

Рис. 2.

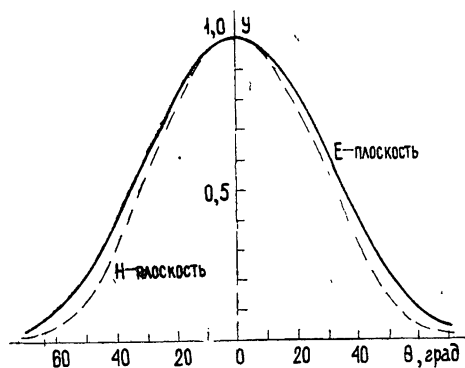


Рис. 3.

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию  
3 марта 1976 г.

### ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ КВ ДИАПАЗОНА

Г. С. Бочкарев, Г. В. Букин, Г. Г. Гетманцев, Н. А. Митяков, А. А. Протащук,  
В. О. Рапопорт, Л. А. Скробкова

При воздействии на ионосферу радиоизлучением мощных КВ передатчиков возникают искусственные ионосферные неоднородности различных масштабов, вытянутые вдоль геомагнитного поля. Диагностика таких неоднородностей проводилась ранее методами вертикального зондирования ионосферы [1], путем просвечивания ионосферы радиоизлучением ИСЗ и дискретных источников [1, 2], а также методами радиолокации в широком диапазоне частот [3]. В октябре — ноябре 1974 г. были проведены измерения напряженности поля и пеленга сигнала КВ станции на односкачковой трассе Ленинград — Оренбург, в средней точке которой (вблизи г. Горького) создавались искусственные ионосферные возмущения. Длина трассы составляла 1860 км. Передача сигналов велась

из Ленинграда в режиме несущей последовательно на 6 фиксированных частотах в диапазоне 13—21 МГц в приемном пункте (вблизи г. Оренбурга) осуществлялась амплитудная запись сигнала, а также проводились измерения азимутального угла прихода радиоволн. Точность единичного измерения угла составляла  $0^{\circ},5$ . Нагрев ионосферы осуществлялся радиопередатчиком, расположенным вблизи г. Горького и работающим на частоте 5,75 МГц с эквивалентной мощностью  $P_G \sim 20$  МВт в вертикальном направлении (подробнее см. [1]).

Передатчик излучал немодулированный сигнал и работал в двух режимах: I — 13 минут работа, 17 минут пауза и II — 8 минут работа, 7 минут пауза. В непосредственной близости от мощного передатчика располагалась станция вертикального зондирования ионосферы, что позволяло контролировать ионосферные условия в середине трассы. Эксперименты проводились в дневное время суток ( $11^{00} - 15^{30}$ , время  $45^{\circ} E$ ). Всего было проведено около 80 сеансов с нагревом ионосферы и 25 контрольных сеансов. При анализе записей учитывались лишь те случаи, когда критическая частота ионосферы над г. Горьким превышала частоту нагревного передатчика ( $f_0F_2 > 5,75$  МГц), т. е. когда нагрев ионосферы был достаточно эффективен (49 сеансов). В процессе анализа необходимо было исключить естественные фединги сигнала. Поэтому все записи усреднялись методом наложения эпох отдельно для 49 сеансов с нагревом ионосферы (рис. 1, сплошная кривая) и 25 контрольных сеансов (пунктир).

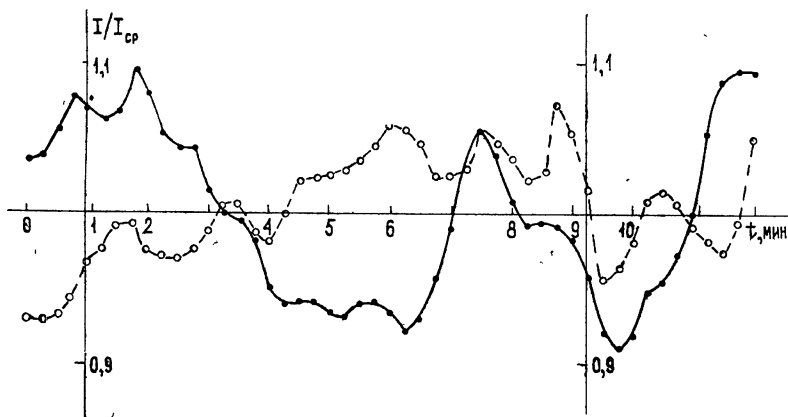


Рис. 1.

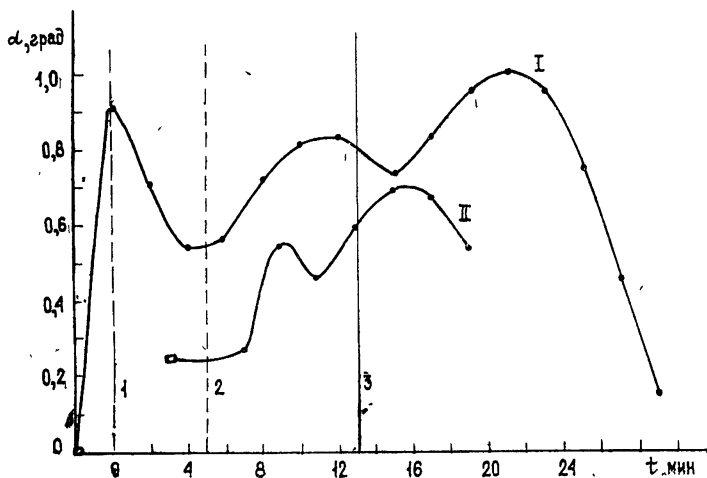


Рис. 2.

Вертикальными линиями ( $t_1 = 1$  мин и  $t_2 = 9,2$  мин) на рис. 1 отмечены моменты включения и выключения нагревного передатчика. Через 1,5 минуты после начала нагрева амплитуда сигнала на односкачковой трассе начинала уменьшаться и через 3 минуты составляла 0,9 от первоначального значения. После выключения нагревной станции уровень сигнала восстанавливался через 2 минуты. Заметим, однако, что уровень естествен-

ных флуктуаций амплитуды сигнала составлял 5—10% (пунктирная кривая на рис. 1). Поэтому можно лишь утверждать, что уменьшение сигнала, вызванное нагревом ионосферы, не превышало 10%. Анализ характера флуктуаций интенсивности сигнала не выявил каких-либо изменений статистических свойств сигнала, которые могли быть вызваны искусственными возмущениями ионосферы.

На рис. 2 представлена зависимость от времени пеленга сигнала, полученная методом наложения эпох для режимов «13 минут работа, 17 минут пауза» (кривая I) и «8 минут работа, 7 минут пауза» (кривая II). Значения  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 0^\circ,25$  на кривых I и II соответствуют усредненному пеленгу для невозмущенной ионосферы. Вертикальными линиями показаны моменты включения (1, 2) и выключения (3) мощного передатчика. Видно, что пеленг сигнала отклоняется на  $\alpha \sim 0^\circ,3 \div 0^\circ,6$  после начала нагрева ионосферы. Восстановление пеленга происходит спустя 10—15 минут после выключения передатчика. Нагрев ионосферы вызывает также увеличение дисперсии флуктуаций пеленга сигнала. Усредненная величина  $\sigma = [(\alpha - \bar{\alpha})^2]^{1/2}$  составляет  $\sigma = 0^\circ,59$  для невозмущенной ионосферы и  $\sigma = 0^\circ,74$  для нагретой ионосферы. Отношение дисперсий равно  $\sigma^2/\sigma_0^2 = 1,55$ .

Перейдем к обсуждению полученных результатов. Уменьшение интенсивности сигнала радиостанции может быть обусловлено рассеянием радиоволн на углы, превышающие угловые размеры рассеивающего объема  $L/R = 5 \cdot 10^{-2} = 3^\circ$  ( $L = 50$  км,  $R \approx 900$  км — линейный размер и расстояние до возмущенной области). Если такое рассеяние вызвано мелкомасштабными неоднородностями ( $l < \sqrt{\lambda R}$ ), то размеры  $l$  рассеивающих неоднородностей должны удовлетворять неравенству  $l \lesssim \lambda R/L$ , т. е. для  $\lambda = 15$  м размер  $l \lesssim 300$  м. В этом случае флуктуации фазы волны, определяющие долю рассеянной энергии  $P_s/P$ , могут быть оценены из выражения [4]  $S_0^2 \approx \frac{P_s}{P} =$

$= \pi^{5/2} (\delta N)^2 \frac{f_0^4 l L}{f^4 \lambda^2}$ , где  $(\delta N)^2 = (\Delta N/N)^2$  — среднеквадратичные флуктуации электронной концентрации,  $f_0/f$  — отношение плазменной частоты к частоте волны. Для измеренной на эксперименте величины  $P_s/P \sim 0,1$  при значениях  $f_0/f = 0,3$ ,  $\lambda = 15$  м,  $l = 300$  м,  $L = 50$  км имеем  $\delta N \approx 3 \cdot 10^{-3}$ . Рассеянием волн на неоднородностях с  $l \sim 300$  м и  $\delta N \sim 3 \cdot 10^{-3}$  в принципе можно объяснить и флуктуации пеленга сигнала ( $\Delta \alpha \approx \lambda S_0/\pi l \approx 5 \cdot 10^{-3} = 0^\circ,3$ ).

Возможное регулярное смещение пеленга на угол  $\Delta \alpha = 0^\circ,3 \div 0^\circ,5$  (рис. 2) можно объяснить изменением электронной концентрации во всей нагретой области ионосферы.

Величину этого изменения можно оценить из выражения  $\Delta \alpha = \frac{1}{2} \frac{f_0^2 \Delta N}{f^2 N}$ , откуда при  $\Delta \alpha = 10^{-2}$  получаем значение  $\Delta N/N = 0,2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Беликович, Е. А. Бенедиктов, Г. Г. Гетманцев и др., Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 18, № 4, 516 (1975).
2. Г. Г. Гетманцев, Л. М. Ерухимов, Э. Е. Митякова и др., Тезисы докладов XI Всесоюзной конференции по распространению радиоволн, изд. КГУ, Казань, 1975, стр. 72; Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика (в печати).
3. W. F. Ulaut, Proc. IEEE, 63, 1022 (1975).

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию  
26 марта 1976 г.

УДК 535 853.31

### ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХСЛОЙНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

В. Б. Казанский, Н. Н. Колчигин, И. И. Резник, С. Л. Просвирнин

Двухслойные решетки широко используются в различных СВЧ устройствах: интерферометра, фильтрах, антенных обтекателях и др. [1, 2]. В [3] описаны электродинамические свойства двухслойных ленточных дифракционных решеток в случае, когда простые ленточные решетки, образующие двухслойную, идентичны и расположены так,