

**А. Ф. Беленов**  
ГБОУ ДПО «НИРО»

## ЗАДАЧА АСТРОМЕХАНИКИ: «УБЕГАНИЕ ОТ ВЗРЫВА КОМЕТЫ»

Ключевые слова: комета ISON, радиальный разлет.

Рассмотрены две модели ухода космического аппарата от осколков разорвавшейся кометы:

1. Движение корабля с постоянной скоростью.
2. Движение корабля с постоянным ускорением.

Результатами графического моделирования с использованием программы Advanced Grapher стало определение области допустимых кинематических характеристик аппарата (направление движения, скорость, ускорение) для безопасного движения.

29.11.2013, в 22.45 мск комета ISON (International Scientific Optical Network) должна была пролететь на минимальном расстоянии от Солнца – в 1,16 миллиона километров, но еще до этого момента ядро кометы разрушилось, превратившись в облако пыли. Если бы вблизи кометы находился космический аппарат, то участь его могла бы быть весьма драматической. Поэтому решение задачи о безопасном «уходе» корабля от осколков кометы после взрыва последней представляется довольно актуальной. Автор предлагает рассмотрение данного вопроса в рамках физической модели, доступной для старших школьников и студентов. Подобная задача предлагалась на городской олимпиаде школьников по астрофизике, проведенной на базе ИПФ РАН в 2015 году. В настоящей работе сделано некоторое обобщение задачи на случай произвольного направления прямолинейного движения космического аппарата. Рассмотрено 2 модели «убегания» при постоянной радиальной скорости осколков относительно ядра кометы:

1. Постоянная скорость корабля.
  2. Постоянное ускорение корабля с нулевой начальной скоростью.
1. Движение аппарата с постоянной скоростью.

$$A: (x - V_A t)^2 + y^2 = (V_P t)^2$$

$$K: x = L + (V_K \cos \alpha)t$$

$$y = (V_K \sin \alpha)t$$

$$\text{ВСТРЕЧА: } at^2 + bt + c = 0$$

$$a = (V_K \cos \alpha - V_A)^2 + (V_K \sin \alpha)^2 - V_P^2$$

$$b = 2L(V_K \cos \alpha - V_A)$$

$$c = L^2$$

УСЛОВИЕ

НЕ - ВСТРЕЧИ:

$$D = b^2 - 4ac < 0$$

ИЛИ

ОТРИЦАТЕЛЬНОСТЬ

КОРНЕЙ:

$$\frac{b}{a} > 0$$

$$\frac{c}{a} > 0$$

Прокомментируем написанные выше уравнения движения. Буква «А»: соответствует уравнениям движения осколков разорвавшейся кометы – радиальный разлет относительно центра масс ( $V_A$  – первоначальная скорость ядра кометы,  $V_P$  – скорость осколков относительно ядра). Буква «К»: соответствует уравнениям движения космического аппарата ( $V_K$  – модуль скорости аппарата).  $L$  – начальное расстояние между ядром кометы и кораблем в момент взрыва кометы. Предполагается, что ядро кометы в момент взрыва двигалось навстречу космическому кораблю. Корабль пролетит мимо поля осколков, если решений для времени встречи (равенство координат осколков

и корабля) не будет, или корни уравнения встречи будут отрицательны (начало отсчета времени выбрано в момент взрыва). Решение системы неравенств, описывающей данные условия, получены с помощью программы Advanced Grapher и представлено ниже в виде графика на плоскости  $V_K - \alpha$  (угол между направлением движения ядра кометы и направлением скорости корабля, на графике – модуля).

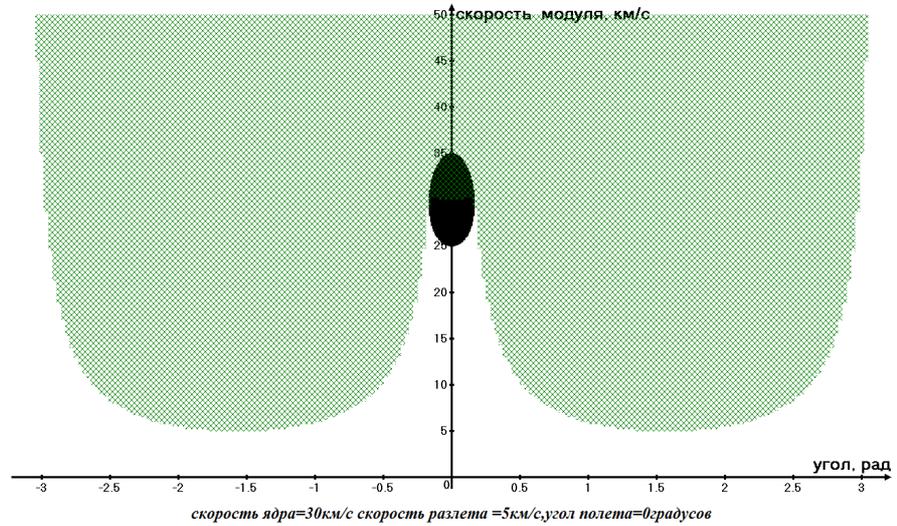


Рис. 1. График зависимости  $V_K$  от  $\alpha$

Для выбранных  $V_A = 30 \text{ км/с}$  и  $V_P = 5 \text{ км/с}$  безопасные области значений  $V_K$  и  $\alpha$  – это участки, заштрихованы сеткой, за исключением черного овала. Важной с практической точки зрения особенностью полученного результата является возможность движения космического модуля со скоростью, существенно меньшей суммы скоростей ядра кометы и разлета относительно этого ядра – при движении перпендикулярно направлению движения ядра можно двигаться со скоростью разлета осколков.

Движение корабля с постоянным ускорением и нулевой начальной скоростью.

$$A: (x - V_A t)^2 + y^2 = V_P^2 t^2$$

$$K: x = L + (a \cos \alpha) \frac{t^2}{2}$$

$$y = (a \sin \alpha) \frac{t^2}{2}$$

Обозначения скоростей осколков и ядра кометы такие же, как и в предыдущей задаче,  $a$  – ускорение корабля. Уравнение для времени встречи – это уравнение четвертого порядка. Исследование такого «трехмерного» уравнения с целью поиска областей отсутствия решений по параметрам –  $L, \alpha, a$  – задача достаточно математически громоздкая. Автор пошел по другому пути – решил двумерную задачу для безопасных удалений  $L$  и направлений движения корабля  $\alpha$  при заданном ускорении  $a$  космического аппарата. Ускорение выбрано из условия предельных перегрузок пилотируемого аппарата –  $10g$ . Сначала были построены кривые решений уравнения встречи  $t(\alpha)$  при задании, кроме ускорения, ряда начальных удалений  $L$  (Advanced Grapher):

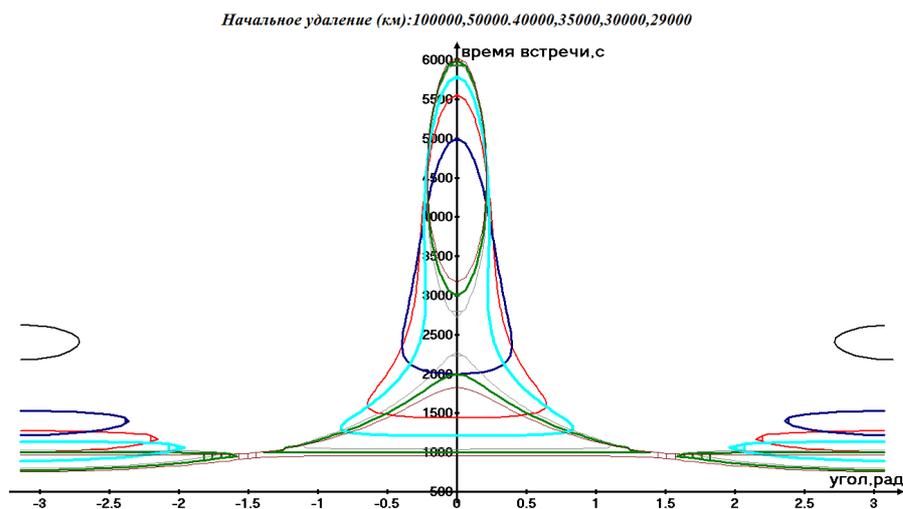


Рис. 2. Кривые решений уравнения встречи  $t(\alpha)$

Затем, на основании анализа огибающей семейства кривых  $t(\alpha)$ , был построен график  $L(\alpha)$ , определяющий область безопасного полета:

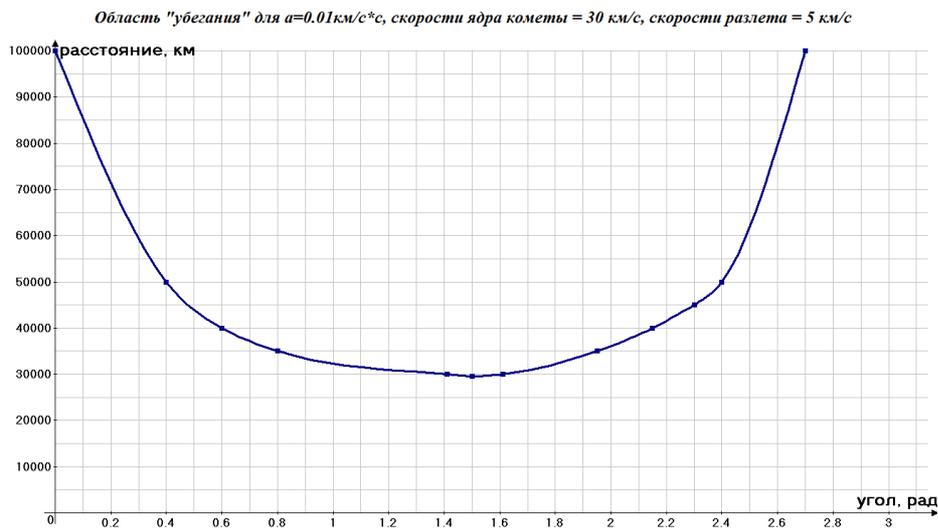


Рис. 3. График  $L(\alpha)$ , определяющий область безопасного полета

Область значений  $L, \alpha$ , при которых не будет встречи корабля и осколков кометы, расположена выше кривой  $L(\alpha)$ . При выбранном ускорении корабля 10g и скоростях ядра и осколков кометы наименьшее возможное начальное удаление корабля от ядра кометы в момент ее взрыва равно 30 000 км, причем двигаться нужно в направлении, перпендикулярном скорости ядра кометы.

В заключении, автор хотел бы поблагодарить Сергея Тарасова, выпускника НОЦ, ныне – научного сотрудника ИПФ РАН за постановку подобной задачи для вышеупомянутой олимпиады школьников по астрофизике, а также заведующего кафедрой общей физики ФГБОУ ВПО «ВГУВТ» профессора Евгения Николаевича Мясникова за ценные замечания и пожелания.

**Список литературы:**

- [1] Невский В. // ISON- Большая комета из России. Журнал Небосвод, 2012. №10. С. 6–9.  
[2] Понпамперума С.// Кометы и происхождение жизни: Пер. с англ. Д.Б. Кирпониной, В.В.Рябина – М.: Мир, 1984.

**Е.Я. Бубнов**  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**В.В. Гуцин**  
ФГБНУ «НИРФИ»

## **СТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДАВЛЕНИЯ САМОЛЕТА**

Ключевые слова: летательные аппараты, аэродинамика, поле давления, теория, эксперимент.

В работе анализируются возможные механизмы генерации аэродинамических полей давления в атмосфере, создаваемые летательными аппаратами при их движении и приводятся соответствующие теоретические модели. На основе проведенных полевых измерений обсуждаются результаты экспериментальных исследований временных характеристик инфразвуковых полей давления гражданских воздушных судов.

### **Введение**

Акустические поля летательных аппаратов (ЛА) детально исследовались в диапазоне частот десятки герц – десятки тысяч герц в задачах снижения шумности воздушного транспорта. [1-2]. Изучению нераспространяющихся (аэродинамических) полей давления воздушных объектов уделено мало внимания, хотя эта проблема представляет научный интерес в связи с неисследованными ранее физическими механизмами возбуждения и отсутствием в литературе соответствующих экспериментальных данных. Прикладной характер этих исследований заключается в определении влияния и воздействия таких инфразвуковых сигналов на живые организмы и сооружения. Цель настоящей работы заключается в теоретическом обосновании механизмов возбуждения статических полей давления летательных аппаратов и в их экспериментальном обнаружении.

### **Анализ теоретических моделей возникновения статических полей давления самолетов**

При движении летательного аппарата возмущения газовой среды в виде локальных изменений давления или скорости движения частиц среды вызываются следующими причинами. Одним из таких механизмов является силовое воздействие на среду в системе «крыло – среда» или «винт – среда» движущегося самолета или вертолета. Другим источником возникновения низкочастотного поля давления может быть процессы обтекания потоком газа фюзеляжа летательного аппарата, но в связи с тем, что планеры летательных аппаратов имеют обтекаемую форму, этот аэродинамический источник возмущения будет проявляться в непосредственной близости от объекта. Необходимо отметить еще один возможный источник локального возмущения давления, создаваемого ЛА. Турбулентное истечение газовой струи, созданное работой турбореактивного двигателя или винта самолета, вызывает дополнительное течение окружающего газа к струе. Теоретический расчет характеристик статического давления, обусловленного этим вторичным течением, выполнен в работах [3, 4] и проводится ниже.