагнитная энергия радиостанции. Радиоизлучение метеоров слишком слабое для регистрации.

Радионаблюдение можно проводить в любое время суток, при любых погодных условиях. Благодаря радио методам можно фиксировать метеоры более слабые, чем оптическими средствами наблюдения. Радионаблюдения используются при дневных и при очень кратковременных метеорных потоках.

Принцип радиолокационного метода состоит в том, что антенны излучают радиопульсы. Радиоволна рассеивается метеорном следом, отраженный сигнал принимают как кратковременным импульсом.

Радиолокационным методом расширил представление о физических процессах, проходящих в ионизированных следах, о структуре метеорных тел, получили информацию о бесчисленных метеорных потоках, о обстановке около орбиты Земли и о ветровых движениях атмосферы Земли в метеорной зоне.

2.1. Метеорные радиосистемы

Каждодневно в земную атмосферу проникают метеорные частицы, начиная от крупных метеорных тел до космической пыли.

График зависимости числа попадающих в атмосферу частиц от их массы [3]

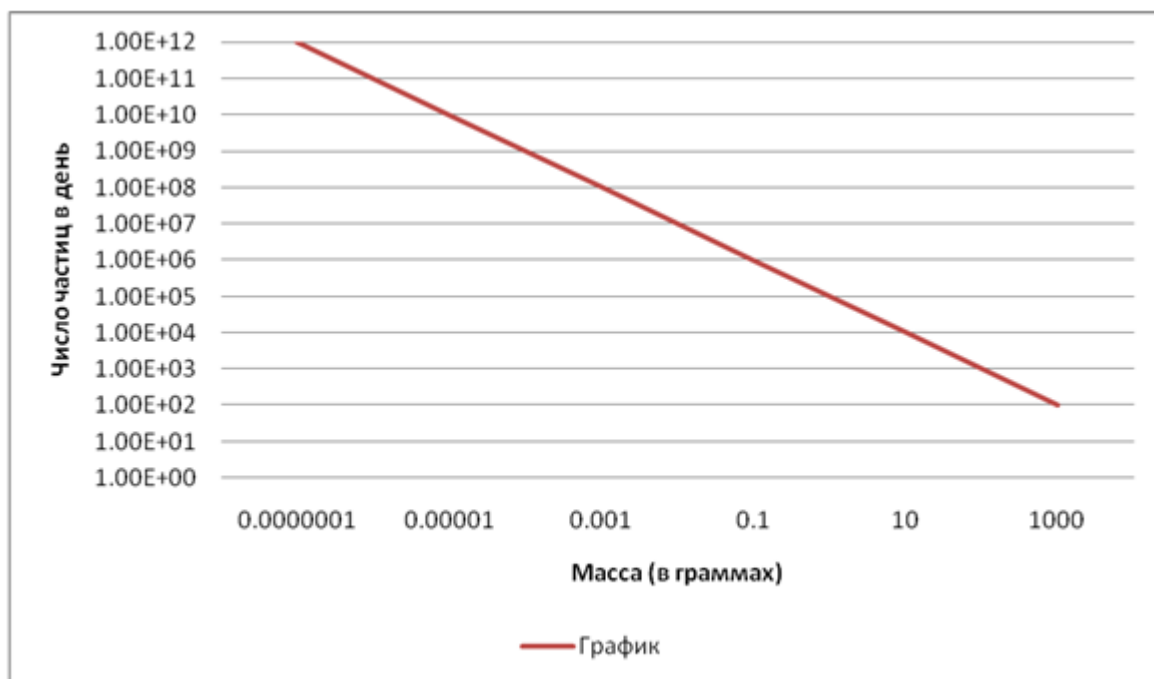


Рис. 1. График зависимости частиц от массы

Источником метеорных частиц служат астероиды и кометы. В солнечной системе источниками могут быть более 10000 объектов.

Метеорный след называют явление горение частиц в земной атмосфере которые создают столб ионизированного газа.

Продольный размер составляет несколько километров, а поперечный несколько метров.

Посредством влияния ветра и диффузии след разрушается, а уровень сигнала быстро падает. След используется для отражения радиоволн и создания радиосвязи если достаточна величина радиосвязи.

Эффективный диапазон частот для связи составляет от 40 – 60 МГц. Дальность связи достигает практически от 0 до 2200 км. Таким образом

метеорный канал служит основой для организации экономной и надежной системой связи широкого применения.

2.2 Компьютерная модель «КАМЕТ»

Изучение характеристик системы метеорной связи довольно сложная задача. Скорость передачи информации W , численность отражений N и другие характеристики, как и зависят от технических характеристик и астрономическими фактами, которые зависят от сезона и времени проведения эксперимента.

Развитие таких исследований представляет имитационное моделирование на математической модели метеорного радиоканала (МРК), которая откалибрована на основе экспериментальных данных.

Сущность имитационного подхода в приложении можно показать следующей цепочкой: радиант – траектория метеора – след метеора – радиосигнал метеора.

Программа Камет предназначена для:

- Численность, коэффициент заполнения для часа суток работа системы
 - Характеристика линии метеорной связи при параметрах аппаратуры
- Характеристика программы: индивидуальная, интегральная и информационная характеристик.

Индивидуальная:

- Мах амплитуда
- Длительность отражений
- Амплитудно – временная характеристика отражении

Интегральные:

- Число радиоотражений за час
- Суммарная длительность отражении за час
- Коэффициент заполнения

Информационные характеристики:

- Объем данных
- Скорость передачи данных

Входные параметры:

- Астрономические
- Аппаратура
- Антенны

Параметры

Астрономические | Аппаратура | Антенны

Дата:

День: Месяц:

Параметры трассы:

Географические координаты пунктов:

Широта базовой станции:

Долгота базовой станции:

Широта удаленной станции:

Долгота удаленной станции:

Длина радиотрассы (км): > 300 !!! (4848)

Расчет для выбранного часа:

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

Рис. 2. Астрономические

Параметры

Астрономические Аппаратура Антенны

Мощность передатчика (Вт): 2000

Вероятность ошибки: 0,001

Вид модуляции: 4

Длина пакета (бит): 256

Длина заголовка (бит): 48

Адаптивный режим

Длина волны (м): 6,383 Порог(мкВ): 0,100000

Частота (МГц): 47 Рекомендуемый (мкВ): 1,689

Полоса (КГц): 20

Расчет для выбранного часа: 18

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

Старт

Рис. 3. Аппаратура

Параметры

Астрономические Аппаратура Антенны

Горизонтальная поляризация	Базовая	Удаленная
	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Вертикальная поляризация	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Базовая	Удаленная
Число вибраторов:	2	1
Число рядов:	1	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

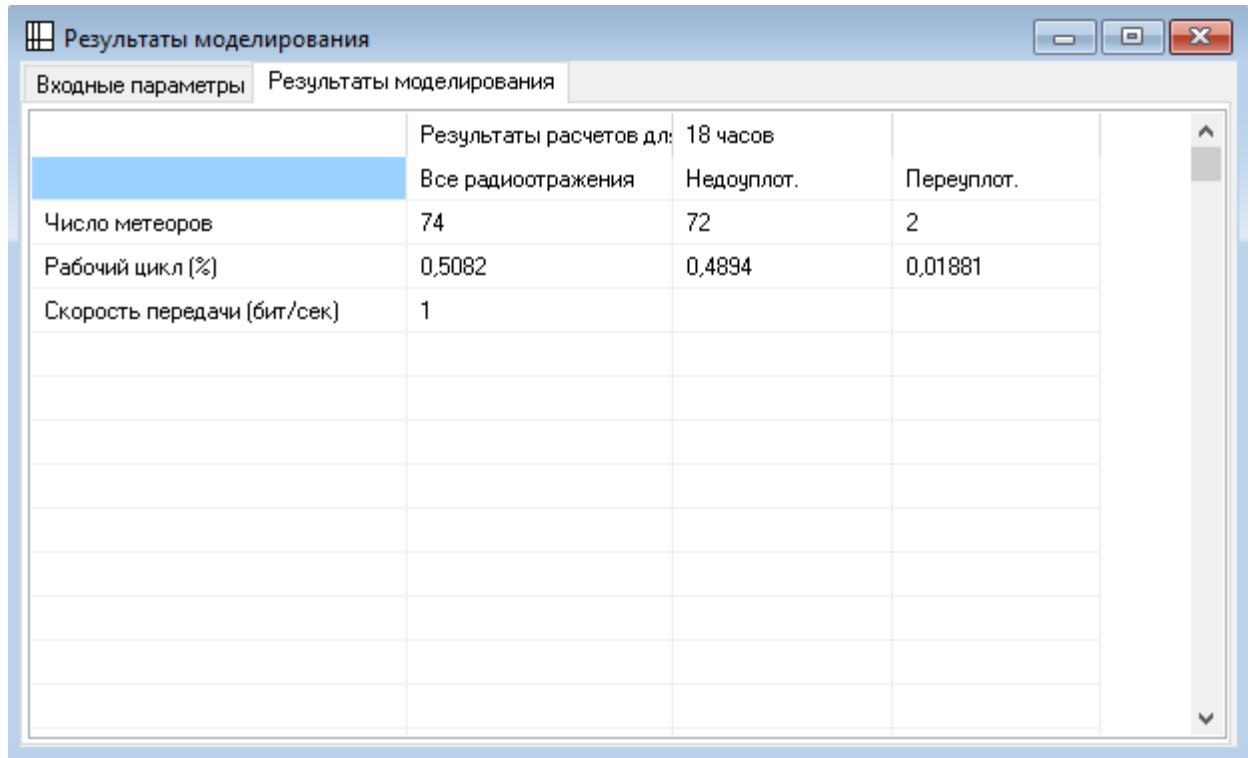
Высота подвеса антенн		Вид подстилающей поверхности:	
	Базовая	Удаленная	
Высота (м)	6,2	6	Сухая земля
Рекомендуемая (м)	10,16	10,16	Влажная земля

Расчет для выбранного часа:

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

Рис. 4. Антенны

Результаты расчета.



The screenshot shows a software window titled "Результаты моделирования" (Simulation Results). It has two tabs: "Входные параметры" (Input Parameters) and "Результаты моделирования" (Simulation Results), with the latter being active. The window contains a table with the following data:

	Результаты расчетов дл: 18 часов		
	Все радиоотражения	Недоуплот.	Переуплот.
Число метеоров	74	72	2
Рабочий цикл (%)	0,5082	0,4894	0,01881
Скорость передачи (бит/сек)	1		

Рис. 5. Вкладка результаты моделирования

3.1. Аппроксимация

Аппроксимация – это метод замены одних математически объектов другими, которые будут сходными с исходными данными. Позволяет изучить свойства объекта и числовые характеристики, заменяя на более удобные и простые объекты.

Аппроксимация делится на:

- Строгую математическую
- Физическую аппроксимацию

Строгая математическая содержит методы аппроксимации такие как:

- Многочлены
- Отрезки ряда Фурье
- Сплаинами
- Собственными функциями краевых задач

Физическая содержит в себе выбор аппроксимации исходя из поставленной физической задачи

Общая задача аппроксимации:

- Выбор подходящей аппроксимации
- Определение коэффициентов аппроксимации

Выбор подходящей аппроксимации должен состоять:

- Простота функции
- Точность
- Наглядность
- Ясность понимания явления, характеристик, свойств в

конкретном случае

4.1. Сглаживание экспериментальных данных

Была создана подпрограмма в системе программирования Lazarus для показывания экспериментальных данных плотности потока метеорных частиц. Текст программы в приложение А

ПОТОК

	85	72,5	57,5	42,5	27,5	10
ЯНВАРЬ	180	60	45	22,5	22,5	7,5
ФЕВРАЛЬ	180	60	45	22,5	22,5	7,5

ГРАФИКИ

	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
ЯНВАРЬ	7427	2944	3674	1506	1685	1034	1607	1798	2236	2404	2865	5348	5191	3697	2989	4798	5146	6787	4247	3854	3438	5247	7157	9652
ФЕВРАЛ	7427	2944	3674	1506	1685	1034	1607	1798	2236	2404	2865	5348	5191	3697	2989	4798	5146	6787	4247	3854	3438	5247	7157	9652
МАРТ	9211	4213	4646	3328	2554	1820	3198	3198	2594	3801	2706	8980	9171	6426	6889	7140	10066	10910	8307	6747	5833	7351	8809	10237
АПРЕЛЬ	12876	6213	6056	3326	2135	1854	1753	1663	1652	5067	5281	11865	13371	9449	7371	8213	8449	11438	8933	7854	7472	8157	11281	13079
МАЙ	17865	6281	6191	3517	3202	2461	2315	1596	2596	3798	7135	13258	19258	14303	11719	8596	8764	9506	9393	8000	8596	8674	12124	14292
ИЮНЬ	7124	4000	4360	4067	1944	1213	1056	2135	2393	10978	14640	24157	19258	14124	10899	10101	8719	9258	8090	6079	5697	5573	6573	7528
ИЮЛЬ	8022	5067	6899	6472	5753	2461	787	4472	6843	7888	14708	33371	28910	18551	10640	8888	7483	8112	6404	3944	2876	2820	3921	6326
АВГУСТ	6113	2493	563	421	382	1256	1940	2775	5731	12663	10843	18427	11101	7058	3821	3840	4022	5400	5018	3278	2615	2363	3620	5309
СЕНТЯБ	6113	2493	563	421	382	1256	1940	2775	5731	12663	10843	18427	11101	7058	3821	3840	4022	5400	5018	3278	2615	2363	3620	5309
ОКТАБР	8742	5135	7888	4449	4258	809	1360	3202	4809	9719	8854	14933	11202	6573	4056	3360	3685	5315	5506	3865	2933	3674	5607	8584
НОЯБРЬ	12787	6360	2112	1000	1022	697	831	1764	3517	4079	4213	8022	7966	5551	3899	3742	5382	6404	6562	3910	3652	4090	6427	11876
ДЕКАБР	13747	1217	1971	1126	422	73	1357	1981	2594	3520	2997	6275	6275	4736	3671	3529	3831	5733	5782	4827	4918	5129	5551	11444

Рис.6. Подпрограмма плотности потока

Вся небесная сфера разбита на 150 зон с примерно равным угловыми размерами. Верхняя часть полусферы состоит из 75 зон.

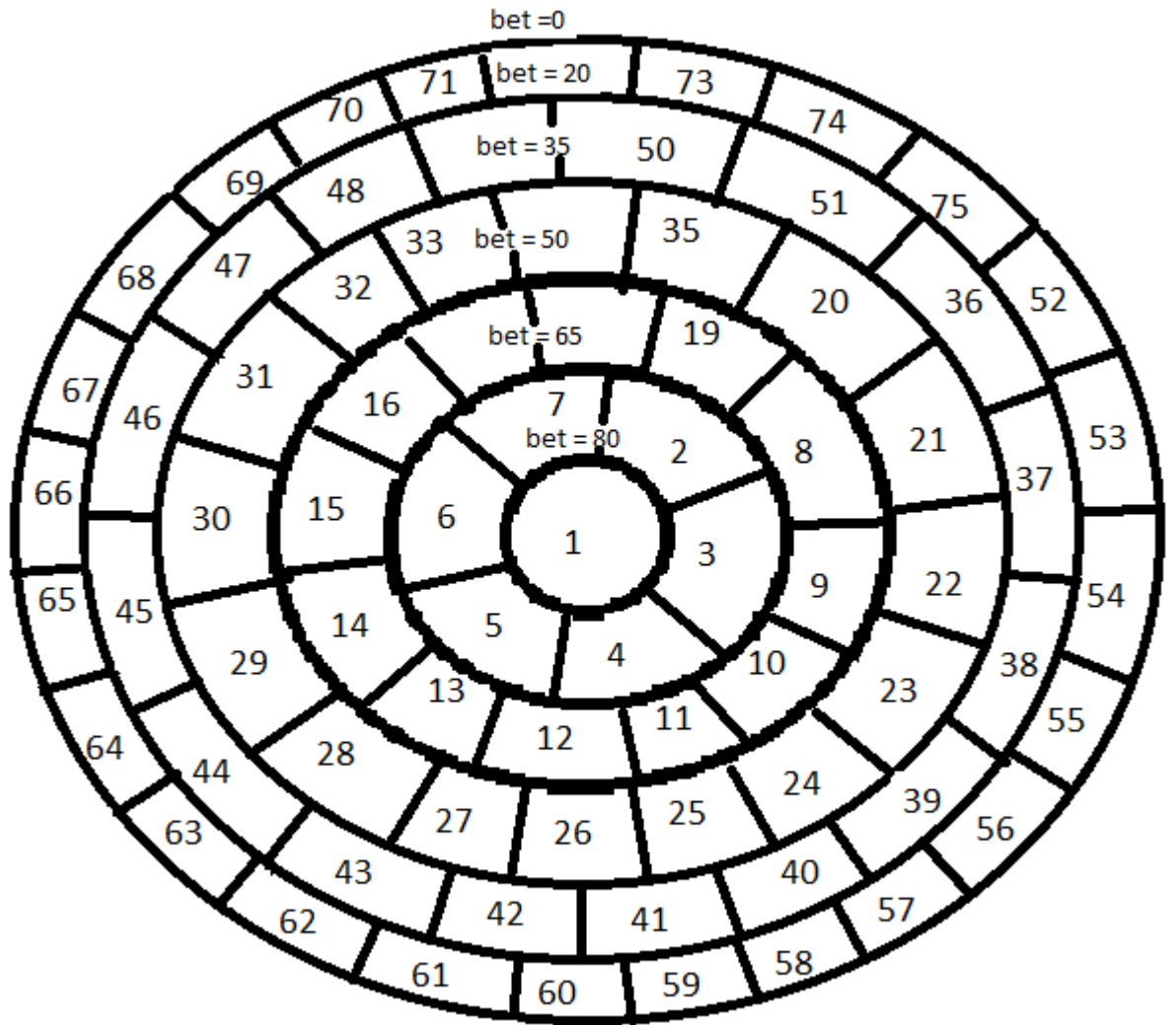


Рис. 7. Расположение 75 зон небесной полусферы

Необходимо определить численность спорадического фона для центра зоны

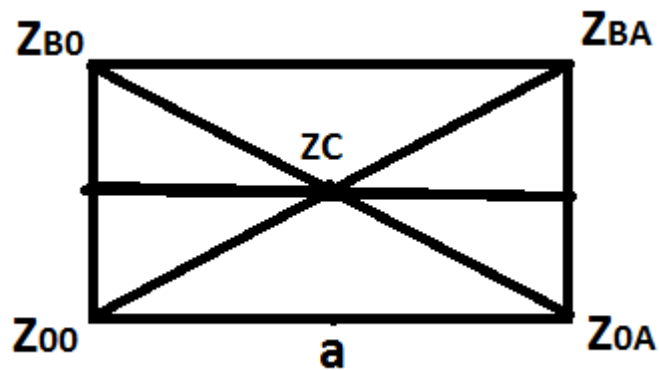


Рис. 8. Одна зона небесной полусферы

Формула расчета интенсивности потока в треугольнике $Z_{00}Z_{0A}Z_C$

$$\begin{aligned} zN1 [y_] &:= z00 + y * (zC - z00) / bc ; \\ zN2 [y_] &:= z0A + y * (zC - z0A) / bc ; \\ aNY [y_] &:= a - y * a / bc ; \\ sN [y_] &:= aNY [y] * (zN1 [y] + zN2 [y]) / 2 ; \\ iN [zC_] &:= \int_0^{bc} \underset{\text{косинус}}{\text{Cos}} [dOB + y] * sN [y] dy \end{aligned}$$

Где:

- y – широта
- bc – высота
- a – основание
- $ZN1$ – зависимость от широты на границе $Z_{00}Z_C$
- $ZN2$ – зависимость от широты на границе $Z_{0A}Z_C$
- aNy – зависимость длины основания треугольника $Z_{00}Z_{0A}$
- SN – площадь трапеции над этим основанием
- dOB – широта нижней границы основания
- $Z_{00}Z_{0A} Z_{B0} Z_{BA}$ – реперные точки

Пример одной из частей набора выражений для вычисления массива

`VARREP [53] := 0;`

`REP1 [53 , 0, 0] := REP1 [52 , 0, 1];`

`REP1 [53 , 0, 1] := (PLOT [53] + PLOT [54]) * 0.5;`

`REP1 [53 , 1, 0] := REP1 [52 , 1, 1];`

`REP1 [53 , 1, 1] := (PLOT [53] + PLOT [54] + PLOT [36]) *`

`0.33333333;`

`VARREP [54] := 1;`

`REP1 [54 , 0, 0] := REP1 [53 , 0, 1];`

`REP1 [54 , 0, 1] := (PLOT [54] + PLOT [55]) * 0.5;`

```

REP1 [ 54 , 1 , 0 ] := REP1 [ 53 , 1 , 1 ];
REP1 [ 54 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 54 ] + PLOT [ 55 ] + PLOT [ 37 ] ) *
0.333333333;
REP1 [ 54 , 2 , 0 ] := 3.75;
REP1 [ 54 , 2 , 1 ] := ( PLOT [ 54 ] + PLOT [ 36 ] + PLOT [ 37 ] ) *
0.333333333;
VARREP [ 55 ] := 1;
REP1 [ 55 , 0 , 0 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 54 ] ) * 0.5;
REP1 [ 55 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 56 ] ) * 0.5;
REP1 [ 55 , 1 , 0 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 54 ] + PLOT [ 37 ] ) *
0.333333333;
REP1 [ 55 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 56 ] + PLOT [ 38 ] ) *
0.333333333;
REP1 [ 55 , 2 , 0 ] := 11.25;
REP1 [ 55 , 2 , 1 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 37 ] + PLOT [ 38 ] ) *
0.333333333;

```

Еще 20 зон заполненные в цикле

```

FOR I := 1 TO 7 DO
BEGIN
VARREP [ 53 + I * 3 ] := 0;
REP1 [ 53 + I * 3 , 0 , 0 ] := REP1 [ 52 , 0 , 1 ];
REP1 [ 53 + I * 3 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 53 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I *
3 ] ) * 0.5;
REP1 [ 53 + I * 3 , 1 , 0 ] := REP1 [ 52 , 1 , 1 ];
REP1 [ 53 + I * 3 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 53 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I *
3 ] + PLOT [ 36 + I * 2 ] ) * 0.333333333;
VARREP [ 54 + I * 3 ] := 1;
REP1 [ 54 + I * 3 , 0 , 0 ] := REP1 [ 53 + I * 3 , 0 , 1 ];

```

```

REP1 [ 54 + I * 3 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 54 + I * 3 ] + PLOT [ 55 + I * 3 ] ) *
0.5;
REP1 [ 54 + I * 3 , 1 , 0 ] := REP1 [ 53 + I * 3 , 1 , 1 ];
REP1 [ 54 + I * 3 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 54 + I * 3 ] + PLOT [ 55 + I * 3 ] +
PLOT [ 37 + I * 2 ] ) * 0.333333333;
REP1 [ 54 + I * 3 , 2 , 0 ] := 3.75;
REP1 [ 54 + I * 3 , 2 , 1 ] := ( PLOT [ 54 + I * 3 ] + PLOT [ 36 + I * 2 ] +
PLOT [ 37 + I * 2 ] ) * 0.333333333;
VARREP [ 55 + I * 3 ] := 1;
REP1 [ 55 + I * 3 , 0 , 0 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I * 3 ] ) *
0.5;
REP1 [ 55 + I * 3 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 56 + I * 3 ] ) *
0.5;
REP1 [ 55 + I * 3 , 1 , 0 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I * 3 ] +
PLOT [ 37 + I * 2 ] ) * 0.333333333;
REP1 [ 55 + I * 3 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 56 + I * 3 ] +
PLOT [ 38 + I * 2 ] ) * 0.333333333;
REP1 [ 55 + I * 3 , 2 , 0 ] := 11.25;
REP1 [ 55 + I * 3 , 2 , 1 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 37 + I * 2 ] +
PLOT [ 38 + I * 2 ] ) * 0.333333333

```

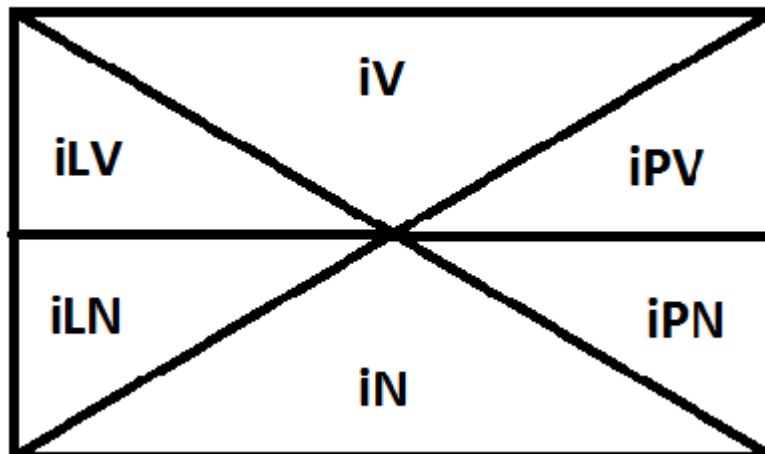
Уравнение сохранения суммарной интенсивности для всей зоны

```

v [ zC_ ] := iN[ zC ] + iV[ zC ] + iLN[ zC ] + iLV[ zC ] + iPN[ zC ] + iPV[ zC ]
ur = v[ zC ] == cHis1

```

Где



- i_N – вклад в интенсивность потока зоны от нижнего треугольника
- i_V - вклад в интенсивность потока зоны от верхнего треугольника
- i_{LN} - вклад в интенсивность потока зоны от левого нижнего треугольника
- i_{PN} - вклад в интенсивность потока зоны от правого нижнего треугольника
- i_{LV} - вклад в интенсивность потока зоны от левого верхнего треугольника
- i_{PV} - вклад в интенсивность потока зоны от правого верхнего треугольника

Решение данного уравнения

$$\{ \{ zC \rightarrow (-4*bC^2*cHis1 + 2*a*bC*(z00 + z0A)*Cos[dOB] - 2*bC*(a*(zB0 + zBA) - 2*(a1*(zB0 + zD) + a2*(zBA + zD))) * Cos[2*bC + dOB] + a*z00*Sin[dOB] - 2*a*bC^2*z00*Sin[dOB] + a*z0A*Sin[dOB] - 2*a*bC^2*z0A*Sin[dOB] + a*zB0*Sin[dOB] + a*zBA*Sin[dOB] - 4*a*zB0*Sin[bC + dOB] + 4*a1*zB0*Sin[bC + dOB] - 4*a*zBA*Sin[bC + dOB] + 4*a2*zBA*Sin[bC + dOB] + 4*a1*zD*Sin[bC + dOB] + 4*a2*zD*Sin[bC + dOB] - a*z00*Sin[2*bC + dOB] - a*z0A*Sin[2*bC + dOB] + 3*a*zB0*Sin[2*bC + dOB] - 4*a1*zB0*Sin[2*bC + dOB] + 2*a1*bC^2*zB0*Sin[2*bC + dOB] + 3*a*zBA*Sin[2*bC + dOB] - 4*a2*zBA*Sin[2*bC + dOB] + 2*a2*bC^2*zBA*Sin[2*bC + dOB] - 4*a1*zD*Sin[2*bC + dOB] - 4*a2*zD*Sin[2*bC + dOB] + 2*a1*bC^2*zD*Sin[2*bC + dOB] + 2*a2*bC^2*zD*Sin[2*bC + dOB]) / (4*(a*bC*Cos[dOB] + (-a + a1 + a2)*bC * Cos[bC + dOB] + a1*bC*Cos[2*bC + dOB] + a2*bC*Cos[2*bC + dOB] + a*Sin[dOB] - 2*a*Sin[bC + dOB] + 2*a1*Sin[bC + dOB] + 2*a2*Sin[bC + dOB] + a*Sin[2*bC + dOB] - 2*a1*Sin[2*bC + dOB] - 2*a2*Sin[2*bC + dOB])) \} \}$$

Программа для отладки подпрограммы выше приведенного вычисления. Текст программы в приложение В

Рис. 10. Интерфейс программы

Где вверх означает деление зоны на дополнительный треугольник

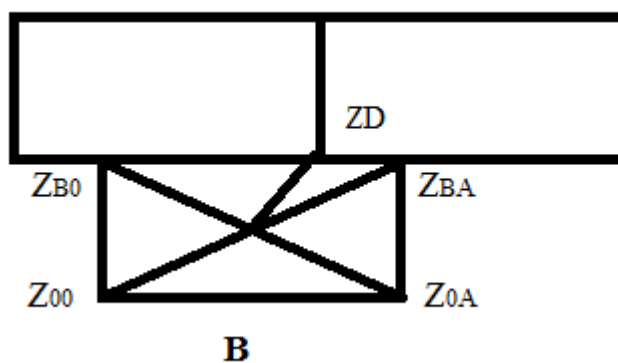


Рис. 11 Дополнительное деление

- А – нижнее основание
- А1 – основание от Z_{B0} до ZD
- А2 – основание от ZD до Z_{BA}

Пример полученного результата сглаживания

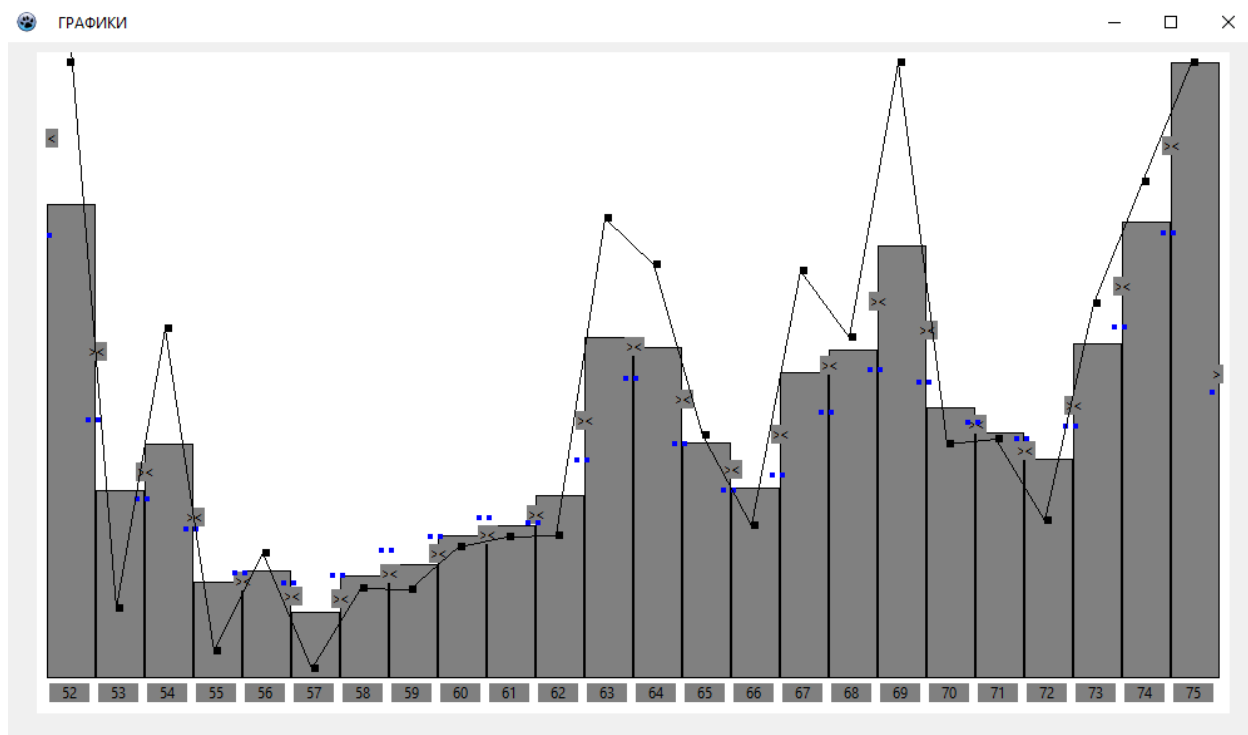


Рис. 12. Результат сглаживания

Где \times - нижний уровень полосы зоны реперных точек на границе, точки соединенные линией - центральные реперные точки

Заключение

1. Изучен астрономический блок модели метеорных радиосистем
2. Разработан алгоритм и создана подпрограмма формирования предварительных реперных данных;
3. Составлены уравнения сохранения средних значений по зонам
4. Создана подпрограмма вычисления полного набора реперных значений по полученным решениям;
5. Создана подпрограмма вычисления сглаженных значений плотности потока метеорных частиц по полному набору реперных точек.

Список литературы

1. Бабаджанов П.Б. «Метеоры и их наблюдение» - М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1987
2. Д. Мак-Кинли «Методы метеорной астрономии» - М.: Издательство «МИР», 1964
3. Карпов А.В., Терешин С.Н., Наумов А.В., Курганов А.Р. «Компьютерная модель радиосистемы» - Физический факультет Казанского гос. университета, 1998
4. Федоровский К. Ю. «Аппроксимация полианалитического многочлена» - М.: ИМП им. М. В. Келдышева, 2016
5. Ахиезер Н. И. «Лекции по теории аппроксимации» Издательство «НАУКА» 1965
6. Турчак Л. И., Плотников П. В. «Основы численных методов» - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003

Приложение А

implementation

{ \$R *.lfn }

USES RISFORM, PPZC

;

{ TFMGLAV }

CONST

GVR = PI / 180.0;

NAME_MEC : ARRAY [1 .. 12] OF STRING = (

'ЯНВАРЬ', 'ФЕВРАЛЬ', 'МАРТ', 'АПРЕЛЬ', 'МАЙ', 'ИЮНЬ',

'ИЮЛЬ', 'АВГУСТ', 'СЕНТЯБРЬ', 'ОКТЯБРЬ', 'НОЯБРЬ', 'ДЕКАБРЬ')

;

// @ru Эклиптическая широта центра зоны - для каждой из 12 полос.

bet : ARRAY [1 .. 6] OF double = (85.0, 72.5, 57.5, 42.5, 27.5, 10.0);

// @ru Ширина одной зоны для каждой из 12 сферических полос.

DL : ARRAY [1 .. 12] OF double = (360.0, 60.0, 30.0, 22.5, 22.5, 15.0
, 15.0, 22.5, 22.5, 30.0, 60.0, 360.0);

STNR : ARRAY [1 .. 12] OF WORD = (1, 7, 19, 35, 51, 75,
99, 115, 131, 143, 149, 150);

STERM : ARRAY [1 .. 12] OF DOUBLE =
(0.12, 0.08378, 0.0733, 0.0746, 0.0903, 0.0890

, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0);

TYPE

TREP1 = ARRAY [0 .. 1, 0 .. 2] OF DOUBLE;

TMASREP1 = ARRAY [2 .. 75] OF TREP1;

TMASVAR = ARRAY [2 .. 75] OF WORD;

VAR

F : TEXTFILE;

L0 : ARRAY [1 .. 12, 1 .. 12] OF DOUBLE;

SRED : ARRAY [1 .. 150] OF DOUBLE;

PLOT12 : ARRAY [1 .. 12, 1 .. 150] OF DOUBLE;

PLOT : ARRAY [1 .. 75] OF DOUBLE;

INTENS : ARRAY [1 .. 12, 1 .. 150] OF DOUBLE;

REP1 : TMASREP1;

VARREP : TMASVAR;

REPC : ARRAY [52 .. 75] OF DOUBLE;

MAX_P : DOUBLE;

procedure TFMGLAV.FormCreate(Sender: TObject);

VAR

I : INTEGER;

MEC, NRJADA, NZONY, NSTOLB, NPOL : WORD;

BUFER : DOUBLE;

begin

FOR NZONY := 1 TO 150 DO

 SRED [NZONY] := 0;

ASSIGNFILE (F , 'TBTIV2.D');

RESET (F)

;

FOR MEC := 1 TO 12 DO

 FOR NRJADA := 1 TO 12 DO

 READ (F, L0 [MEC, NRJADA])

```

;
FOR MEC := 1 TO 12 DO
BEGIN
  FOR NZONY := 1 TO 150 DO
  BEGIN
    READ (F, BUFER );

    NPOL := 1;
    REPEAT
      IF NZONY <= STNR [ NPOL ] THEN
        BREAK;
      INC (NPOL)
    until NPOL > 12
    ;
    INTENS [ MEC, NZONY ] := BUFER ;
    PLOT12 [ MEC, NZONY ] := BUFER / STERM [ NPOL ];
    SRED [ NZONY ] := SRED [ NZONY ] + BUFER
  end;
  FOR NZONY := 1 TO 6 DO
    READ (F, BUFER )
  end;

  CLOSEFILE ( F );

  FOR NZONY := 1 TO 150 DO
    SRED [ NZONY ] := SRED[ NZONY ] / 12;
  FOR NRJADA := 1 TO 6 DO
    TABLDOLG.Cells[ NRJADA, 0 ] :=
      FLOATTOSTR ( BET[ NRJADA ] );
  FOR MEC := 1 TO 12 DO

```

```

BEGIN
  TABLDOLG.Cells[ 0, MEC ] := NAME_MEC [ MEC ];
  FOR NRJADA := 1 TO 6 DO
    TABLDOLG.Cells[ NRJADA, MEC ] := FLOATTOSTR ( L0[ MEC, NRJADA
])
  END
;
// FOR NSTOLB := 1 TO 24 DO
//   TABLBIG.Cells[ NSTOLB, 1 ] := FLOATTOSTR ( SRED[ 51 + NSTOLB
])
;

FOR NSTOLB := 1 TO 24 DO
  TABLBIG.Cells[ NSTOLB, 0 ] := INTTOSTR ( 51 + NSTOLB )
;

FOR MEC := 1 TO 12 DO
  begIN
    TABLBIG.Cells[ 0, MEC ] := NAME_MEC [ MEC ];
    FOR NSTOLB := 1 TO 24 DO
      TABLBIG.Cells[ NSTOLB, MEC ] :=
        INTTOSTR ( ROUND ( PLOT12[ MEC, 51 + NSTOLB ] ) )
    END
  ;
  MAX_P := 0;
  FOR NZONY := 1 TO 75 DO
    BEGIN
      BUFER := PLOT12 [ 1 ] [ NZONY ];
      PLOT [ NZONY ] := BUFER;

```

```

IF ( NZONY > 51 ) AND ( BUFER > MAX_P ) THEN
    MAX_P := BUFER
END
;
VARREP [ 52 ] := 1;
REP1 [ 52 , 0 , 0 ] := ( PLOT [ 52 ] + PLOT [ 75 ] ) * 0.5;
REP1 [ 52 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 52 ] + PLOT [ 53 ] ) * 0.5;
REP1 [ 52 , 1 , 0 ] := ( PLOT [ 52 ] + PLOT [ 75 ]
    + PLOT [ 51 ] ) * 0.33333333;
REP1 [ 52 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 52 ] + PLOT [ 53 ]
    + PLOT [ 36 ] ) * 0.33333333;

REP1 [ 52 , 0 , 2 ] := 11.25;
REP1 [ 52 , 1 , 2 ] := ( PLOT [ 52 ] + PLOT [ 51 ]
    + PLOT [ 36 ] ) * 0.33333333;
VARREP [ 53 ] := 0;
REP1 [ 53 , 0 , 0 ] := REP1 [ 52 , 0 , 1 ];
REP1 [ 53 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 53 ] + PLOT [ 54 ] ) * 0.5;
REP1 [ 53 , 1 , 0 ] := REP1 [ 52 , 1 , 1 ];
REP1 [ 53 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 53 ] + PLOT [ 54 ]
    + PLOT [ 36 ] ) * 0.33333333;
VARREP [ 54 ] := 1;
REP1 [ 54 , 0 , 0 ] := REP1 [ 53 , 0 , 1 ];
REP1 [ 54 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 54 ] + PLOT [ 55 ] ) * 0.5;
REP1 [ 54 , 1 , 0 ] := REP1 [ 53 , 1 , 1 ];
REP1 [ 54 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 54 ] + PLOT [ 55 ]
    + PLOT [ 37 ] ) * 0.33333333;
REP1 [ 54 , 0 , 2 ] := 3.75;
REP1 [ 54 , 1 , 2 ] := ( PLOT [ 54 ] + PLOT [ 36 ]
    + PLOT [ 37 ] ) * 0.33333333;

```

```

VARREP [ 55 ] := 1;
REP1 [ 55 , 0 , 0 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 54 ] ) * 0.5;
REP1 [ 55 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 56 ] ) * 0.5;
REP1 [ 55 , 1 , 0 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 54 ]
                        + PLOT [ 37 ] ) * 0.33333333;
REP1 [ 55 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 56 ]
                        + PLOT [ 38 ] ) * 0.33333333;
REP1 [ 55 , 0 , 2 ] := 11.25;
REP1 [ 55 , 1 , 2 ] := ( PLOT [ 55 ] + PLOT [ 37 ]
                        + PLOT [ 38 ] ) * 0.33333333;

FOR I := 1 TO 7 DO
BEGIN
  VARREP [ 53 + I * 3 ] := 0;
  REP1 [ 53 + I * 3 , 0 , 0 ] := REP1 [ 52 + I * 3 , 0 , 1 ];
  REP1 [ 53 + I * 3 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 53 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I * 3 ] ) * 0.5;
  REP1 [ 53 + I * 3 , 1 , 0 ] := REP1 [ 52 + I * 3 , 1 , 1 ];
  REP1 [ 53 + I * 3 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 53 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I * 3 ]
                                  + PLOT [ 36 + I * 2 ] ) * 0.33333333;

  VARREP [ 54 + I * 3 ] := 1;
  REP1 [ 54 + I * 3 , 0 , 0 ] := REP1 [ 53 + I * 3 , 0 , 1 ];
  REP1 [ 54 + I * 3 , 0 , 1 ] := ( PLOT [ 54 + I * 3 ] + PLOT [ 55 + I * 3 ] ) * 0.5;
  REP1 [ 54 + I * 3 , 1 , 0 ] := REP1 [ 53 + I * 3 , 1 , 1 ];
  REP1 [ 54 + I * 3 , 1 , 1 ] := ( PLOT [ 54 + I * 3 ] + PLOT [ 55 + I * 3 ]
                                  + PLOT [ 37 + I * 2 ] ) * 0.33333333;
  REP1 [ 54 + I * 3 , 0 , 2 ] := 3.75;
  REP1 [ 54 + I * 3 , 1 , 2 ] := ( PLOT [ 54 + I * 3 ] + PLOT [ 36 + I * 2 ]

```



```

+ PLOT [ 37 + I * 2 ] ) * 0.33333333;
IF (55 + I * 3 ) > 75 THEN
    BREAK;
VARREP [ 55 + I * 3 ] := 1;
REP1 [ 55 + I * 3 , 0, 0 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I * 3 ] ) * 0.5;
REP1 [ 55 + I * 3 , 0, 1 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 56 + I * 3 ] ) * 0.5;
REP1 [ 55 + I * 3 , 1, 0 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 54 + I * 3 ]
    + PLOT [ 37 + I * 2 ] ) * 0.33333333;
REP1 [ 55 + I * 3 , 1, 1 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 56 + I * 3 ]
    + PLOT [ 38 + I * 2 ] ) * 0.33333333;
REP1 [ 55 + I * 3 , 0, 2 ] := 11.25;
REP1 [ 55 + I * 3 , 1, 2 ] := ( PLOT [ 55 + I * 3 ] + PLOT [ 37 + I * 2 ]
    + PLOT [ 38 + I * 2 ] ) * 0.33333333

```

END

end

;

procedure TFMGLAV.knRisClick(Sender: TObject);

VAR

LEV, VERH, SHIRINA, VYSOTA, NIZ, SHAG, X1, Y1, NZONY : WORD;

MASH, A1, A2 : DOUBLE;

begin

// FMRIS.Show;

WITH FMRIS DO

BEGIN

RIS.Canvas.Brush.Color := CLWHITE;

RIS.Canvas.FillRect(0,0, RIS.Width, RIS.Height);

RIS.Canvas.Brush.Color := CLGRAY;

```
RIS.Canvas.Pen.Color := CLBLACK;
```

```
LEV := 8; VERH := 8;
```

```
SHIRINA := RIS.Width - 2 * LEV ;
```

```
VYSOTA := RIS.Height - 2 * VERH - 20; NIZ := VERH + VYSOTA;
```

```
SHAG := SHIRINA DIV 24; MASH := VYSOTA / MAX_P;
```

```
FOR NZONY := 52 TO 75 DO
```

```
BEGIN
```

```
  X1 := LEV + ( NZONY - 52 ) * SHAG;
```

```
  Y1 := VERH + VYSOTA - ROUND ( PLOT [ NZONY ] * MASH );
```

```
  RIS.Canvas.TextOut( X1 + 3, NIZ + 4, ' ' + INTTOSTR ( NZONY ) + ' ');
```

```
  RIS.Canvas.FillRect( X1, Y1, X1+SHAG, NIZ );
```

```
  RIS.Canvas.Rectangle( X1, Y1, X1+SHAG, NIZ );
```

```
  Y1 := VERH + VYSOTA - ROUND ( REP1 [ NZONY, 0, 1 ] * MASH );
```

```
  RIS.Canvas.TextOut( X1 + SHAG - 6, Y1-4, '>');
```

```
  Y1 := VERH + VYSOTA - ROUND ( REP1 [ NZONY, 0, 0 ] * MASH );
```

```
  RIS.Canvas.TextOut( X1, Y1-4, '<')
```

```
END
```

```
;
```

```
RIS.Canvas.Brush.Color := CLBLUE;
```

```
FOR NZONY := 52 TO 75 DO
```

```
BEGIN
```

```
  X1 := LEV + ( NZONY - 52 ) * SHAG;
```

```
  Y1 := VERH + VYSOTA - ROUND ( REP1 [ NZONY, 1, 1 ] * MASH );
```

```
  RIS.Canvas.FillRect(X1 + SHAG - 8, Y1-2, X1 + SHAG - 4, Y1+2);
```

```
  Y1 := VERH + VYSOTA - ROUND ( REP1 [ NZONY, 1, 0 ] * MASH );
```

```
  RIS.Canvas.FillRect(X1, Y1-2, X1 + 4, Y1+2)
```

END

;

FOR NZONY := 52 TO 75 DO

BEGIN

A1 := REP1 [NZONY , 0, 2];

A2 := 15 - A1;

REPC [NZONY] := fZc (REP1 [NZONY, 0, 0], REP1 [NZONY, 0, 1],

REP1 [NZONY, 1, 0], REP1 [NZONY, 1, 1], INTENS [1, NZONY],

REP1 [NZONY, 1, 2],

15 * GVR, A1 * GVR, A2 * GVR, 20 * GVR, 0, VARREP [NZONY])

end

;

RIS.Canvas.Brush.Color := CLBLACK;

FOR NZONY := 52 TO 75 DO

BEGIN

X1 := LEV + (NZONY - 52) * SHAG + SHAG DIV 2 - 3 ;

Y1 := ROUND (REPC [NZONY] * MASH);

IF Y1 > VYSOTA THEN

Y1 := VYSOTA;

Y1 := VERH + VYSOTA - Y1;

RIS.Canvas.FillRect(X1 , Y1-3, X1 + 6, Y1+3)

END

;

RIS.Canvas.PEN.Color := CLBLACK;

RIS.Canvas.MoveTo(LEV + SHAG DIV 2,

VERH + VYSOTA - ROUND (REPC [52] * MASH))

;

```
FOR NZONY := 53 TO 75 DO
BEGIN
  X1 := LEV + ( NZONY - 52 ) * SHAG + SHAG DIV 2 - 3 ;
  Y1 := ROUND ( REPC [ NZONY ] * MASH );
  IF Y1 > VYSOTA THEN
    Y1 := VYSOTA;
  Y1 := VERH + VYSOTA - Y1;
  RIS.Canvas.LineTo( X1, Y1 )
END
END
;
FMRIS.Show
end
;
end.
```

Приложение В

implementation

{ \$R *.lfm }

USES PPZC;

{ TForm1 }

CONST

GVR = PI/180;

RVG = 1/GVR;

procedure TForm1.KN_REZClick(Sender: TObject);

VAR

Z00, Z0A, ZB0, ZBA, ZSR, ZC, ZD,

A, A1, A2, B, S, CHISL, BC, BC2, DOB : DOUBLE;

NV : WORD;

begin

NV := CBOX.ItemIndex;

Z00 := sTRTOFLOAT (POL_Z00.Text);

Z0A := sTRTOFLOAT (POL_Z0A.Text);

ZB0 := sTRTOFLOAT (POL_ZB0.Text);

ZBA := sTRTOFLOAT (POL_ZBA.Text);

ZSR := sTRTOFLOAT (POL_ZSR.Text);

IF NV > 0 THEN

BEGIN

ZD := sTRTOFLOAT (POL_ZD.Text);

A1 := sTRTOFLOAT (POL_A1.Text);

A2 := sTRTOFLOAT (POL_A2.Text);

```

A := A1 + A2;
  A1 := A1 * GVR; A2 := A2 * GVR;
end
ELSE
  A := sTRTOFLOAT ( POL_A.Text );
  B := sTRTOFLOAT ( POL_B.Text );
  DOB := sTRTOFLOAT ( POL_DOB.Text );

A := A * GVR; B:= B * GVR; DOB := DOB * GVR;
S := ( SIN ( DOB + B ) - SIN ( DOB ) ) * A ;

POL_S.Text:= FLOATTOSTR ( S );

CHISL := ZSR * S;

POL_CHIS.Text:= FLOATTOSTR ( CHISL );

ZC := fZc ( Z00, Z0A, ZB0, ZBA, CHISL, ZD,
  A, A1, A2, B, DOB, NV )
;
POL_ZC.Text := FLOATTOSTR( ZC )

end;

procedure TForm1.CBoxChange(Sender: TObject);
begin

  IF CBOX.ItemIndex = 0 THEN
  BEGIN
    POL_A.Visible:= TRUE;

```

```
POL_A1.Visible:= FALSE; POL_A2.Visible:= FALSE
end
ELSE
BEGIN
    POL_A.Visible:= FALSE;
    POL_A1.Visible:= TRUE; POL_A2.Visible:= TRUE
end
end;
end.
```