

УДК 538.566

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО НАГРЕВА ИОНОСФЕРЫ НА ПОЛЕ СДВ СИГНАЛА

О. В. Соловьев

Большое развитие в последнее время получили эксперименты по активному воздействию на ионосферу мощным КВ радиоизлучением и связанные с ними исследования возникающих при этом ионосферных неоднородностей [1-4], в том числе и в плане их влияния на распространение радиоволн.

В настоящей заметке выполнен расчет влияния таких искусственных неоднородностей на распространение СДВ в приземном волноводном канале.

Первоначальная экспериментальная оценка эффекта воздействия на ионосферу мощным КВ радиоизлучением, с точки зрения амплитуды и фазы СДВ сигнала, была выполнена в [5]. Более подробные и точные результаты содержатся в [6], где приведены кривые зависимости возмущения амплитуды и фазы сигнала РНС «Омега» ($f = 12,1$ кГц) от угла наклона диаграммы направленности нагревного стенда, располагавшегося в окрестности трассы распространения сигнала. Предложенная в [7] теоретическая интерпретация результатов [6] и расчет, проведенный на основе модели, в которой неоднородность учитывалась введением некоторой модифицированной постоянной распространения, на наш взгляд, могут быть улучшены.

Проведем расчет согласно методике, подробно описанной в [8], где в рамках модели плоского импедансного волновода наличие возмущенной области учитывается введением $\delta_n(r, \varphi)$ — неоднородного по площади импеданса ионосферы, зависящего от продольных координат r, φ

$$\delta_n(r, \varphi) = \begin{cases} \delta_0, & \text{если } (r, \varphi) \in S_0 \\ \delta_v, & \text{если } (r, \varphi) \in S_v \end{cases},$$

где S_0 — область, соответствующая локальной неоднородности на верхней стенке волновода

Таким образом, верхняя ионосферная стенка волновода характеризуется следующими параметрами: δ_0 — импеданс регулярной части волновода, h — высота регулярного волновода, δ_v — импеданс возмущенной области, (x, y) — координаты центра возмущенной области в декартовой системе координат с началом в источнике и осью x , совмещенной с линией источник — приемник, r_0 — радиус возмущенной области

При выборе параметров теоретической модели предполагалось 1) дневные условия распространения, 2) источник и приемник расположены на Земле, 3) частота сигнала $f = 12,1$ кГц, 4) длина трассы 443 км, 5) мощность возмущающего излучения $W_0 = 200$ МВт на частоте $F = 2,759$ МГц, 6) диаметр засвеченной области — 20 км на высоте 80 км над Землей

Согласно методике [8] расчет начинается с определения δ_0 и h по заданным высотным профилям электронной концентрации и частоты соударений для спокойной ионосферы. По аналогичным профилям для ионосферы, находящейся под воздействием КВ радиоизлучения, определяется δ . В работе использовались профили, опубликованные в [9], причем возмущенные соответствовали воздействию с $F = 2,8$ МГц, $W_0 = 100$ и 300 МВт. В результате было получено $\delta_0 = 0,4964 + 0,2216i$, $h = 59,8$ км, $\delta_v = 0,2364 + 0,2698i$ для $W_0 = 100$ МВт и $\delta_v = 0,1792 + 0,2787i$ для $W_0 = 300$ МВт. Радиус возмущенной области был принят равным $r_0 = 7,5$ км на уровне h . Уширение засвеченного на ионосфере пятна при смещении диаграммы направленности от вертикали не учитывалось.

Используя представленную в [6] схему эксперимента (рис 1), были пересчитаны координаты центра возмущенной области:

$$\begin{aligned} x &= 366 + 0,718 \cdot (88,8 - 59,8 \operatorname{tg} \alpha), \\ y &= 0,71 \cdot (66,3 - 59,3 \operatorname{tg} \alpha), \end{aligned} \quad (1)$$

где α — угол между вертикалью и направлением максимума излучаемой энергии возмущающей антенны

Поскольку результаты [6] приводятся для компоненты H электромагнитного поля, а в работе [8] определяется вертикальная составляющая P_z вектора Герца, было учтено, что $H_\varphi = i\omega\epsilon_0\partial\Pi_z/\partial r$, где $\omega = 2\pi f$, ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума

К сожалению, в тексте [6] и [7] с достаточной ясностью не сказано, какие конкретно величины понимаются под словами «Amplitude anomaly», «Phase anomaly».

Поэтому были приняты. $\Delta M = 20 \log_{10} \frac{|H_\varphi|}{|H_\varphi^{(0)}|}$ — для оценки возмущения амплитуды

и $\Delta\Phi = \arg H_\varphi - \arg H_\varphi^{(0)}$ — для оценки возмущения фазы сигнала. Здесь $H_\varphi^{(0)}$ соответствует значению искомой компоненты поля в отсутствие нагрева на трассе.

Нижняя стенка модельного волновода считалась идеально проводящей. Это условие, как ясно из [8], не является принципиальным.

В расчетах учитывались все значимые нормальные волны. Число их оказалось равным пяти, поскольку шестая мода давала вклад $\sim 10^{-10}$ по отношению к первой нормальной волне.

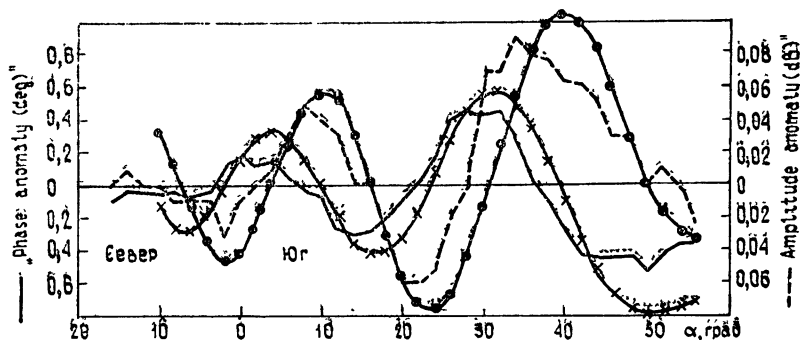


Рис. 1.

Результаты расчетов представлены на рис. 1, который воспроизводит рис. 3 из статьи [8], с наложенными на экспериментальные кривые ($\Delta\Phi(\alpha)$ — сплошная и $\Delta M(\alpha)$ — пунктирная линии) расчетными точками ($\Delta M(\alpha)$ — обозначены кружками, $\Delta\Phi(\alpha)$ — крестиками). Расчетные данные приведены для $W_0 = 300$ МВт. Кривые $\Delta M(\alpha)$ и $\Delta\Phi(\alpha)$, полученные для $W_0 = 100$ МВт, полностью повторили ход кривых в случае $W_0 = 300$ МВт. Различия наблюдались только в величине максимумов. Так, для $W_0 = 100$ МВт $\max \Delta M = 0,087$ дБ, $\max \Delta\Phi = -0,66^\circ$. Аналогичные значения для $W_0 = 300$ МВт, как видно из рисунка, получились: $\max \Delta M = 0,105$ дБ, $\max \Delta\Phi = -0,80^\circ$. Этот факт говорит о том, что предложенная теория [8, 9] может «следить» как за физическими параметрами возмущающего излучения (в частности, его мощностью), так и за его положением относительно трассы распространения.

Имеющиеся различия теории и эксперимента могут быть обусловлены многими причинами, в том числе и такими, которые не являются принципиальными и могут быть учтены в рамках данной модели. Например, неоднородность пятна ($\delta_0 = \delta_0(r, \varphi)$), его деформация при движении по поверхности ионосферы; может быть уточнена геометрия задачи (1). Необходимо также иметь в виду, что использованные в расчетах профили возмущенной ионосферы [9] соответствуют нагреву в течение двух минут, в то время как в эксперименте он продолжался 1,5 с.

Автор выражает благодарность Е. Л. Тепа за проведение расчетов на ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stubbe P., Kopka H. et al. — J. Atmos. Terr. Phys., 1985, 47, № 12, p. 1151.
2. Fejer J. A., Gonzales C. A. et al. — J. Atmos. Terr. Phys., 1985, 47, № 12, p. 1165.
3. Migulin V. V., Gurevich A. V. — J. Atmos. Terr. Phys., 1985, 47, № 12, p. 1181.
4. Бахметьева Н. В., Бенедиктов Е. А., Игнатъев Ю. А. и др. Препринты НИРФИ № 188 и 189. — Горький, 1984, 1985.
5. Rush C. M., Violette E. J., Espeland R. H., Carroll J. C. — Radio Sci., 1981, 16, № 2, p. 219.
6. Barr R., Rietveld M. T., Kopka H., Stubbe P. — Nature, 1984, 309, № 5968, p. 534.
7. Barr R., Rietveld M. T., Stubbe P., Kopka H. — J. Geophys. Res., 1985, A 90, № 3, p. 2861.
8. Соловьев О. В. — Изв. вузов — Радиофизика, 1985, 28, № 10, с. 1236.
9. Иткина М. А., Котик Д. С., Кротова З. Н., Поляков С. В., Райпорт В. О. Препринт НИРФИ № 162. — Горький, 1983.

Ленинградский государственный университет

Поступила в редакцию
29 сентября 1986 г.