

УДК 621384.6

З.Ю. Литвина

Харьковский Университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ ПЛАЗМУ

В статье проведен анализ существующих методов «просветления плазмы» и сделан вывод о том, что эта проблема до сих пор не решена. Предложен способ «просветления плазмы» при одновременном воздействии на неё электронным потоком, акустическими волнами и радиосигналом, проведена оценка величины напряженности электрического поля, которую надо создать в волновом пучке, чтобы он прошел через плазму.

плазма, радиосигнал, частота, электроны, неравновесность, электромагнитная волна

При движении летательных аппаратов различного назначения со сверхзвуковой скоростью в ионосфере и атмосфере вокруг конструкции аппарата возникает мощная ударная волна. Образующаяся плазменная оболочка изменяет характеристики антенны, влияет на распространение электромагнитных волн, нарушает или полностью прекращает радиосвязь.

Однако для решения ряда практических задач (управление летательными аппаратами, выдача команд на борт аппарата и получение их с борта, со-

вершенствование существующих конструкций летательных аппаратов, проведение оперативной связи со спускаемыми летательными аппаратами) необходимо обеспечить непрерывный прием и передачу информации при наличии плазмы. Поэтому решению этих задач уделяли и продолжают уделять большое внимание во всем мире.

Эта проблема получила название проблемы, «просветления плазмы». Анализ всех существующих методов «просветления плазмы» показал, что на данном этапе не существует таких методов, которые

давали бы хорошие результаты при применении их на бортовых системах. Это связано либо с громадными массогабаритными показателями либо очень большими энергетическими затратами. [1,2].

Цель статьи: рассмотреть возможность передачи информации через плазму, путём воздействия на неё электронным потоком, акустической волной и информационным сигналом.

Автором предлагается способ передачи информации через плазму, основанный на одновременном воздействии на плазму электронным потоком, акустической волной и информационным сигналом.

Инжекция электронного потока в плазму сопровождается возбуждением в ней продольных плазменных колебаний плотности заряда. При этом колебания происходят на собственной плазменной частоте ω_p и не требуют дополнительной модуляции электронного потока. Такая модуляция осуществляется автоматически и именно она приводит к бунчировке пучка и возбуждению достаточно сильных волн. При наличии звуковых акустических волн в плазме происходит взаимодействие плазменных и акустических волн. При этом образуются волны с частотой, меньшей резонансной. Этот процесс взаимодействия исходных волн и образования новых носит взрывной характер (модуляционная неустойчивость) и приводит к появлению каверн в плазме с пониженной плотностью. Такие каверны образуются вдоль пучка электронов, а их число зависит от числа полуволн акустических колебаний. Обнаружено экспериментально появление каверн с пониженной плотностью при распространении плазменных волн и взаимодействии их с флуктуациями плотности заряда. Считая, что поперечные размеры каверн равны длине радиоволны ($\lambda = 3$ см), определим время развития модуляционной неустойчивости, которое для плазмы с $T = 4$ эВ и плотностью $n_e \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ будет равно $\sim 10^{-10}$ с.

Условие появления модуляционной неустойчивости, т.е. образование каверн

$$\frac{E^2}{8\pi n T} > K^2 \lambda_d^2,$$

где $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; $\lambda_d = \frac{V_T}{\omega_p}$; V_T – теп-

ловая скорость части плазмы, определяет мощность электронного пучка. Для приведенных параметров плазмы (при ее толщине $\delta = 10$ см) стационарная мощность пучка должна быть $N \sim 1$ кВт. При этом уменьшение плотности в кавернах происходит в 20 раз, а их число на этой длине 10^2 (длина волны акустических колебаний в плазме может быть вплоть до значения длины свободного пробега иона $1 < 10^{-5}$ при диаметре, равном $\lambda = 3$ см). Каждая из каверн занимает 1/4 часть пространственного периода. Поэтому уменьшение эффективной плотности происходит в

15 раз, что снижает значение критической частоты не менее чем в 4 раза.

Экспериментально факт появления каверн с пониженной плотностью (более чем в 10 раз при полной энергии потока электронов в импульсе $Q \sim 2$ Дж) в атмосферной плазме был показан автором ранее. При этом время существования каверны в плотной плазме составляло – (15 – 20) мкс. Для высоты $H = 10$ км оно уже будет порядка 100 мкс, что и позволяет при сравнительно малых энергозатратах – единиц кВт обеспечить расширение диапазона обеспечения связи (примерно до $H = 10$ км). Заметим, что энергозатраты на создание акустических волн малы (единицы ватт).

Таким образом, одновременное воздействие на плазму электронным потоком, акустическими волнами и радиосигналом образуют в плазме окна с пониженной плотностью электронов, что позволяет электромагнитной волне, несущей информацию, проходить через плазму ударной волны.

Для получения высокоэнергетических электронов (порядка 1 МэВ) используется радиоактивное покрытие (например, полоний – 210), содержащееся в теплозащитном слое на всей его глубине в области излучения радиосигнала. При этом изменение свойств плазмы связано с неравновесностью плазмы, при которой диэлектрическая проницаемость ϵ становится больше единицы, поэтому появляется возможность прохождения электромагнитной волны с частотой $\omega < \omega_p$ где ω_p – плазменная частота [4].

Оценим величину напряженности электрического поля, которую необходимо создавать в волновом пучке, чтобы последний прошел через плазму.

Изменение осцилляторной скорости:

$$\frac{\partial \tilde{V}}{\partial t} = -\frac{eE}{m}.$$

Отсюда определим, что

$$\tilde{V} \approx \frac{eE}{m\omega}.$$

При $\omega \rightarrow 0$ и $V \rightarrow c$.

Для длины электромагнитной волны $\lambda = 10$ см рассчитаем напряженность электрического поля:

$$E \approx \frac{cm\omega}{e}; \quad \omega = 2\pi f; \quad f = \frac{c}{\lambda}; \quad \omega = 2\pi \frac{c}{\lambda}.$$

Тогда

$$E \approx \frac{c^2 m \cdot 2\pi}{e\lambda} \approx \frac{9 \cdot 10^{20} \cdot 10^{-27} \cdot 6,28}{5 \cdot 10^{-10} \cdot 10} \approx 10^3 \text{ вт/см}^2$$

или $E^2 \approx 10^5$ В/см.

Такую напряженность электрического поля создать легко. А если учесть еще и самофокусировку волнового пучка при прохождении через плазму, то напряженность электрического поля будет еще меньше.

Таким образом, автором показано, что электромагнитная волна, несущая информацию может проходить через плазму ударной волны благодаря образованию «окон прозрачности», а также величина напряженности электрического поля, которую необходимо создавать в волновом пучке, чтобы он прошел через плазму, довольно невелика и создать её нетрудно.

Автором ранее были предложены общие подходы к обеспечению передачи информации через плазму:

– разработана структурная схема передающего устройства [5];

– оценена мощность сигнала на выходе из плазмы для характерных параметров реализации метода;

– проведена оценка зависимости мощности от начального тока в системе.

Сейчас встают вопросы оценки макроскопических параметров плазмы: плотность, энергию, температуру и оценить возможность создания таких условий, при которых происходили бы минимальные искажения и затухание.

Также необходимо оценить возможность использования плазмы в качестве усилителя колебаний.

Список литературы

1. Басов Н.Г. Крохин О.Н. Доклад и сб. аннотаций докладов 2 международной конференции по теории плазмы. – К: ИТФАН УССР. – 1974 – С. 198.

2. Тейлор М. «Радиосвязь через плазму при входе ракеты в атмосферу» // *Зарубежная электроника*. – 1968. – № 2 – С. 76-89.

3. *Радиотехнические системы в ракетной технике* / Под ред. В.И. Галкина. – М: Воениздат, 1974. –С. 281-382.

4. Гинзбург В.А. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М: Ф.М., 1960. – 340 с.

5. Коняхин Г.Ф. Мелашенко А.Ю. Литвина З.Ю. Устройство для передачи информации со спускаемого летательного аппарата // *Системы обработки інформації*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 5 (15). – С. 201-203.

Поступила в редколлегию 27.11.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Бильчук, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.