

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ СО СПУСКАЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

к.т.н. Г.Ф. Коныхин, к.т.н. А.Ю. Мелашенко, к.т.н. З.Ю. Литвина  
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

Предложено устройство для передачи электромагнитных сигналов со спускаемых летательных аппаратов (ЛА), движущихся с гиперзвуковой скоростью.

Известно, что при спуске летательных аппаратов в атмосферу перед ними образуется ударная волна, плазма которой препятствует прохождению электромагнитных волн, что приводит к прекращению радиосвязи с ЛА [1]. В [2] рассмотрен вопрос создания устройств для осуществления радиосвязи через плазму. Однако, такие устройства требуют больших энергозатрат, надежность их невысока. В [1] было предложено оригинальное решение по обеспечению радиосвязи через плазму, однако вопрос об использовании модулированного электронного пучка в качестве антенны до конца не разработан.

В данной статье предлагается устройство для передачи информации (УПИ) со спускаемого ЛА, структурная схема которого приведена на рис. 1.

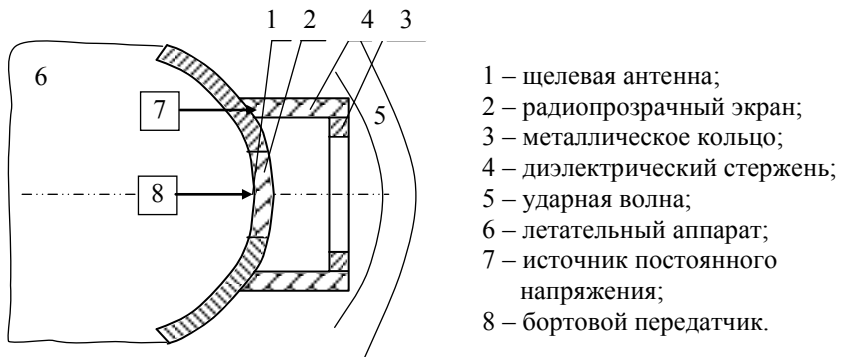


Рис. 1. Структурная схема устройства для передачи информации

Работа данного устройства происходит следующим образом. При снижении ЛА в плотные слои ионосферы и атмосферу перед корпусом аппарата образуется мощная ударная волна, препятствующая прохождению через ее плазму электромагнитной волны, излучаемой щелевой антенной.

Для обеспечения прохождения сигнала через плазму на металлическое кольцо, закрепленное к корпусу ЛА диэлектрическими стержнями,

длина которых равна расстоянию отхода ударной волны от корпуса ЛА, подается положительный потенциал порядка 100 В от источника постоянного напряжения. Далее от бортового передатчика радиосигнал по фидерному тракту подается к щелевой антенне. Электромагнитные волны проходят через радиопрозрачный экран, предохраняющий антенну и фидер от действия тепловых потоков и от проникновения заряженных частиц плазмы внутрь антенны. За счет эффекта регенерации излучения в ограниченной плазме электромагнитный сигнал будет излучен ударным плазменным фронтом в окружающее пространство.

Рассмотрим особенности взаимодействия электромагнитной волны с плазмой. Если на плазменное образование падает электромагнитная волна (или в плазме возбуждается такая волна), то по мере распространения этой волны в ионизированной среде наблюдается поглощение энергии волны. При плотности плазмы больше, чем критическая плотность, происходит отражение волны, и показатель преломления в этом месте обращается в нуль [3]. В эту плотную плазму электромагнитное поле волны проникает на глубину порядка дебаевского радиуса плазмы. Характерно, что дебаевский радиус значительно меньше толщины плазмы ударной волны, образующейся перед ЛА, поэтому волна не выходит в свободное пространство через плазму. Вывод излучения через плотную плазму может быть осуществлен на основе использования эффекта регенерации излучения. Суть его состоит в следующем. При падении волны на плазму в ней возникает электрический ток, который можно условно разделить на ток тепловых и резонансных частиц. Эти токи проникают внутрь плотной плазмы на расстояние, значительно большее, чем дебаевский радиус. При этом тепловые токи вследствие расфазировки затухают быстрее, чем резонансные. Если резонансные токи, способные создавать регулярное излучение, как и любые электрические токи, достигнут границы плазмы, то этим самым в свободном пространстве возникает регенерационное электромагнитное поле. Таким образом, для вывода излучения через плазму на основе эффекта регенерации необходимо, чтобы характерная длина затухания резонансных токов в плотной плазме была больше толщины самой плазмы. Для свободной плазмы при отсутствии в ней внешних полей условие регенерации имеет вид

$$\frac{\omega}{V_{\phi}^2} \cdot \mathbf{d} \cdot \Delta V \leq 1,$$

где  $\omega$  - частота электромагнитного сигнала;  $V_{\phi}$  - фазовая скорость волны в плазме;  $\mathbf{d}$  - транспортная длина тока частиц;  $\Delta V$  - разброс частиц по скоростям в плазме.

Если же плазма находится во внешнем электрическом поле, то условие регенерации может быть записано в виде

$$d\chi < \left(1 + 2U / (m V_{\phi}^2)\right)^{3/2},$$

где  $U$  - напряжение электрического поля;  $m$  - масса атомов газа;  $\chi = \text{Im}k$  - мнимая часть волнового числа.

Из этих соотношений следует, что наличие внешнего поля  $U$  повышает длину транспортировки сигнала  $d$ , что подтверждается и экспериментально.

Для электрических полей в плазме  $U \sim 100\text{В}$  с плотностью электронной компоненты  $\sim 10^{15}\text{ см}^{-3}$  на частоте  $\omega \geq 10^8$  Гц транспортная длина резонансных токов оказывается больше 10 см, что превышает толщину плазмы и позволяет вывести излучение за пределы плазменного экрана. Так как металлическое кольцо расположено в плотной плазме за ударной волной, а именно, в области, где электронная плотность больше критического значения, то это кольцо не будет влиять на распространения электромагнитных волн. В этой области кольца существуют только резонансные токи. Кольцо не создает заметных дополнительных аэродинамических возмущений. Более того, такая конструкция может работать и без специальных мер теплозащиты, что подтверждается расчетами и экспериментами с подобными устройствами [4]. На создание и поддержание электромагнитного поля в плазме между кольцом и корпусом ЛА не требуются большие энергозатраты, так как проводимость плазмы невысока и при электрических напряжениях  $\sim 100\text{В}$  ток будет небольшим.

Предлагаемое устройство позволяет передавать информацию с борта спускаемого ЛА, начиная с высоты 80 ÷ 90 км и до высот 20 ÷ 30 км. На более низких высотах степень ионизации плазмы оказывается низкой, и за счет больших диссипативных потерь тока резонансных частиц в плохо проводящей среде интенсивность излучения будет низка (КПД трансформации энергии тока частиц в излучение будет менее  $10^{-3}$ ).

Применение предложенного устройства позволяет получить ряд технических преимуществ: использовать стандартные бортовые и наземные РТС, обеспечить радиосвязь с ЛА при наличии плотной плазмы без дополнительных энергозатрат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мартин Дж. Вход в атмосферу. – М.: ИЛ, 1959. – 376 с.
2. Тейлор М. Радиосвязь через плазму при входе ракеты в атмосферу // Зарубежная радиоэлектроника. – 1968. – № 2. – С. 76 - 89.
3. Уортон Ч. Микроволновая диагностика плазмы // Диагностика плазмы / Под ред. Р. Хаддлстоуна и С. Леонарда. – М.: Мир, 1987. – С. 400 - 403.
4. Душин Ю.А. Работа теплозащитных материалов в горячих газовых потоках. – Л.: Химия, 1968. – С. 24 - 40.

*Поступила в редколлегию 24.09.2001*