

УДК 533.6.011

**Собственная внешняя атмосфера
космических аппаратов и ее влияние
на параметры радиосигналов бортовых
радиотехнических систем**

В.А. Данилкин

*Государственный ракетный центр “КБ им. академика В.П. Макеева”,
Миасс, Челябинская область*

Рассмотрено влияние ультрафиолетового излучения Солнца на фотоионизацию рабочего тела дренажных систем и двигателей установок малой тяги космического аппарата, что приводит к увеличению затухания радиоволн его радиотехнических систем. Рабочее тело двигателей установок малой тяги космического аппарата необходимо выбирать, ориентируясь на вещества с малым сечением фотоионизации (гидразин, метиловый спирт и т.д.). При выборе рабочих частот радиосистем необходимо ориентироваться на более высокие частоты (сотни и тысячи мегагерц).

При полете космического аппарата (КА) за пределами плотных слоев атмосферы вокруг него возникает облако собственной внешней атмосферы (СВА), состоящее из смеси твердых частиц, жидкости и газов, причем ее паровая и газовая составляющие могут быть в значительной степени ионизированы. Ионизированные компоненты СВА искажают амплитуду и фазу радиосигналов бортовых радиотехнических систем, что приводит к ухудшению точности проводимых радиоизмерений, качества принимаемой информации или к полным сбоям в работе радиотехнических систем.

Проблема обеспечения функционирования радиотехнических систем космических аппаратов в условиях собственной внешней атмосферы является одной из наиболее актуальных в физике и технике космических полетов, т. к. с усложнением задач, решаемых посредством КА, последние оснащаются, как правило, большим количеством высокочувствительных радиотехнических систем различного назначения. Настоящая работа посвящена исследованию процессов, приводящих к образованию в собственной внешней атмосфере КА свободных электронов, и анализу прохождения через СВА радиоволн различных диапазонов.

Известно, что компоненты собственной внешней атмосферы могут находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях [1]. Основными источниками твердых частиц являются корпус КА и его покрытия, жидких частиц и пара — дренажные системы двигателей установок малой тяги, располагаемых на космическом аппарате для ориентации и стабилизации его положения в пространстве, газа — камеры сгорания двигателей установок малой тяги.

Экспериментальные исследования процесса распыления жидкости из дренажных систем двигателей установок КА в вакуум позволили сделать следующие выводы:

- около среза дренажной трубки образуется своеобразное ядро, давление в котором примерно постоянно, концентрация молекул и частиц в нем составляет $\sim 10^{15}$ 1/см³,
- давление и плотность за пределами ядра уменьшаются с расстоянием по обратноквадратичному закону [4].

Основным источником газообразной фазы в собственной внешней атмосфере является двигатель установки малой тяги космического аппарата. При этом на расстоянии $\leq 100 R_a$ (где R_a — радиус среза сопла) формируется своеобразная ближняя зона с концентрацией молекул $\sim 10^{17}$ 1/см³, за пределами которой плотность уменьшается также по обратноквадратичному закону.

Основными процессами, проводящими к образованию в собственной внешней атмосфере свободных электронов, являются:

- термическая ионизация продуктов сгорания топлива,
- фотоэмиссия с поверхности корпуса КА,
- фотоионизация компонентов СВА под воздействием внешних ионизирующих излучений.

В связи с тем, что для ориентации и стабилизации КА обычно используют двигатели установок малой тяги, уровень свободных электронов, образующихся в СВА в результате термоионизации, не превышает $\sim 10^6$ 1/см³. В результате эмиссии электронов с поверхности корпуса около космического аппарата образуется плазменная оболочка с уровнем электронной концентрации $\sim 10^6 - 10^7$ 1/см³. Толщина такой оболочки не превышает 1 см. Однако максимальный уровень электронной концентрации в СВА определяется процессом фотоионизации присутствующих в ней газа и паров, связанной с излучением Солнца. Реакция фотоионизации определяется сечениями фотоионизации компонентов собственной внешней атмосферы. Сечения фотоионизации имеют максимальные значения в ультрафиолетовой области спектра.

Ниже приведены значения сечения фотоионизации для наиболее типичных компонентов СВА для длин волн ионизирующих излучений 1000–1300 А.

Компонент	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	CH ₄	N ₂ O ₄	C ₁ H ₃ OH	N ₂ H ₄	(CH ₃) ₂ N ₂ H ₂
$\sigma \cdot 10^{18} \text{ см}^2$	0,3	0,9	1,9	1,9	1,9	4	1,8	3,5	18	40

Скорость процесса фотоионизации приблизительно описывается выражением

$$\frac{dN_e}{dt} = \sum_{i=1}^n \sigma_i \varphi N_i,$$

где σ_i — сечение фотоионизации i -го компонента, φ — поток фотонов, N_i — концентрация молекул i -ого компонента, n — количество компонентов.

Следовательно, концентрация электронов в собственной внешней атмосфере равна

$$N_e = \sum_{i=1}^n \sigma_i \varphi N_i \tau,$$

где τ — характерное время ионизирующего воздействия.

Источником ионизирующего излучения, воздействующего на СВА, является Солнце, а также возможные внешние преднамеренные ионизирующие излучения.

Анализ процессов фотоионизации и расчет уровня концентрации свободных электронов в собственной внешней атмосфере КА для каждого вида ионизирующих излучений Солнца позволяют сделать следующие выводы:

1) уровень концентрации свободных электронов в СВА при ионизирующем воздействии солнечного излучения будет определяться интенсивностью потока фотонов в ультрафиолетовой части солнечного спектра и может достигать $\sim 10^9 - 10^{10}$ $1/\text{см}^3$ в областях, непосредственно прилегающих к срезам сопел двигателей установок, и в ядре струи из дренажной трубки,

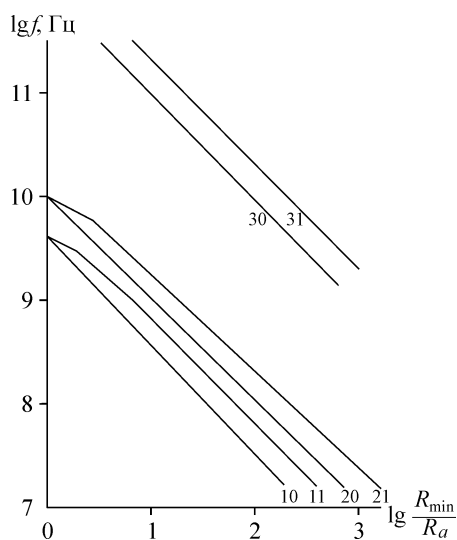
2) гамма-излучение Солнца оказывает незначительное влияние на процесс фотоионизации, поскольку в диапазоне спектра гамма-излучения сечения фотоионизации компонентов СВА не превышают $10^{-28} - 10^{-30}$ см^2 [2].

При испытании некоторых типов космических аппаратов были проведены измерения уровня концентрации свободных электронов, образующихся в СВА под воздействием ионизирующего излучения Солнца. Измерения проводились посредством зондового диагностического устройства ЗДУ-3 НВ2.3245 и резонансно-импедансного зонда РИЗ И60.2421.000, работающего совместно с чувствительным элементом К25.1139.000-01.

Основным источником собственной внешней атмосферы при проведении эксперимента являлась дренажная трубка, через которую происходило истечение в СВА несимметричного диметилгидразина с массовым расходом 5 г/с. При проведении эксперимента датчиковая аппаратура располагалась на расстоянии ~ 2 м от среза трубки. Измерения проводились при воздействии на собственную внешнюю атмосферу КА солнечного излучения непосредственно, излучения, прошедшего через плотные слои земной атмосферы, и в его отсутствие. В двух последних случаях повышения уровня электронной концентрации в СВА не наблюдалось. При непосредственном воздействии на нее солнечного излучения датчики зафиксировали повышение уровня электронной концентрации до 10^7 $1/\text{см}^3$, что удовлетворительно согласуется с расчетными данными.

Для различных видов ионизирующих воздействий проведена оценка минимального расстояния R_{\min} от источника СВА до линии распространения радиоволн, для которого затухание радиоволн, проходящих через собственную внешнюю атмосферу, не превышает 1 дБ в зависимости от их частоты. При расчетах принималось, что выполняется условие $L \gg R_a$, где L — расстояние от источника СВА до антенны, R_a — радиус среза сопла или дренажной трубки. Расчеты проведены для двух типов источника: дренажной трубки и сопла двигателей установок малой тяги.

Зависимость частоты радиоволны от отношения R_{\min}/R_a .



Результаты расчетов представлены на рисунке в виде зависимостей логарифма частоты радиоволны от логарифма отношения R_{\min}/R_a , где 10, 20, 30 и 11, 21, 31 соответствуют зависимостям для сопла и дренажной трубки соответственно.

При оценках использовались методы расчетов, приведенные в [3, 4].

Таким образом, определены факторы и процессы, приводящие к образованию в собственной внешней атмосфере космических аппаратов свободных электронов; определены максимальные уровни электронной концентрации в СВА при воздействии различных ионизирующих излучений; определены запрещенные зоны для линий распространения радиоволн бортовых радиотехнических систем, исходя из условия обеспечения работоспособности их в условиях плазмообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акишин А.И., Дунаев Н.М., Константинова В.В. Собственная атмосфера космических аппаратов и ее влияние на бортовые приборы и технологию в космосе // Космическое материаловедение и технология. — М.: Наука, 1977. — С. 65–77.
2. Стром Э., Исраэль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения: Справочник. — Пер. с англ. — М.: Атомиздат, 1973. — 256 с.
3. Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. — М.: Сов. радио, 1979. — 376 с.
4. Решетин А.Г. и др. Проблемы внешней атмосферы высотных летательных аппаратов // Динамика разреженных газов: Тр. VI Всесоюзной конференции. — Новосибирск, 1980. — С. 150–158.

Статья поступила в редакцию 6 ноября 2007 г.