



УКРАИНСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(УкрНИИНТИ) ГОСПЛАНА УССР

СПРАВКА О ДЕПОНИРОВАНИИ РУКОПИСИ

Выдана настоящая гр. Мисюре В.А. и др.

в том, что УкрНИИНТИ депонирована в справочно-информационном фонде его рукопись № 15553Ук-85Деп.

" О некоторых путях повышения информативности и точности метода частичных отражений. "

Библиографическое описание настоящей рукописи опубликовано в Библиографическом указателе ВИНТИ «Депонированные научные работы», 198 5, № 12(170)/о _____

В соответствии с Инструкцией о порядке депонирования рукописных работ по естественным, техническим и общественным наукам, утвержденной постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике, Президиума Академии наук СССР, Министерства высшего и среднего специального образования СССР и Главного управления по охране государственных тайн в печати при Совете Министров СССР от 11 мая 1971 г. № 157/13, авторы депонированных рукописей сохраняют право, вытекающее из законодательства об авторском праве, но не могут претендовать на выплату гонорара; депонированные рукописи приращиваются к опубликованным печатным изданиям.

Зам. Директор УкрНИИНТИ

Г.Ф.Ассонов

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ И ОРДЕНА
ДРУЖБЫ НАРОДОВ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. М. ГОРЬКОГО

УДК 551.510.535

А. М. Гюков, А. И. Гритчин, Н. С. Дзюба, В. А. Мисюра, Л. А. Ливень

О НЕКОТОРЫХ ПУТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ И ТОЧНОСТИ
МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ ОТРАЖЕНИЙ

Государственная
республиканская научная
техническая библиотека

ХАРЬКОВ - 1985

1553Ук-850ен.

С помощью модельных расчетов проведен анализ влияния шумов, ошибок считывания амплитуд частично отраженных сигналов за счет квантования уровней при вычислении плотности электронов в нижней ионосфере методикой дифференциального поглощения. По одновременным измерениям на двух различных частотах получены профили плотности и частоты столкновений электронов с молекулами в D - области ионосферы.

Для вычисления высотных профилей плотности электронов $N(z)$ по измерениям методом частичных отражений (МЧО) используются амплитуды $A_{O,H}$ обыкновенной "O" и необыкновенной "H" компонент радиосигналов, рассеянных на неоднородностях ионосферной плазмы. При регистрации принимаемых сигналов полезные ЧО сигналы маскируются шумами различной природы. Кроме этого при оцифровке амплитуд принимаемых сигналов вносится дополнительная погрешность за счет квантования уровней. Таким образом при выводе амплитуд этих сигналов на перфоленту (например) на ней фиксируются не истинные значения $A_{O,H}$ а некие $A'_{O,H}$

$$A'_{O,H}(t) = A_{O,H}(t) + A_{шO,H}(t) + \Delta A_{O,H}(t), \quad (I)$$

где $A_{шO,H}$ - амплитуды шумов для "O" и "H" поляризаций, $\Delta A_{O,H} \ll 0$ - добавка за счет квантования амплитуд, t - время.

I. В методике дифференциального поглощения (ДП) МЧО для расчета высотных профилей плотности электронов $N(z)$ используется выражение [I] :

$$B(z) = R(z) \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot B_1(z), \quad (2)$$

$$\text{где } R(z) = \frac{z_H^2 C_{3/2}^2(z_H) + \frac{25}{4} C_{5/2}^2(z_H)}{z_0^2 C_{3/2}^2(z_0) + \frac{25}{4} C_{5/2}^2(z_0)}, \quad P_1 = \frac{y_0 \cdot \operatorname{sh} y_H}{y_H \cdot \operatorname{sh} y_0},$$

$$P_2 = \exp \frac{\pi^2}{4} (n_0 - n_H), \quad B_1(z) = \exp 4 \frac{\omega}{c} \int_0^z (\alpha_0 - \alpha_H) dz, \quad z_{0,H} = \frac{\omega \pm \omega_L}{\nu},$$

$C_{\rho, \alpha}$ - табулированные полупроводниковые интегралы, ν - частота столкновений электронов с молекулами, ω - несущая частота зондирующих сигналов, ω_L - продольная составляющая гирочастоты электронов, $y_{0,H} = \omega \tau_u \alpha_{0,H}$, τ_u - длительность зондирующих импульсов, $n_{0,H}$, $\alpha_{0,H}$ - действительная и мнимая части показателя преломления ионосферы. Величина $B(z) = \overline{A_H^2} / \overline{A_0^2}$, черта сверху означает усреднение по времени (по ансамблю реализаций $A_{0,H}(t)$). В эксперименте измеряется $B'(z) = \overline{A_H'^2} / \overline{A_0'^2}$, $B(z) \neq B'(z)$. Т.е. при наличии шумов

$$B'(z) = \frac{B(z) + \alpha \cdot \kappa}{1 + \kappa}, \quad (3)$$

здесь $\alpha = \overline{A_{шH}^2} / \overline{A_{ш0}^2}$, $\kappa = \overline{A_{ш0}^2} / \overline{A_0^2}$ (предполагается, что корреляция между шумами и ЧО сигналами отсутствует).

Расчет погрешностей вычисления $N(z)$, вносимых шумами, проводился с использованием (2). Задавались типичными моделями $N(z)$ и $\nu(z)$ спокойной ионосферы для высот 65...90 км., затем по (2) рассчитывались значения $B(z)$. Предполагая, что α и κ принимают значения $\alpha = 0,2; 0,5; 1; 1,2; 2$, $\kappa = 0,1; 0,3; 0,5; 1; 2$ и используя вычисленные $B(z)$ рассчитывали $B'(z)$ по (3). Подставив $B'(z)$ в (2), вычисляли соответствующие $N'(z)$ и рассчитывали относительные погрешности $\delta N = |(N - N') / N|$. Расчеты проводились для $\tau_u = 25$ мкс.

и частот $f = 2 \dots 6$ Мгц. Для иллюстрации на рис. I приведены зависимости $\delta N(f)$ для различных высот Z - области ионосферы в случае $\alpha = 1$, $\kappa = 0,3$. (Строились графики зависимостей $\delta N(f)$ для всех указанных α , κ и высот $Z = 75, 81, 89$ км.). Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы: 1) шум оказывает практически всегда заметное (часто существенное) влияние, увеличивая погрешность при вычислении $N(Z)$ по результатам измерений МЧО, 2) на высотах $Z \lesssim 70$ км. наименьшая погрешность при $\alpha = 1$ достигается при использовании $f = 2 \dots 3$ Мгц, она минимальна для $\kappa = 0,1$ (из числа заданных κ) и составляет $\delta N \simeq 0,25 \dots 2\%$; с увеличением f δN на этих высотах растет и достигает 15% при $f = 6$ Мгц. При увеличении κ δN растет значительно для всех f . Например, при $\kappa = 0,3$ для $f = 2$ Мгц $\delta N \simeq 10\%$, а для $f = 6$ Мгц $\delta N \simeq 50\%$; при $\kappa = 1$ для $f = 2$ Мгц $\delta N \simeq 17\%$, а для $f = 6$ Мгц $\delta N \simeq 127\%$, 3) на высотах $Z > 70$ км. при $\alpha = 1$ δN почти постоянна для $f = 3 \dots 6$ Мгц и составляет на $Z = 75$ км. при $\kappa = 0,1$ 4,3...4,7%, 5,1...6,7% на $Z = 81$ км., 11...80% на $Z = 89$ км. При этом δN растет с ростом κ : она минимальна при $\kappa = 0,1$ (для всех f), составляет $\sim 4,5\%$ для $f = 3 \dots 6$ Мгц. Интересно, что погрешности при постоянном κ для $f = 4 \dots 6$ Мгц отличаются не очень сильно на этих высотах и составляют при $\kappa = 0,1$ $\delta N \simeq 5,1 \dots 22\%$, а при $\kappa = 1$ $\delta N = 20 \dots 55\%$, 4) погрешность δN наименьшая для всех $f = 2 \dots 6$ Мгц и высот при минимальном $\alpha = 0,2$ (из интервала изменения α), 5) с увеличением f от 2 до 6 Мгц при постоянном α δN увеличивается на высотах $Z \lesssim 70$ км, например при $\kappa = 0,1$ и $\alpha = 0,2$ $\delta N = 0,02 \dots 2\%$, при $\kappa = 0,5$ и $\alpha = 0,2$ $\delta N =$

0,26...4,5%, при $\kappa = 1$ и $\alpha = 0,2$ $\delta N = 0,28...13,3\%$.
 При постоянном κ и f , например $\kappa = 0,1$ $f = 2$ МГц δN возрастает от 0,02% при $\alpha = 0,2$ до 5,3% при $\alpha = 2$. Для $f = 6$ МГц и $\kappa = 0,1$ при $\alpha = 0,2$ $\delta N \approx 1,9\%$, при $\alpha = 2$ $\delta N \approx 34\%$. Т.е. при постоянном κ и f δN возрастает с ростом α , б) на высотах $z > 70$ км с увеличением f от 3 до 6 МГц при постоянном α δN уменьшается. Например, при $\kappa = 0,1$, $\alpha = 0,2$ и $z = 81$ км δN изменяется от 3 до 0,77%, при $\kappa = 1$, $\alpha = 0,2$ от 20 до 5%.

Таким образом, для устранения ошибок, связанных с наличием шумов, при вычислении высотных профилей плотности электронов методикой дифференциального поглощения необходимо в каждом сеансе измерений методом ЧО определять величины α и κ , что возможно при попеременной регистрации только шумов и сигналов- шум плюс частичные отражения. Подобный эксперимент был проведен 19.03.1983 в 15 часов (время московское) с помощью стационарного комплекса ЧО (СИРК) Харьковского госуниверситета (рабочая частота $f = 2,06$ МГц, $\tau_u = 25$ мкс). На рисунке 2 приведены профили $N(z)$, рассчитанные по формуле (2) на основании экспериментальных данных без вычета шумов (кривая 2) и с вычетом шумов по формуле (3) (кривая 1). В указанном эксперименте величина $\alpha = 0,96$, а $\kappa(z)$ изменялась в интервале 0,585...0,231 для высотного диапазона $z = 78...90$ км (кривая 3 - модельный профиль частоты столкновений электронов с молекулами, который использовался при вычислении $N(z)$). Заметим, что во всем указанном интервале высот удалось уточнить значения N примерно на 20...50% (при этом значения N увеличились).

2. При регистрации амплитуд 40 сигналов (на перфо - ленту, магнитную ленту) производится их квантование по абсолютному значению с определенной погрешностью, вызванной дискретностью уровней квантования. Это, в свою очередь, приводит к погрешностям при вычислении плотности электронов $\delta_1 N$.

С помощью аналогичных модельных расчетов проводилось вычисление $\delta_1 N$ для частот $f = 2 \dots 6$ МГц, высот Д - области и заданной погрешности $\delta(\Delta A)$ оцифровки амплитуд принимаемых сигналов $\delta(\Delta A) = (\overline{\Delta A^2} / A^2) \cdot 100\% = 0,01 \dots 10\%$. Как и ожидалось с увеличением $\delta(\Delta A)$ возрастает и $\delta_1 N$ на всех высотах при всех f . Причем $\delta_1 N$ зависит от величины N : на малых высотах ($z \lesssim 75$ км, где N невелико) $\delta_1 N$ составляет единицы процентов, а на высотах $z \approx 85 \dots 90$ км (где $N \sim 10^3 \dots 10^4$) $\delta_1 N$ изменяется от единиц до десятков процентов, что наглядно видно из таблицы I (для $f = 3$ МГц).

Подобная погрешность рассчитывалась для регистрации 40 сигналов, которая обсуждалась выше. В указанном интервале высот $\delta(\Delta A) = 0,5 \dots 0,14\%$, а $\delta_1 N \approx 1 \dots 10\%$.

3. Повышение информативности МЧО предлагается получать путем одновременного измерения 40 сигналов на двух различных частотах. Для амплитуд ${}^{1,2}A_{0H}$ (индексы 1 и 2 соответствуют зондирующим частотам f_1 и f_2 , $|f_1 - f_2| \approx 2$ МГц) получаются два уравнения вида (2) с двумя неизвестными $N(z)$ и $V(z)$, которые затем решаются совместно на ЭВМ.

С этой целью 19.03.1981 в 15 часов одновременно с помощью стационарной (СИРК) и подвижной (ПРИК) систем 40 Харьковского госуниверситета проводилось измерение 40 сигналов на частотах $f_1 = 2,06$ МГц (СИРК, регистрация на перфоленту) и $f_2 = 3,99$ МГц (ПРИК, регистрация на киноленту).

В результате обработки были получены зависимости $B'(z)$ для этих регистраций, которые использовались для вычисления $N(z)$ и $V(z)$. Результаты этих расчетов приведены на рисунке 2 (где крестики - значения N , кружочки - значения V). Как и ожидалось, полученные таким образом значения N и V отличаются от обсуждаемых выше. Это объясняется тем, что профиль $V(z)$ (кривая 3 на рис. 2), который ранее использовался для получения $N(z)$, задавался из модельных исследований с неизвестной для конкретной реализации погрешностью. Таким образом удалось не только расширить информацию о параметрах Д - области ионосферы, но и уточнить значения N и V в среднем на 30...50%.

4. При изучении природы ЧО сигналов обычно вычисляется величина $\beta_{0,n}^2 = E_{к0,n}^2 / |E_{з0,n}|^2$ ($E_{к0,n}^2$ - энергия отраженной составляющей ЧО сигналов, $|E_{з0,n}|^2$ - средняя энергия рассеянной составляющей ЧО сигналов). Поле принимаемых сигналов $E_{0,n}(t)$ является суперпозицией отраженной $E_{к0,n}$, рассеянной $E_{з0,n}$ и шумовой $E_{ш0,n}$ составляющих. Для энергии $|E_{0,n}|^2$ справедливо

$$\overline{|E_{0,n}|^2} = \overline{A_{0,n}^2} = \overline{|E_{з0,n}|^2} + E_{к0,n}^2 + \overline{|E_{ш0,n}|^2}, \quad (4)$$

или

$$\overline{A_{0,n}^2} = \overline{|E_{з0,n}|^2} \cdot (1 + \beta_{0,n}^2), \quad (5)$$

где $\beta_{0,n}^2 = \beta_{0,n}^2 + \gamma_{0,n}^2$, $\gamma_{0,n}^2 = \overline{|E_{ш0,n}|^2} / \overline{|E_{з0,n}|^2}$.

Таким образом, для вычисления $\beta_{0,n}^2$ в случае наличия шумов необходимо: 1) измерить и рассчитать $\overline{A_{0,n}^2}$, 2) измерить и вычислить $\overline{|E_{ш0,n}|^2}$, 3) измерить и рассчитать $(\overline{A_{0,n}^2})^2$, вычислить из соотношения

$$\frac{\overline{A_{0,n}^{12}}}{(\overline{A'_{0,n}})^2} = \frac{4(1 + \beta_{0,n}^{12}) \cdot \exp(\beta_{0,n}^{12})}{\pi \left[(1 + \beta_{0,n}^{12}) I_0(\beta_{0,n}^{12}/2) + \beta_{0,n}^{12} I_1(\beta_{0,n}^{12}/2) \right]}$$

величину $\beta_{0,n}^{12}$, 4) из (5) вычислить $|E_{30,n}|^2$ и $E_{к0,n}^2$, а затем и $\beta_{0,n}^2$. (Здесь I_0 , I_1 - модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка первого рода). Как показывают оценки, шумы часто вносят заметное влияние при вычислении $\beta_{0,n}^2$ (особенно когда $E_{к0,n}^2 \gg |E_{30,n}|^2$, $E_{к0,n}^2 \approx |E_{ш0,n}|^2$, $|E_{30,n}|^2 \gg E_{к0,n}^2$, $|E_{30,n}|^2 \approx |E_{ш0,n}|^2$), поэтому при изучении механизма, ответственного за ЧО, нужно обязательно учитывать влияние шумов. Это иллюстрируется экспериментальными результатами, приведенными в таблицах 2 (случай когда $E_{к0,n}^2 \gg |E_{30,n}|^2$) и 3 (случай когда $|E_{30,n}|^2 \sim E_{к0,n}^2$). (В таблицах 2 и 3 обозначения: СШ - средние широты, ВШ - высокие широты). Видно, что в первом случае (таблица 2) влияние шумов существенно, во втором же оно значительно менее заметно.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- І. Л.А.Пивень, Ю.П.Федоренко Развитие метода частичных отражений. Деп. в ВИНТИ, деп.№ 24І6 - 76, 29 июля 1976 г., 30 с.

Приложение I

Таблица П.І.І

$\delta(\Delta A)\%$ $\xi_N\%$	⊕ км	75 км	81 км	89 км
0,01	1,14	2,81	3,1	6,2
0,1	1,14	2,81	3,86	13,5
1	1,14	5,27	6,59	50,6
10	5,25	8,0	20,8	90,1

Таблица П.1.2

	30.06.1977	08.32	III	20.03.1981	10.00	СIII	24.01.1984	12.00	СIII			
Z, км.	β_0^{12}	β_0^2	β_H^{12}	β_H^2	Z, км.	β_0^{12}	β_0^2	Z, км.	β_0^{12}	β_0^2	β_H^{12}	β_H^2
90	2,9	1,7	3,17	1,9	75	2,7	1,73	72	2,2	0,98	2,8	1,7
92	3,3	1,73	3,61	1,97	78	3,8	1,92	72	2,4	1,3	2,73	1,78
94	3,7	1,99	3,87	2,1	81	3,8	1,9	75	2,4	1,38	2,4	1,4
96	4,0	2,3	3,61	2,0	84	3,0	1,3	78	2,0	1,1	2,7	1,27

И

Таблица П. I. 3

2.08.1981		09.00 СШ		22.03.83		14.00 СШ		9.12.1984		12.00 СШ				
$Z, \text{км.}$	$\beta_0^{1/2}$	β_0^2	$\beta_H^{1/2}$	β_H^2	$Z, \text{км.}$	$\beta_0^{1/2}$	β_0^2	$\beta_H^{1/2}$	β_H^2	$Z, \text{км.}$	$\beta_0^{1/2}$	β_0^2	$\beta_H^{1/2}$	β_H^2
75	0,83	0,83	0,91	0,9	69	0,97	0,93	0,97	0,94	78	1,1	0,98	1,0	0,93
78	0,87	0,84	0,9	0,79	71	1,1	1,03	0,98	0,9	81	1,3	1,2	1,0	0,9
81	1,1	0,98	0,9	0,81	73	0,7	0,67	0,68	0,67	84	0,97	0,87	0,83	0,79
84	0,68	0,68	0,7	0,68	75	0,49	0,5	0,93	0,9	87	1,0	0,89	0,71	0,6

Приложение 2.

Пример зависимости δN от f .

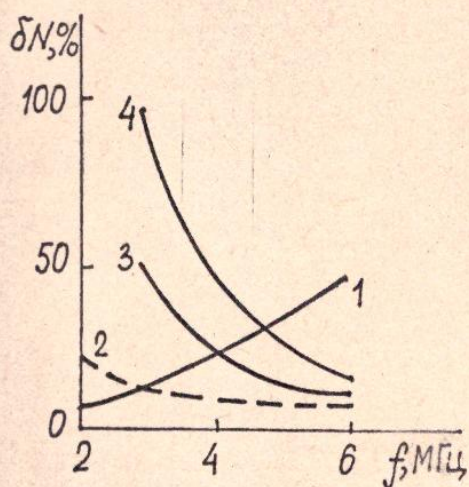


Рис.П.2.1 $\alpha = 1, \kappa = 0,3$

кривые: 1 - $Z = \oplus$ км., 2 - $Z = 75$ км.,

3 - $Z = 81$ км., 4 - $Z = 89$ км.

Высотные профили $N(z)$ и $\nu(z)$.

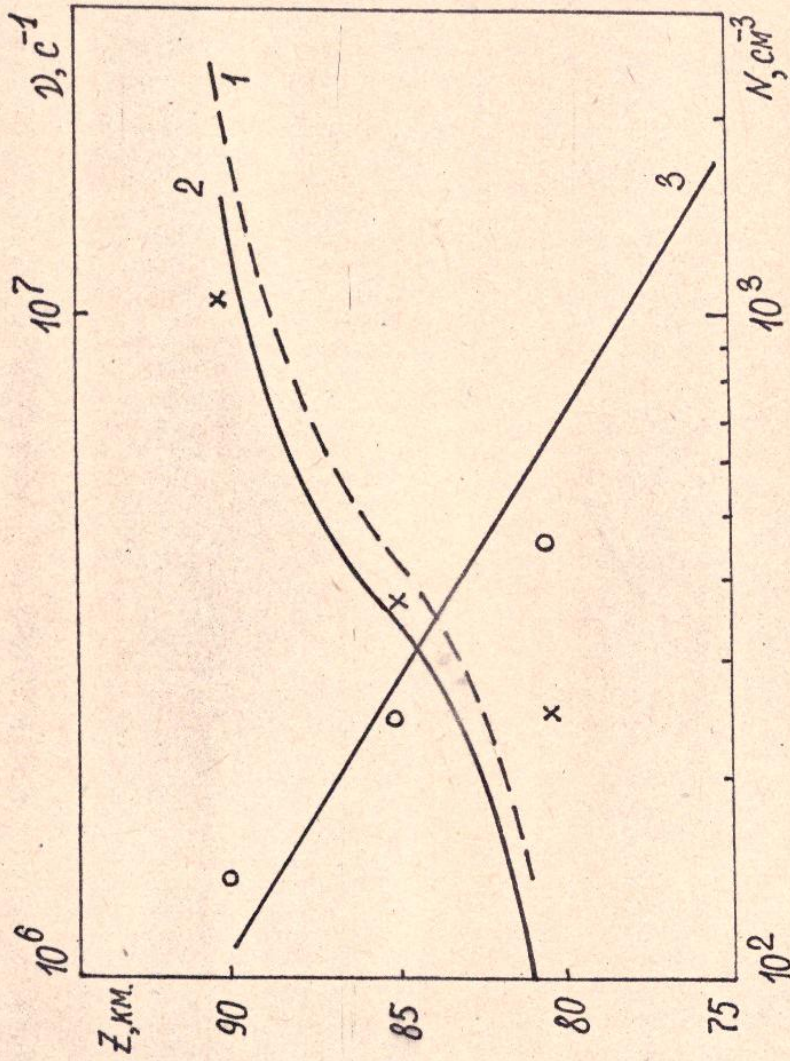


Рис. П.2.2.2 кривые: 1 - профиль $N(z)$, полученный по измерениям МЧО 19.03.81 в 15 час. в районе г. Харькова с учетом шумов, 2 - то же без учета шумов, 3 - модельный профиль $\nu(z)$, кружочки - значения ν , крестики - значения N , полученные из одновременных измерений МЧО с помощью двух систем ЧО в указанное выше время.

Печатается в соответствии с решением Ученого Совета
радиофизического факультета Харьковского государственного
университета имени А.М.Горького от 22 марта 1985 г.

16-585