

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В E-СЛОЕ ИОНОСФЕРЫ

И. С. Шлюгер

Описаны эффекты сильного самовоздействия мощного радиоимпульса и глубокой кроссмодуляции пробных волн в нижних слоях ионосферы.

Излагаются некоторые результаты исследований нелинейных эффектов, возникающих при вертикальном зондировании нижней ионосферы мощными радиоимпульсами. Измерения проводились в 1961 – 1968 г. на установке, параметры которой описаны в работе автора [1]. Изучалось самовоздействие мощного импульса в ионосфере и его взаимодействие с другими радиоволнами импульсного и непрерывного излучения.

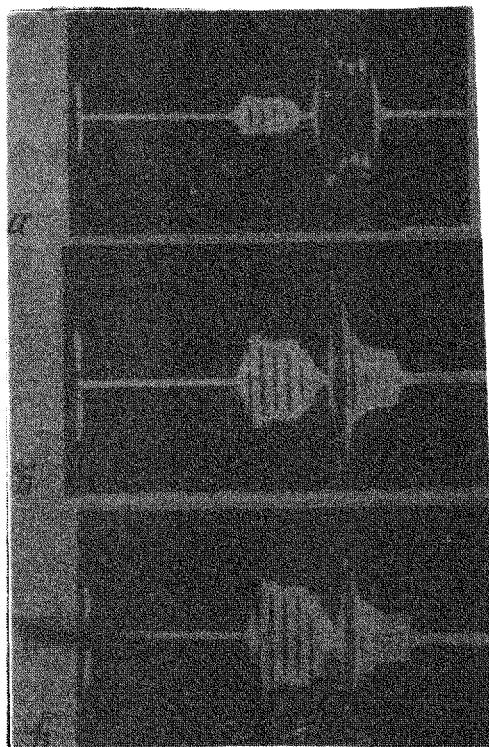


Рис. 1

Важно подчеркнуть, что ранее исследование нелинейных явлений в нижней ионосфере производилось при сравнительно малых мощностях, когда амплитуда поля волны E была меньше величины характерного плазменного поля E_p [2], при достижении которого появляются значительные нелинейные эффекты. В настоящем эксперименте, напротив, максимальная мощность излучателя обеспечивает создание в нижних слоях ионосферы электрического поля $E \sim 10E_p$. При таких сильных полях нелинейность оказывает определяющее влияние на распространение радиоволн [2].

Эффект самовоздействия проявляется в изменении поглощения и искажении формы огибающей отраженного от ионосферы радиоимпульса. Это видно из рис. 1, на котором представлены характерные фотоснимки излучаемого (левый) и отраженного от ионосферы (правый) радиоимпульсов при различных мощностях излучения, полученные в светлое время суток для обыкновенной волны. Вертикальные полосы на рисунке — метки времени, расположенные на расстоянии 10^{-4} сек друг от друга слева направо. Амплитуды излучаемого и отраженного радиоимпульсов изображены в разных масштабах (первый из них искусственно подавлен). Мощность излучения от рис. 1, а к рис. 1, в нарастает приблизительно на 10 дб. На приведенных снимках ясно видно сильное нелинейное искажение формы отраженного импульса.

Дело в том, что начальная часть импульса (до точки отражения) распространяется в невозмущенной или слабовозмущенной ионосфере, так как за время меньше 10^{-4} сек ионосфера не успевает существенно измениться. При $t \geq 10^{-4}$ сек амплитуда отраженного импульса изменяется со временем из-за изменений, возникающих в ионосферной плазме, и за время $t \sim 2 \cdot 10^{-4}$ сек выходит на уровень, близкий к стационарному. Это изменение амплитуды импульса является следствием его самовоздействия. С ростом излучаемой мощности эффекты самовоздействия усиливаются. При этом, как видно из рис. 1, стационарный уровень отраженного от ионосферы сигнала не возрастает, а скорее даже падает с ростом мощности излучения — эффект "насыщения".

Дополнительное нелинейное поглощение обыкновенной волны при максимальной мощности излучения днем достигало 20 дб, ночью ~4–5 дб (излучаемая мощность примерно на 3 дб меньше максимальной). Для необыкновенной волны при не слишком высоких мощностях (меньше — 10 дб от максимальной) ее поглощение, напротив, уменьшалось с ростом мощности излучения — эффект "просветления" плазмы.

Изучалось взаимодействие мощного импульса с радиоволнами непрерывного излучения на частотах $f^{(1)} = 254$ кГц и $f^{(2)} = 394$ кГц. Наблюдалось сильное изменение амплитуд волн $f^{(1,2)}$ под воздействием мощного импульса. Так, при максимальной мощности возмущающего импульса амплитуда волны $f^{(2)}$ ослабевала в 10–20 раз, что соответствует нелинейному поглощению 20–25 дб — эффект "подавления". Этот эффект проиллюстрирован на рис. 2, а, на котором показан временной ход амплитуды волны с частотой $f^{(2)}$. Черная полоса на горизонтальной оси рис. 2 обозначает время действия возмущающего передатчика. Видно подавление волны $f^{(2)}$ и длительный период ее релаксации. На частоте $f^{(1)}$ при определенных условиях наблюдалось, напротив, усиление отраженной волны под действием мощного передатчика — "просветление" плазмы (см. рис. 2, б).

Отметим, что и при взаимодействии двух волн непрерывного излучения, хотя мощность излучения была гораздо меньше, чем в импульсном режиме, наблюдалась глубокая кроссмодуляция, сопровождающаяся сильным искажением формы модуляции и даже удвоением частоты модуляции — эффект "перемодуляции". Появление глубокой амплитудной модуляции полезной волны под действием возмущающего передат-

чика и возникновение эффекта "перемодуляции" проиллюстрированы на рис. 3.

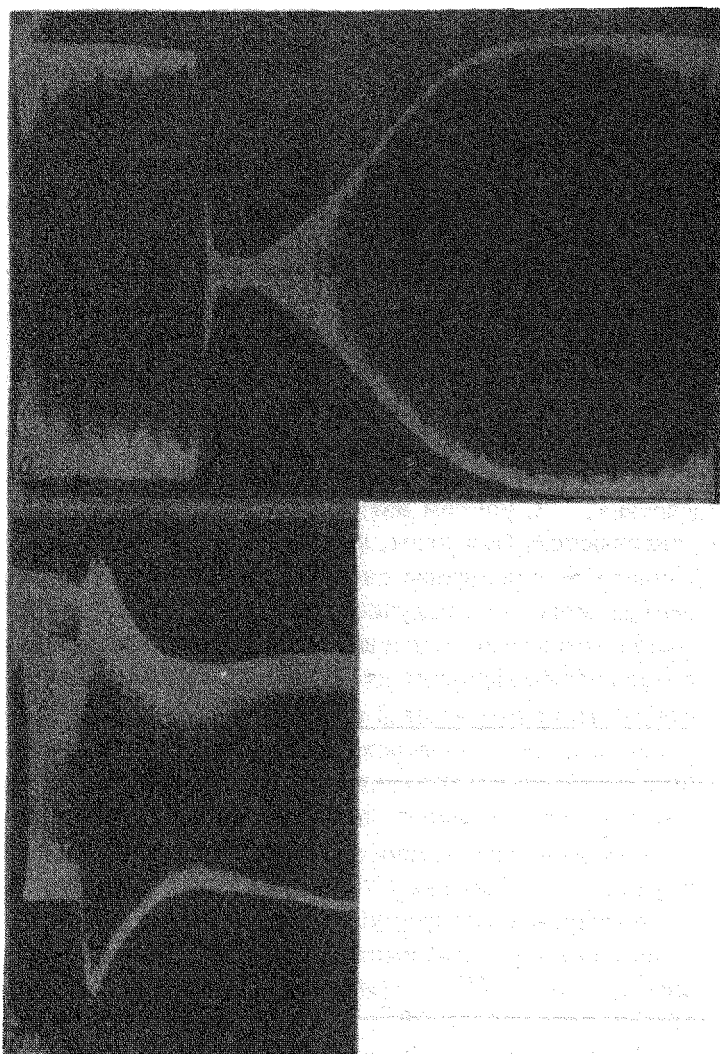


Рис. 2

Кроссmodуляция коротких импульсов, т. е. взаимодействие мощного импульса с другим импульсом с частотой f и длительностью 10^{-4} сек, изучалась в широком диапазоне частот $f = 0,5 + 6$ Мгц. На частотах $f \leq 1 + 2$ Мгц в дневное и вечернее время глубина кроссmodуляции доходила до 90%, в послеполуденные часы она падала до 10 + 30%. С увеличением частоты f глубина кроссmodуляции убывала. Однако, и при максимальных частотах $f = 5 + 6$ Мгц она достигала днем 30 + 40%. Установлен резко нелинейный ход глубины кроссmodуляции от мощности возмущающей станции и ее значительная нерегулярная изменчивость со временем.

Наблюдаемые эффекты самовоздействия и взаимодействия радиоволн, в том числе качественные эффекты "насыщения", "просветления" "подавления", "перемодуляции", хорошо согласуются с результатами теоретических расчетов [2], учитывающих изменение частоты соударений электронов в ионосфере в результате их нагрева в поле мощного радиоимпульса. Сопоставление с теорией показывает, что в проведенных экспериментах температура электронов в нижней ионосфере на высотах $80 + 100$ км возросла под действием мощного импульса в $\sim 10 + 20$ раз.

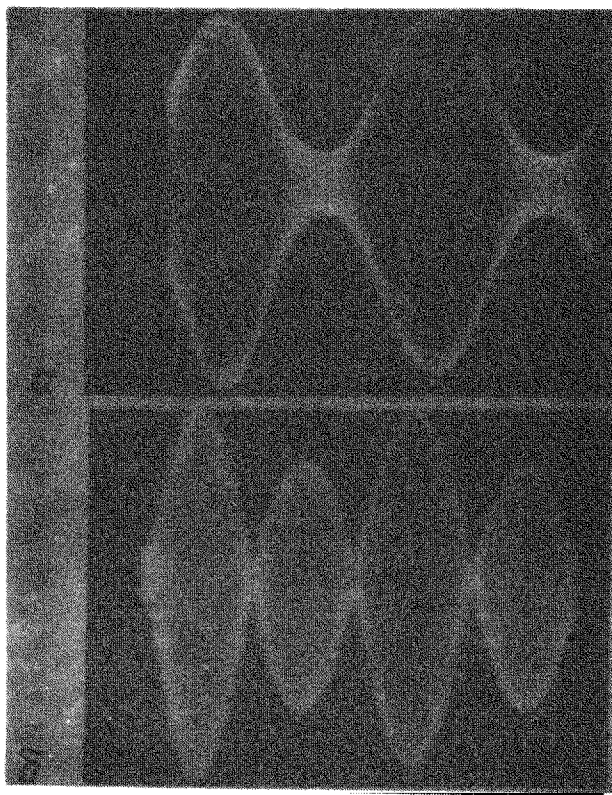


Рис. 3

В период действия мощного передатчика наблюдалось заметное увеличение частоты отраженных от нелинейной ионосферы радиоволн, что можно интерпретировать как создание дополнительной искусственной ионизации в спорадическом слое E_s . Частота появления отражений от спорадического слоя при этом также увеличивалась.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность А.В. Гуревичу за полезное обсуждение работы и В.В.Васькову за помощь в ее оформлении.

Литература

- [1] И.С.Шлюгер. Письма в ЖЭТФ, 19, 274, 1974.
- [2] А.В.Гуревич. Радиотехника и электроника, 1, 706, 1956; В.Л.Гинзбург, А.В.Гуревич. УФН, 70, 201, 393, 1960; А.В.Гуревич, А.Б.Шварцбург. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. М., изд. Наука, 1973 г.
-