

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 550.510.535

**ПЕРЕНОС МОДУЛЯЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
НА ИОНОСФЕРУ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ**

В. А. Зюзин

Эффект переноса модуляции мощного радионизлучения на пробные волны наблюдался в первых экспериментах по модификации ионосферы (БОУЛДЕР, 1970 [1]) Этот эффект в [1] связывался с обычным омическим нагревом ионосферы. Более подробно эффект переноса модуляции был исследован в [2], где было показано, что при нагреве ионосферы радиоволнами обыкновенной поляризации с частотой $f_H = 5,75$ МГц (эффективная мощность излучения 20 МВт) перенос модуляции на пробные волны обусловлен нелинейными явлениями в F-слое вблизи уровня отражения мощной волны и является следствием развития искусственной турбулентности

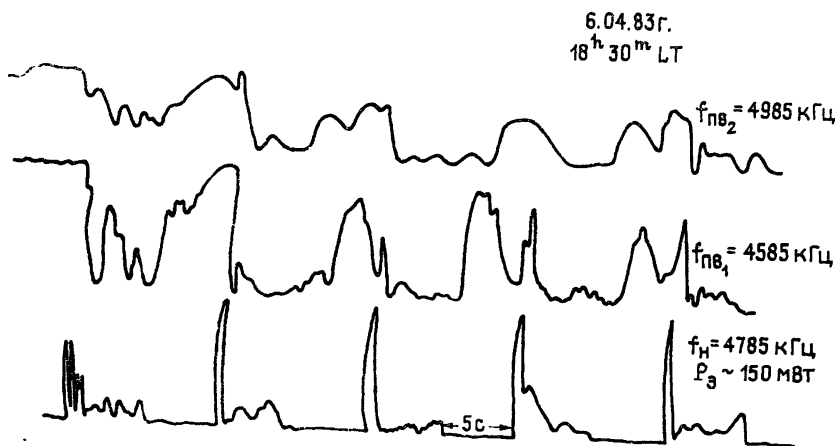


Рис. 1.

Целью данной работы является изучение особенностей данных явлений при воздействии на ионосферу радиоволнами как обыкновенной, так и необыкновенной поляризации высокой интенсивности (эффективная мощность излучения $P_3 \sim 200$ МВт) с помощью стенда «Сура» [3] при амплитудной модуляции типа «меандр» с частотой $F_M = 0,1-5$ Гц. Эксперименты проводились в апреле 1983 г. как в дневное, так и в вечернее время суток в условиях спокойной ионосферы. Зондирование ионосферы пробными волнами (ПВ) проводилось импульсами длительностью 100 мкс с частотой повторения 25 Гц с обыкновенной или необыкновенной поляризацией. Использование передающих и приемных антенн с круговой поляризацией давало развязку по нормальным волнам не менее 40 дБ в широком диапазоне частот (3,3—9 МГц). Особенности рельефа местности, где был расположен приемный пункт, его удаленность от стенда «Сура» (около 9 км) позволяли осуществлять подавление на 50 дБ «земной» волны относительно отраженного от ионосферы сигнала. На рис 1 приведен пример одновременной регистрации амплитуд, отраженных от ионосферы волны накачки (ВН) с $f_H = 4785$ кГц, $P_3 \sim 150$ МВт, O-поляризации и сигналов пробных волн (ПВ) на двух частотах с $f_{ПВ1} = 4585$ кГц и $f_{ПВ2} = 4985$ кГц, O-поляризации при частоте модуляции ВН с $F_M = 0,1$ Гц. Из рис. 1 видно, что каждый цикл включения ВН сопровождается медленным, но глубоким падением амплитуды пробных волн с последующим ее восстановлением. Коэффициент модуляции $M = (A_{max} - A_{min}) / (A_{max} + A_{min})$ на частоте модуляции $F_M = 0,1$ Гц близок к единице на всех циклах включения ВН и во всем интервале изменения мощности волны накачки от $P_3 = 20-150$ МВт (влияние D-области исключалось по характерным временам кроссмодуляции). Приведенные экс-

периментальные исследования эффекта переноса модуляции при воздействии на ионосферу мощным радиоизлучением $P_3 > 20$ МВт выявили следующие его новые свойства.

1) Зависимость коэффициента переноса модуляции от величины $\Delta f = f_H - f_{ПВ}$, где f_H — частота ВН, $f_{ПВ}$ — частота ПВ, для пробных волн обыкновенной и необыкновенной поляризации показывает, что наиболее сильно эффект переноса модуляции проявляется при относительно небольших (~ 200 кГц) отрицательных расстройках ПВ от волны накачки. При увеличении расстройки $|\Delta f|$ коэффициент переноса модуляции уменьшается (рис. 2). Необходимо также отметить, что, как и в случае [2], эффект переноса модуляции наблюдался только при условии отражения ВН от F -слоя ионосферы и полностью исчезал, если критическая частота F -слоя была ниже частоты ВН. Эффект отсутствовал также, если ВН имела необыкновенную поляризацию. На этом же рисунке представлена зависимость коэффициента переноса модуляции от величины $\Delta f = f_H - f_{ПВ}$ для пробных волн необыкновенной поляризации, которая тоже имеет место, но значительно слабее.

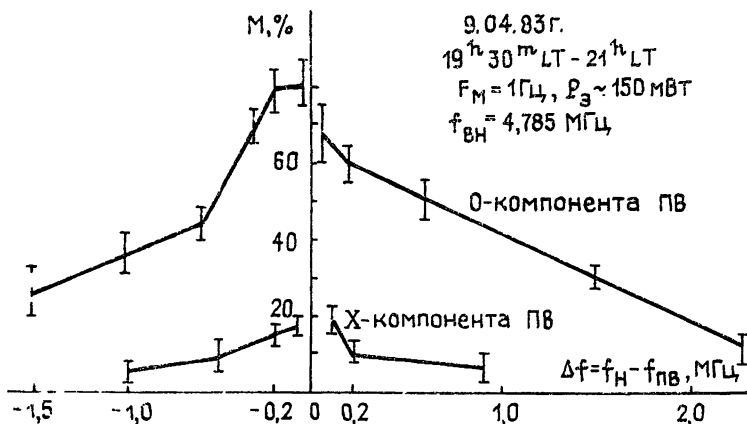


Рис. 2.

2) Имеется зависимость коэффициента модуляции M от частоты модуляции F_M и от мощности ВН. С ростом F_M происходит падение коэффициента модуляции M , причем более резкое при частотах модуляции $F_M > 1$ Гц. Увеличение мощности ВН приводит к увеличению M тем значительнее, чем ниже частота F_M (см. рис 3).

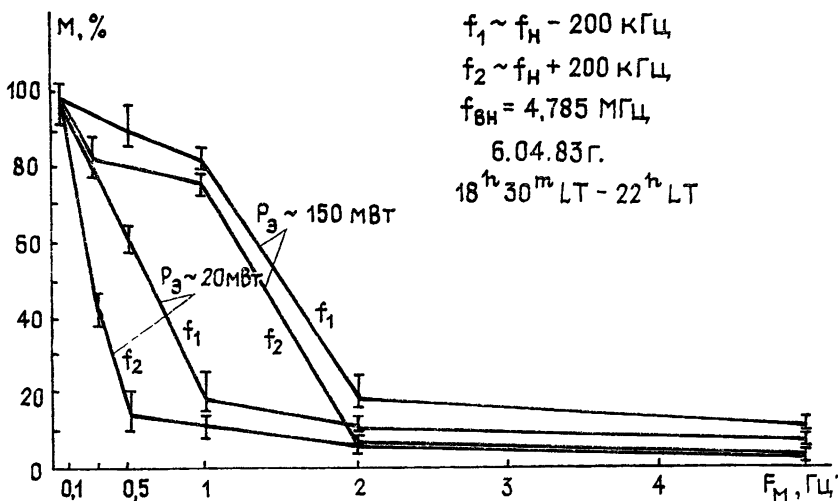


Рис. 3.

Необходимо отметить, что такое поведение коэффициента переноса модуляции в зависимости от F_M тесно связано с поведением коэффициента аномального ослабления (АО) пробных волн обыкновенной поляризации, характерные времена развития которого составляют 1—3 с для ПВ с расстройками $\Delta f = f_H - f_{ПВ} = \pm 200$ кГц и мощностью ВН $P_3 > 20$ МВт. Этим объясняется отсутствие на частотах $F_M < 1$ Гц модуляционного провала [6] при воздействии на ионосферу мощным радиоизлучением с $P_3 > 20$ МВт. Исчезновение аномального ослабления в случае ПВ необыкновенной поляризации приводит к резкому уменьшению коэффициента переноса модуляции M (рис 2) $M \sim 15$ — 20% для ПВ с расстройками $\Delta f = f_H - f_{ПВ} \approx 200$ кГц.

3) Перенос модуляции ПВ возникает с некоторой задержкой τ_3 относительно начала воздействия на ионосферу ВН с амплитудной модуляцией типа «меандр». Эта задержка для ПВ обыкновенной и необыкновенной поляризации зависит как от частоты ПВ, мощности нагрева, так и от частоты модуляции, уменьшаясь при увеличении мощности нагрева и уменьшении $\Delta f = f_H - f_{ПВ}$ (для $P_0 \sim 100$ МВт $\tau_3 = 1,5-3,5$ с, для $F_m = 0,3-2$ Гц и частот ПВ $f_{ПВ_1} = f_H - 200$ кГц и $f_{ПВ_2} = f_H + 200$ кГц); для ПВ необыкновенной поляризации $\tau_3 \sim 10-20$ с. В процессе экспериментов была выявлена одна интересная особенность. Из рис. 1 видно, что наряду с аномальным ослаблением амплитуды волны накачки до величины 10—15 дБ с характерным временем спада амплитуды $\tau \sim 1$ с в первом цикле включения передатчика наблюдаются быстрые флуктуации ее амплитуды с квазипериодом $T = 0,1-0,3$ с, исчезающие в следующие циклы включения передатчика. При этом изменяются и времена спада амплитуды (от 1 с до 0,5 с при $P_0 \sim 20$ МВт и от 0,6 с до 0,2 с при $P_0 \sim 150$ МВт). Такое явление аккумуляции характерно для режима перегретой ионосферы.

На этом же рисунке видно, что наряду с довольно плавными изменениями амплитуды ПВ обыкновенной поляризации с $f_{ПВ} = f_H - 0,2$ МГц, вызванных воздействием на ионосферу мощным радиоизлучением, в момент включения ВН (с $F_m = 0,1$ Гц) на данной ПВ наблюдалось кратковременное возрастание ее амплитуды. Вероятность этого эффекта зависела от мощности ВН и увеличивалась от 15% до 60% при изменении мощности P_0 от 60 МВт до 150 МВт. Дальнейшие исследования по одновременному зондированию возмущенной области ионосферы двенадцатью пробными волнами показали, что эта особенность характерна для ПВ, отражающихся в окрестности верхнегибридного резонанса ВН [4]. При других значениях частоты амплитудной модуляции волны накачки меандром указанный выше эффект не проявлялся.

Таким образом, экспериментальное изучение особенностей переноса модуляции на ПВ говорит о том, что данный эффект связан с процессами, возникающими как в окрестностях уровня отражения ВН, так и в области ее верхнегибридного резонанса. Такими процессами являются резонансная неустойчивость [5] и тепловая параметрическая неустойчивость (ТПН) [6]. В результате ТПН генерируются неоднородности различных масштабов. Изменение амплитуды волны накачки и пробных волн О-поляризации обусловлено их трансформацией в плазменные волны, или рассеянием на искусственных ионосферных неоднородностях. Поскольку времена развития и релаксации неоднородностей увеличиваются с ростом их линейных размеров, то изменение коэффициента модуляции пробных волн в зависимости от частоты модуляции в какой-то степени отражает изменение спектра масштабов искусственных неоднородностей при различных режимах нагрева ионосферы.

Автор выражает благодарность Н. А. Мнякову и В. Л. Фролову за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Utlaut W. F. — J. Geophys. Res. V, 1970, 75, p. 6402.
2. Фролов В. Л. — Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 5, с. 529.
3. Белов И. Ф. и др. Тезисы докладов XIII Всесоюзной конференции по распространению радиоволн. — Горький: НИРФИ, 1981.
4. Васьков В. В. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, вып. 11, с. 512.
5. Васьков В. В. и др. В кн.: Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 81.
6. Грач С. М. и др. В кн.: Тепловые нелинейные явления в плазм. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 45.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
5 мая 1986 г.

УДК 533.951:537.84

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛАЗМЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ БЫСТРОЙ МАГНИТОЗВУКОВОЙ СИЛЬНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

В. А. Павлов

Эволюция плоской сильной ударной акустической волны в неоднородной электронеutralной среде изучалась различными способами [1-5]. В работах [2, 3] предложено «правило характеристик» для получения приближенного уравнения, описывающего скорость перемещения фронта такой волны. Аналитическое исследование влияния неоднородности плазмы на распространение нелинейных магнитозвуковых волн сделано лишь для случая слабой нелинейности [6]. При этом, как и в задачах нелинейной геометрической акустики, удается [6] изучить эволюцию профиля за фронтом волны.