

УДК 533.6.048:629.783

Экспериментальные результаты определения аэродинамических характеристик спутников в свободномолекулярном потоке газа

В. А. Шабохин

Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

Надійшла до редакції 05.02.98

Наведені значення коефіцієнта аеродинамічного опору, отримані на основі результатів обробки експериментальних даних з гальмування супутників.

Исследования проведены по результатам обработки 3132 измерений параметров орбит спутников серии «Космос» (полеты 1962—1972 гг.), которые имели форму, близкую к сфере [1, 2], для высот перигея 180—300 км и значений эксцентриситета 0—0.11.

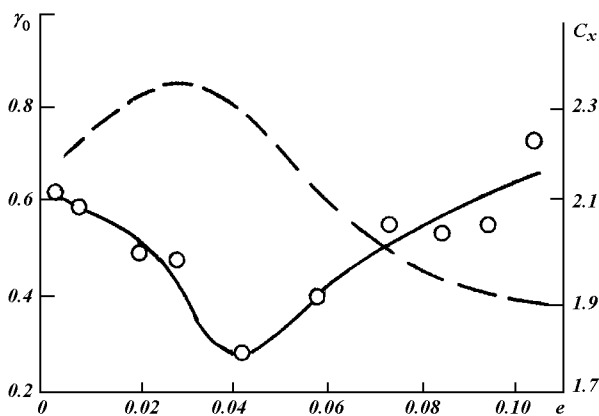
В результате исследований обнаружено, что опытные значения C_x , независимо от материала поверхности спутников, в среднем меньше расчетных на 8 % (расчетные значения получены с использованием полностью диффузной схемы взаимодействия). При этом была обнаружена корреляция опытного значения C_x с параметрами орбиты: эксцентриситетом e и высотой перигея h_p . Так, корреляционные отношения, характеризующие нелинейную стохастическую связь, составили $\eta(C_x, e) = 0.4$; $\eta(C_x, h_p) = 0.41$. Полученные опытные значения C_x могут быть обусловлены как ошибками принятой модели плотности атмосферы, так и изменением аэродинамических характеристик спутников в зависимости от характера взаимодействия потока с поверхностью на различных участках орбитального полета. Для исключения ошибок определения плотности атмосферы все измерения были разбиты на классы по величине средней скорости торможения dT/dN (изменение периода обращения за N -мерных витков) и усред-

нены по совокупности измерений. Тем самым в оценках средних значений существенно уменьшается влияние случайных флуктуаций плотности. В табл. 1 приведены величины генеральных средних значений C_x с доверительной вероятностью 0.95.

Таблица 1. Генеральные средние значения C_x

Пределы изменения (доверительный диапазон)	Число измерений	Среднее квадратичное отклонение
$1.67 \leq 1.78 \leq 1.89$	202	0.78
$1.75 \leq 1.86 \leq 1.97$	262	0.87
$1.87 \leq 1.98 \leq 2.09$	263	0.90
$1.95 \leq 2.04 \leq 2.13$	405	0.92
$2.04 \leq 2.15 \leq 2.26$	257	0.86
$2.10 \leq 2.20 \leq 2.30$	278	0.80
$2.18 \leq 2.30 \leq 2.42$	220	0.87
$2.27 \leq 2.37 \leq 2.47$	265	0.81

Разброс значений C_x относительно математического ожидания составляет $2.17^{+9.2\%}_{-18\%}$, а относительное значения, полученного по полностью диффузной схеме, — $2.36^{+0.06\%}_{-25.0\%}$.



Характер изменения C_x в зависимости от эксцентриситета при постоянном перигее: кружки — экспериментальные данные; пунктирная линия — доля атомарного кислорода γ_0 (шкала справа)

Результаты проверки значимости различий между полученными в каждом классе математическими ожиданиями C_x , проведенной с использованием методов однофакторного дисперсионного анализа, показали, что различиями между математическими ожиданиями пренебрегать нельзя.

В дальнейшем все измерения орбит были разбиты на двухпараметрические классы $C_x = C_x(h_p, e)$, из которых выделен класс для $h_p = 180 \dots 210$ км. Для указанного класса имелись экспериментальные данные для значений эксцентриситета $e = 0 \dots 0.1$. Характер изменения C_x в зависимости от эксцентриситета при постоянном перигее показан на рисунке.

Для выяснения причины такого поведения C_x рассчитано суммарное количество молекул, падающих на поверхность спутника в единицу времени и за виток, определено количество энергии приносимой молекулами на поверхность в единицу времени и за виток. Оказалось, что с увеличением эксцентриситета указанные параметры монотонно уменьшаются.

На указанных высотах перигея основными компонентами атмосферы являются атомарный кислород, азот и гелий. Для приведенных на рисунке параметров орбит была подсчитана средняя за виток доля этих компонентов, падающих на поверхность КА в единицу времени. Результаты расчета показали, что с увеличением эксцентриситета доля азота уменьшается, доля гелия увеличивается, а характер изменения доли атомарного кислорода показан на рисунке пунктирной линией. Расчеты проведены для модели атмосферы CIRA-65.

Таблица 2. Зависимость C_x от индекса геомагнитной активности A_p

A_p	n	C_x	σ
[0 ... 5)	454	2.25	0.97
[5 ... 10)	1126	2.16	0.91
[10 ... 15)	572	2.12	0.95
[15 ... 20)	318	2.10	0.86
[20 ... 30)	172	2.04	0.98
≥ 30	94	1.95	0.91

Из графика видно, что опытные значения C_x коррелируют с показателем доли атомарного кислорода, являющегося основным компонентом на этих орбитах. Можно сделать предположение, что количество атомарного кислорода, попадающего на поверхность КА, может влиять на параметры взаимодействия КА с атмосферой.

Имеется и косвенное подтверждение влияния атомарного кислорода на аэродинамические характеристики КА. Известно, что в процессе магнитных бурь происходит резкое увеличение температуры и плотности атмосферы, а также происходит увеличение доли атомарного кислорода в атмосфере.

Поэтому мы должны обнаружить связь между значениями планетарного индекса геомагнитной активности A_p и аэродинамическими характеристиками. Действительно, полученные данные подтверждают указанное предположение. В табл. 2 приведены число измерений n , математические ожидания C_x и средние квадратичные отклонения σ для значений A_p от нуля до 40.

Необходимо отметить также, что значения C_x , приведенные в табл. 1, 2 могут быть реализованы только при наличии доли зеркально отраженных от поверхности молекул при малых местных углах атаки β (угол между вектором скорости и плоскостью площадки), что показано в работах [1, 3].

Из изложенного видно:

- существует зависимость значений коэффициентов аэродинамического сопротивления КА, близких к сфере, от параметров орбит (высота перигея, эксцентриситет);
- основным компонентом атмосферы на рассмотренных высотах перигея (где осуществляется основное торможение КА) является химически активный атомарный кислород;
- изменения C_x при изменении эксцентриситета обратно пропорциональны изменению доли атомарного кислорода, падающего на поверхность КА за виток, что может свидетельствовать о

влиянии атомарного кислорода на параметры взаимодействия потока с поверхностью, и в первую очередь на значения коэффициента аккумуляции энергии;

— опытные значения C_x меньше вычисленных по полностью диффузной схеме взаимодействия.

1. Бушуев Е. И., Шабохин В. А. Оценка характера взаимодействия свободномолекулярного потока с поверхностью ИСЗ // Космич. исследования на Украине.—1979.—Вып. 13.—С. 32—36.
2. Бушуев Е. И., Шабохин В. А. и др. Исследование плотности верхней атмосферы и аэродинамики спутников по данным эволюции орбит // Определение движения косми-

ческих аппаратов. — М.: Наука, 1975.—С. 168—182.

3. Омелик А. К. Об экспериментальном моделировании в свободномолекулярной области // Прикладная аэродинамика космических аппаратов. — Киев: Наук. думка, 1977.—С. 40—49.

**EXPERIMENTAL RESULTS OF DETERMINING
AERODYNAMIC SATELLITE CHARACTERISTICS
IN FREE-MOLECULE GAS FLOW**

V. A. Shabokhin

We give some results of the determination of aerodynamic drag coefficient from experimental data on satellite deceleration.