

Компьютерная программа расчета баллистических характеристик столкновения астероида (кометы) с Землей

В. Е. Чеботарев, Д. Н. Шмаков
г. Железногорск Красноярского края

Представлено описание компьютерной программы расчета баллистических характеристик столкновения небесного тела (астероида, кометы) с Землей, показаны её возможности в части моделирования различных этапов полета небесного тела в межпланетном пространстве и в сфере притяжения Земли до точки столкновения с поверхностью.

В сфере притяжения Земли (ближний космос) используется расчетный модуль динамического движения, позволяющий получать графическую модель сближения небесного тела с поверхностью Земли.

При анализе параметров движения в межпланетном пространстве используется гелиоцентрическая эклиптическая система координат. Для связи параметров небесного тела в межпланетном пространстве и в сфере притяжения Земли используется модуль численного интегрирования параметров движения.

Для выявления зависимостей используется графический модуль изображения движения. В целом программный продукт построен по принципу самодостаточности, т. е. все вопросы анализа решаются собственными средствами.

Движение небесного тела может моделироваться как прямое, до момента столкновения с Землей, так и обратное (ретродвижение) – от точки столкновения с Землей и обратно в окружающее межпланетное пространство.

Если точка встречи небесного тела с Землей известна, то удобнее использовать ретродвижение. Это позволяет при известных параметрах встречи небесного тела с Землей (скорость, наклон траектории полета, высота, широта, долгота точки) восстановить траекторию небесного тела в межпланетном пространстве (в гелиоцентрической эклиптической системе координат).

Начало ретродвижения задаётся в Земной гринвичской системе координат (рис. 1):

- 1) геодезические координаты небесного тела – высота (h_0), долгота (α_0), широта (φ_0);
- 2) параметры движения небесного тела – склонение, азимут и скорость (V_0);
- 3) эпоха – дата и время начала движения;
- 4) баллистический коэффициент небесного тела;
- 5) интервал обратного прогнозирования движения, после которого определяется орбита небесного тела в гелиоцентрической эклиптической системе координат.

Угловые меры приводятся в градусах, расстояния в километрах, скорость в километрах в секунду. Отрицательное значение склонения указывает на движение в сторону Земли. Используется московское декретное время (МДВ).

The screenshot shows a software window titled "Комплекс программ общей баллистики" (Complex of programs for general ballistics). The main section is "Эклиптические параметры" (Ecliptic parameters). At the top, there is a dropdown menu for "Номер" (Number) with the value "90". Below this, the "Начальные условия" (Initial conditions) section contains several input fields: "Широта" (Latitude) with value "60", "Долгота" (Longitude) with "100", "Высота" (Height) with "10", "Склонение" (Declination) with "-20", "Азимут" (Azimuth) with "90", "Скорость" (Speed) with "20", "Дата" (Date) with "30.06.2006", "Время" (Time) with "3:00:00", "Б.К." (Ballistic coefficient) with "0.0", and "И. П., сутки" (Interval, days) with "5". To the right, the "Активный Параметр" (Active parameter) section has radio buttons for "Широта", "Долгота", "Высота", "Склонение", "Азимут" (which is selected), "Скорость", "Дата Время", "Б.К.", and "Интервал". There are also input fields for "Кол-во" (Quantity) with value "1" and "Шаг" (Step) with value "0". At the bottom, there are buttons for "Информация (счет)", "Записать в БД", "Просмотр графиков (0-5)", and "Возврат".

Рис. 1. Исходные данные

Программа построена по принципу ретродвижения от точки над поверхностью Земли с заданной высотой, долготой, широтой и вектором скорости (эпицентр встречи). Вектор скорости задается в местной горизонтальной системе координат: склонение, азимут и скорость. Далее моделируется обратное движение небесного тела интегрированием его движения с определением параметров орбиты в Земной и Солнечной системах координат. Для Земной системы координат показываются зоны видимости небесного тела на поверхности Земли, трасса движения, зоны тени и другие параметры для каждого момента времени. Имеется

возможность исследовать движение одновременно по нескольким траекториям, задаваемым с определенным шагом по азимуту или склонению.

Для примера, иллюстрируя систему координат, на рис. 2 показано движение небесного тела по восьми траекториям с различными азимутами, при этом нумерация траекторий совпадает с азимутом движения. Параметры движения, за исключением азимута, приведены на рис. 1.

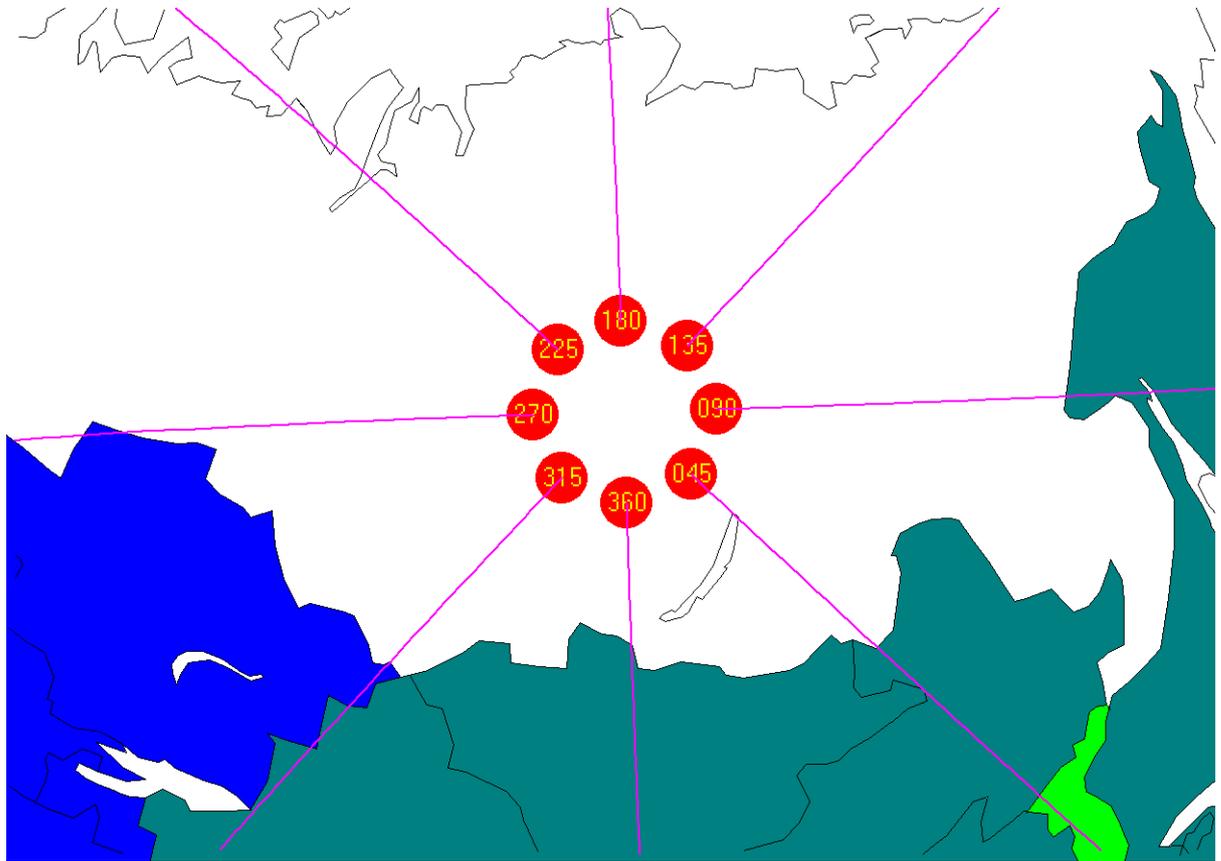


Рис. 2. Трассы небесного тела в земной системе координат

На завершающем движении небесного тела в земной атмосфере интерес представляют следующие факторы:

- 1) видимость небесного тела с поверхности Земли в различные моменты времени;
- 2) изменение баллистических параметров движения во времени и проекция траектории движения на поверхность вращающейся Земли;
- 3) условия солнечной освещенности как небесного тела, так и в зоне наблюдателей на поверхности Земли.

Рассмотрим возможности программы на примерах.

На рис. 3 показан режим движения небесного тела с его зоной видимости на момент времени за 10 с до эпицентра, точками отмечены зарегистрированные наблюдатели.

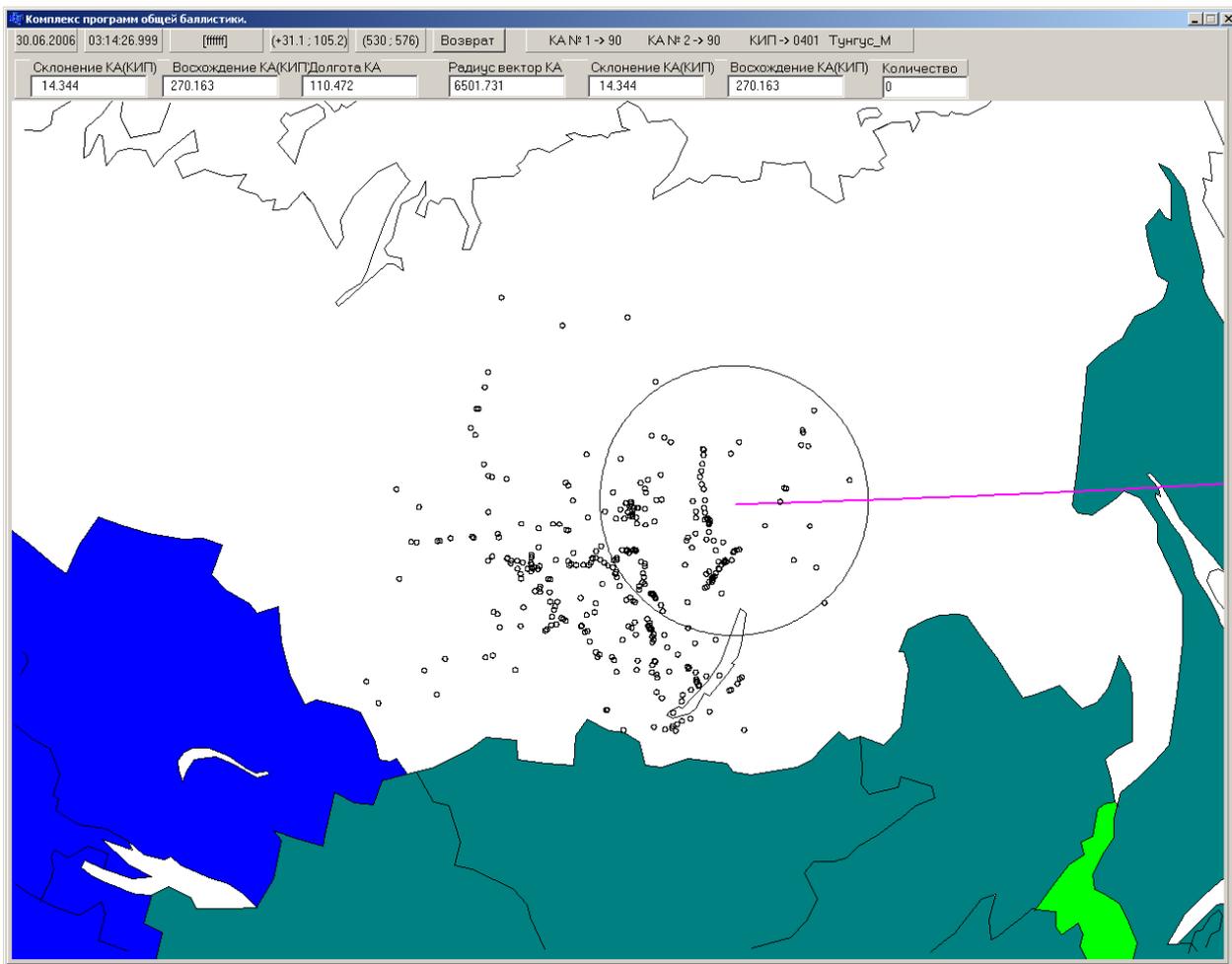


Рис. 3. Зона видимости небесного тела

На рис. 4 показано положение небесного тела (090), трасса на поверхности Земли на часовом интервале, проекция положения Солнца на поверхность Земли (250° в.д., 20° с.ш.), зона дня и ночи (небесное тело на дневной стороне), зона захода небесного тела в тень Земли (нижняя кривая).

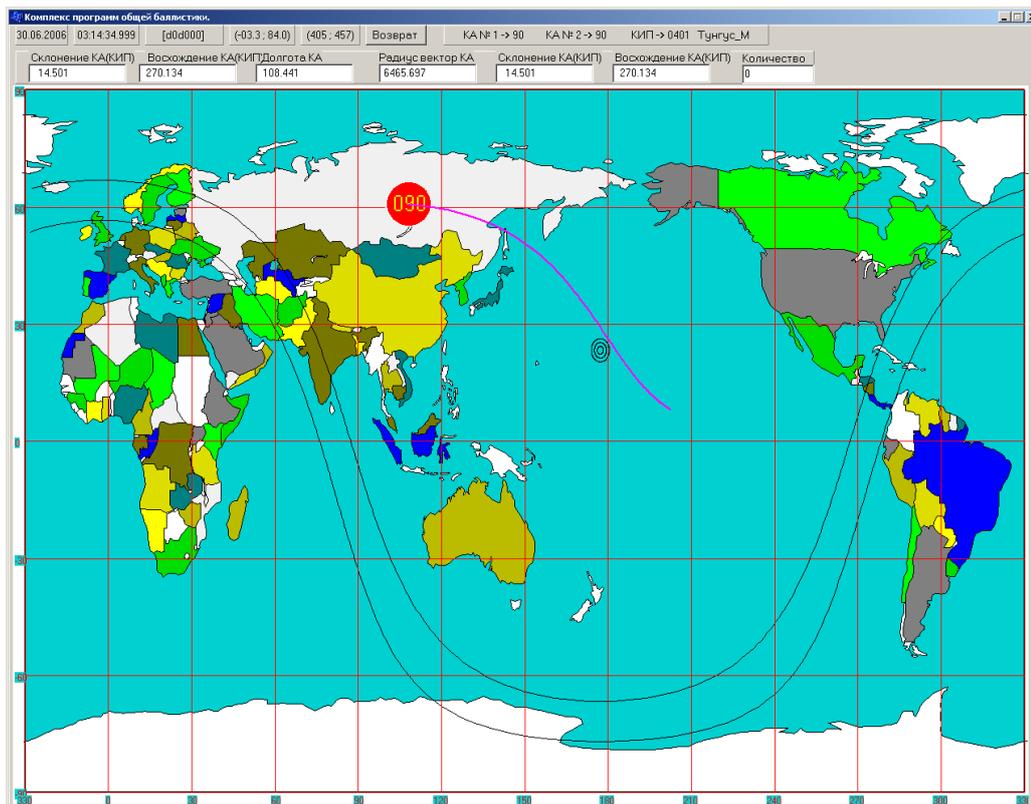


Рис. 4. Параметры освещенности

На рис. 5 показано движение небесного тела одновременно по нескольким траекториям. При интегрировании параметров ретродвижения небесного тела после выхода из зоны притяжения земли формируются его оскулирующие эллиптические параметры.

Главным фактором выхода небесного тела в дальний космос является скорость. Если скорость мала, то небесное тело не покидает орбиту Земли. То есть при этих исходных данных небесное тело не могло прилететь из дальнего космоса.

При выходе из зоны притяжения Земли выдаются эллиптические параметры:

- большая полуось $-a$;
- эксцентриситет $-e$;
- аргумент перигелия $-w$;
- эксцентрическая аномалия $-M_0$;
- долгота восходящего узла $-W$;
- наклонение i .

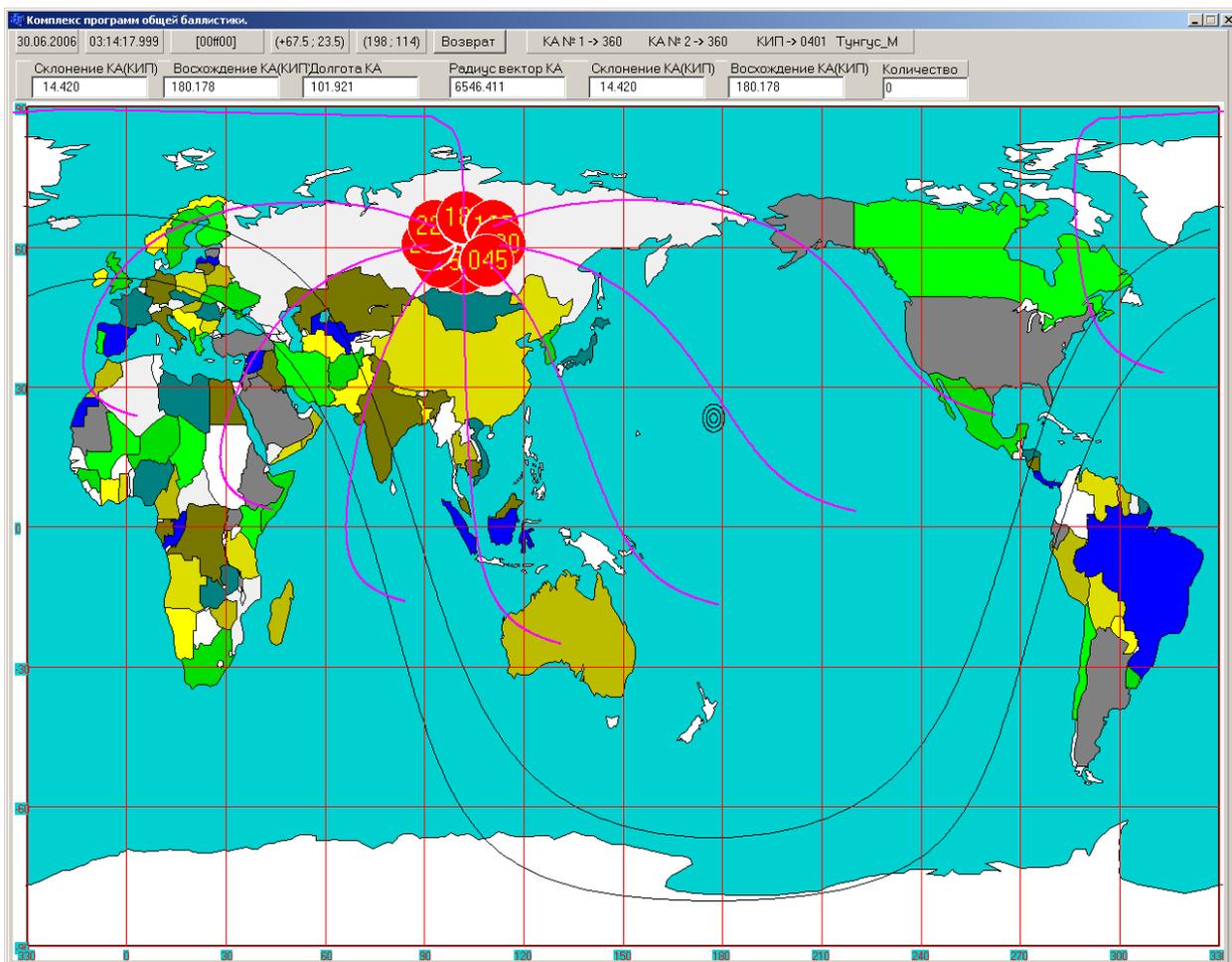


Рис. 5. Параметры освещенности группы трасс

Начальные условия могут изменяться в заданных диапазонах с определенным шагом, что позволяет получать динамику изменения параметров орбиты. Для этого используется встроенный в программу модуль построения графиков.

В следующем примере покажем влияние изменения азимута на параметры орбиты: большая полуось (рис. 6); эксцентриситет (рис. 7); наклонение (рис. 8).

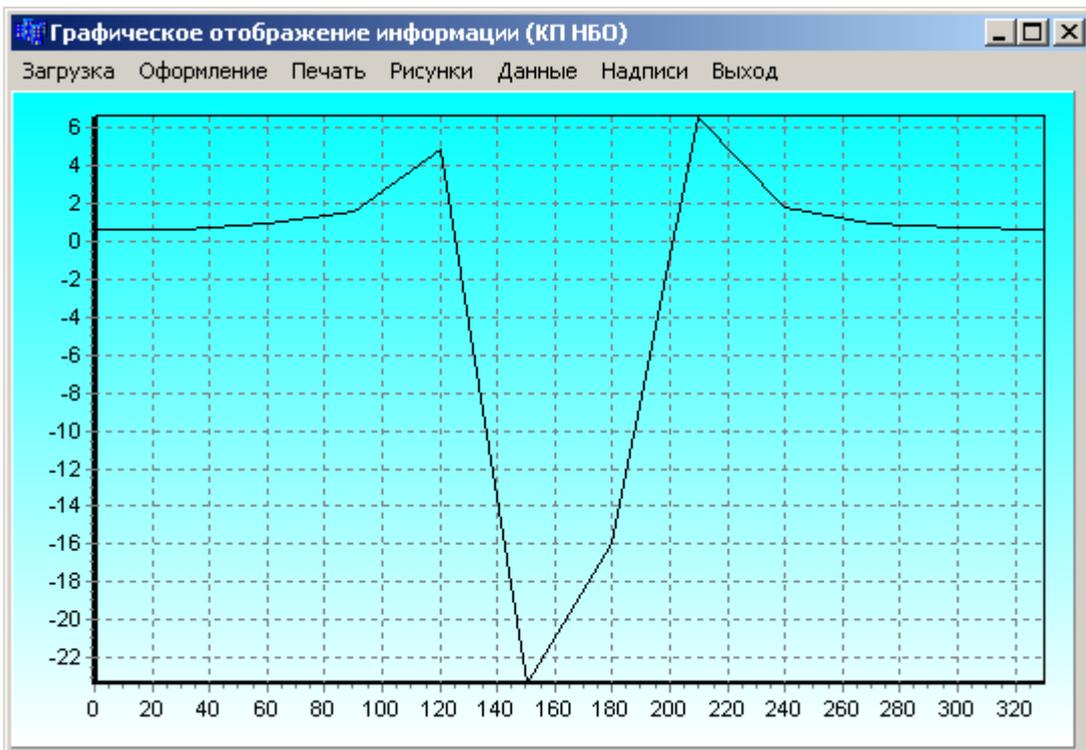


Рис. 6. Зависимость большой полуоси от азимута

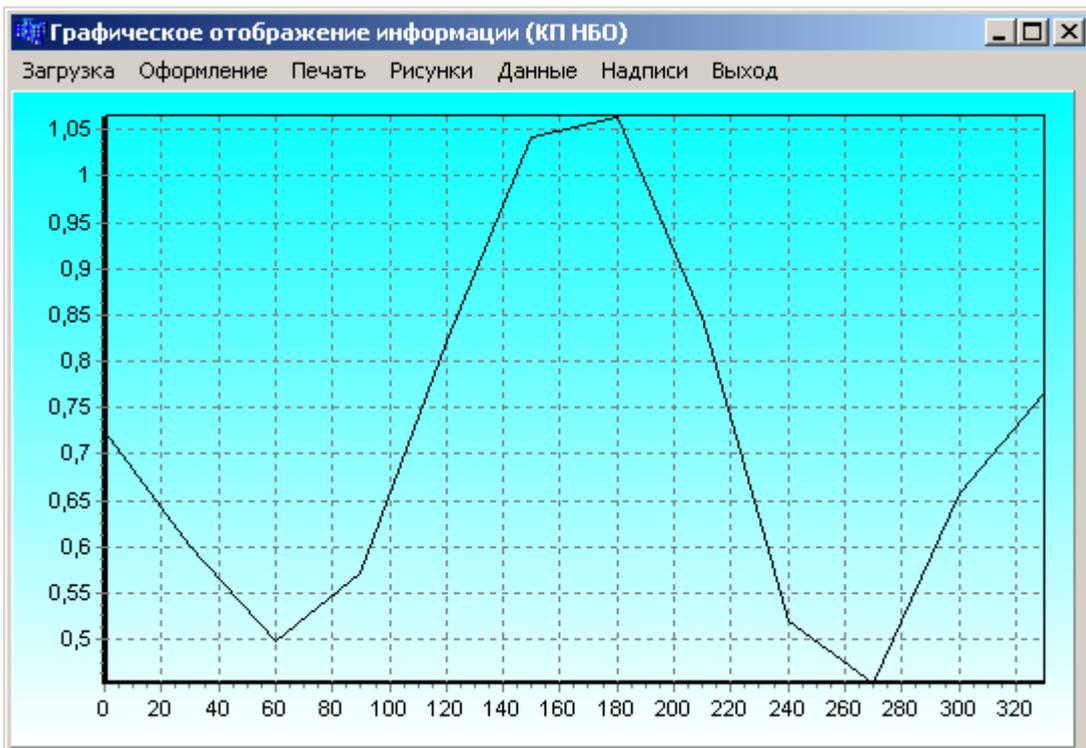


Рис. 7. Зависимость эксцентриситета от азимута

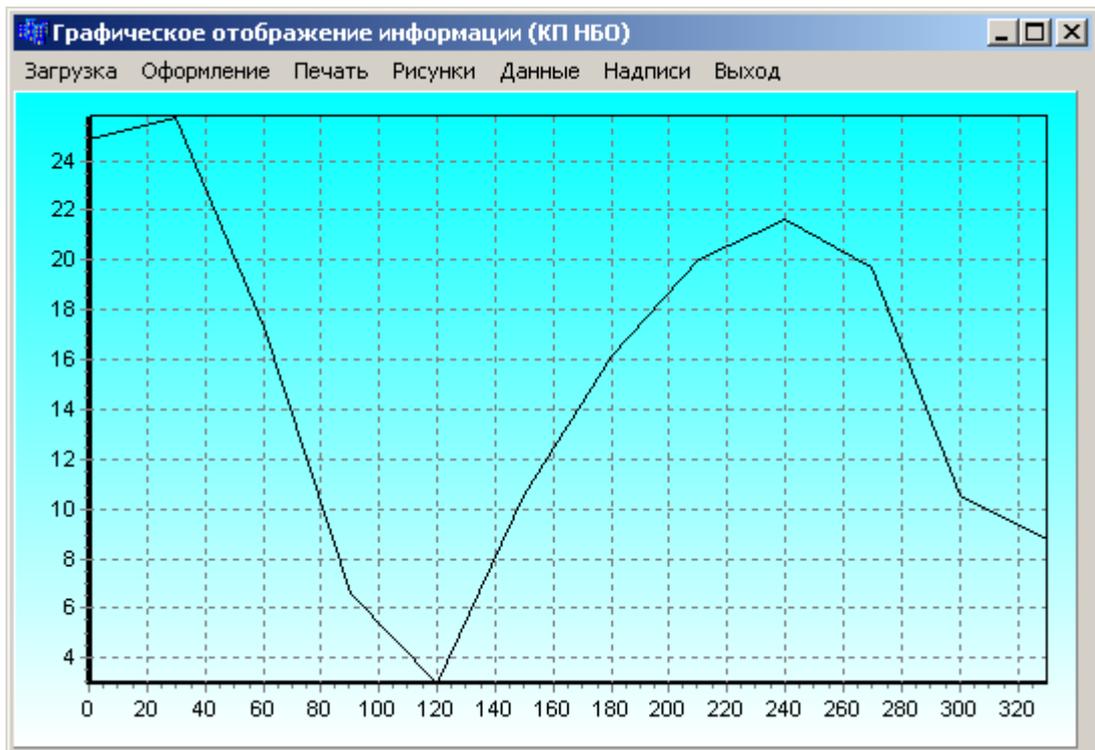


Рис. 8. Зависимость наклона от азимута

Программа учитывает торможение атмосферы по баллистическому коэффициенту для случая его постоянного значения. Для моделирования реального процесса торможения боида в атмосфере земли необходимо ввести дополнительно алгоритм, учитывающий динамику изменения баллистического коэффициента.

Программа позволяет проводить обширный анализ баллистических параметров небесного тела при встрече их с Землей.