

УДК 621.371

УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ИОНОСФЕРЫ В ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ

В.А. Голыгин, Е.М. Вдовин, В.И. Сажин

SPECIFYING MODEL VALUES OF IONOSPHERIC CRITICAL FREQUENCIES FROM MAGNITUDE OF THE TOTAL ELECTRON CONTENT IN THE CURRENT SITUATION

V.A. Golygin, E.M. Vdovin, V.I. Sazhin

Ранее рассматривалась возможность уточнения модельных значений критических частот ионосферы в текущей ситуации по величине ПЭС на основе использования модифицированного варианта полумпирической модели ионосферы. В настоящей работе осуществлен переход к модели фоновой ионосферы. Эта модель более адекватно учитывает вариации формы профиля электронной концентрации на высотах, значительно больших высоты максимума. Показано, что при таком переходе существенно увеличивается эффективность значений критических частот.

Предлагаемая методика позволяет корректировать модельные значения критических частот в протяженном пространственном регионе, что дает возможность улучшить описание продольных градиентов электронной концентрации на дальних ионосферных радиотрассах.

При использовании значений ПЭС, размещаемых в Интернет, рассматривается возможность временной экстраполяции определяемых для конкретного пункта земной поверхности значений критических частот.

Previously, we examined such possibility by using a modified version of the semi-empirical ionosphere model. In this paper, the transformation to a background ionosphere model is realized. This model more adequately takes into account shape variations of the electron density profile at altitudes much higher than peak height. It is shown that this transition significantly increases the efficiency of critical frequencies specification.

The proposed method allows to correct the model values of critical frequencies at extended spatial region, and due to the method there is possibility to improve the description of longitudinal electron density gradients on long-haul ionospheric transmission paths.

Using the total electron content values, placed on the Internet, the possibility of time extrapolating of critical frequencies, determined for a specific point on the earth's surface, is considered.

Коррекция среднемесячной модели на текущую ситуацию является одним из способов повышения точности расчета параметров сигнала, распространяющегося на наземных ионосферных радиопутьях. В [Голыгин, 2003] впервые рассматривалась возможность уточнения в модели значений критических частот ионосферы f_0F2 на основе использования данных о полном электронном содержании ионосферы (ПЭС), измерения которого проводятся, в частности, в спутниковой радионавигационной системе GPS.

При коррекции модели по f_0F2 для описания зависимости электронной концентрации от высоты $N(h)$ применялось развитие полумпирической модели ионосферы ПЭМИ [Поляков, 1986] на участке выше максимума в виде экспоненциально убывающей зависимости. Было получено, что для коррекции с использованием данных по ПЭС, размещаемых в сети Интернет, среднее снижение расхождений в значениях f_0F2 между моделью и данными вертикального зондирования (ВЗ) может быть снижено примерно вдвое.

Дальнейшие исследования показали, что эффективность коррекции может быть повышена за счет улучшения описания формы $N(h)$ выше максимума. В [Голыгин, 2003] предложено другое аналитическое описание формы $N(h)$ на этом участке в виде двух сопрягаемых кривых. В настоящей работе проведена оценка достигаемого улучшения в уточнении значений f_0F2 при переходе к модели фоновой ионосферы [Вдовин, 2011].

В качестве дополнительного обоснования методики коррекции проведено численное моделирование по оценке влияния допустимых вариаций пара-

метров максимума $N(h)$ на значения ПЭС. Результаты моделирования в отдельной ситуации показаны на рис. 1. Можно видеть, что степень влияния вариаций f_0F2 на изменение значений ПЭС является преобладающей, в несколько раз превышая влияние вариаций высоты максимума.

Таким образом, подбирая в модели фоновой ионосферы значения f_0F2 , при которых обеспечивается наилучшее (в пределах точности измерений) совпадение с фиксируемой в данный момент времени величиной ПЭС, мы можем значительно уточнить соответствие модели по этому параметру реальной ситуации.

В таблице представлены данные проведенного моделирования для различных гелиофизических условий для среднеширотных станций (Москва, Иркутск, Новосибирск) в отдельные дни и часы 2000, 2003, 2006 гг.

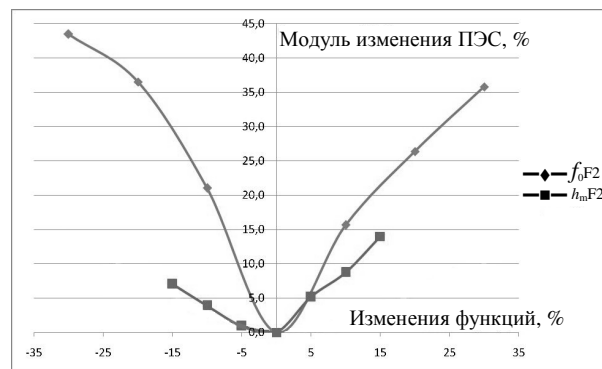


Рис. 1. Оценка степени вариаций ПЭС при изменениях параметров максимума $N(h)$ в модели.

Отдельные результаты численного моделирования для различных гелиофизических условий
некоторых среднеширотных пунктов в отдельные дни и часы

январь 2000 г., Москва									
Число	LT	ПЭС ПЭМИм	f_0F2 ПЭМИм	ПЭС ПЭМИм скорр.	ПЭС IONEX	f_0F2 ПЭМИм скорр.	f_0F2 ВЗ	Абс. ошибка, МГц	Отн. ошибка, %
10	06:00	4.4	2.85	2.9	2.9	2.15	2.2	-0.05	2.3
	18:00	15.4	6.38	13.2	13.8	5.88	5.8	0.08	1.4
15	00:00	5.8	3.31	4.8	4.8	3.01	2.3	0.71	30.9
	12:00	37.5	10.49	28.7	28.7	8.99	9	-0.01	0.1
	18:00	15.5	6.4	15.2	15.5	6.4	6.4	0	0
20	00:00	5.9	3.37	5.6	5.8	3.37	2.7	0.67	24.8
	06:00	4.5	2.91	4.5	4.5	2.91	2.5	0.41	16.4
	12:00	38.5	10.57	29.6	29.5	9.07	9.8	-0.73	7.4
25	12:00	39.3	10.66	24	25	8.16	9.1	-0.94	10.3
	18:00	18.5	7.03	13.3	12.9	5.53	5.5	0.03	0.5
Средняя IAOI и %								0.3	9.4

январь 2003 г., Иркутск									
Число	UT	ПЭС ПЭМИм	f_0F2 ПЭМИм	ПЭС ПЭМИм скорр.	ПЭС IONEX	f_0F2 ПЭМИм скорр.	f_0F2 ВЗ	Абс. ошибка, МГц	Отн. ошибка, %
10	08:00	21	8.51	41.4	41.6	12.01	11.34	0.67	5.9
	20:00	12	5.85	16.8	17.2	6.85	6.4	0.45	7
15	08:00	20.9	8.47	32.3	32.7	10.47	9.8	0.67	6.8
	20:00	11.8	5.75	19.4	18.8	7.25	6.96	0.29	4.2
20	08:00	23.2	8.98	24.6	24.8	8.88	8.33	0.55	6.6
	20:00	12.3	5.94	18.4	18.3	7.14	6.65	0.49	7.4
25	08:00	23.8	9.09	42.1	42.7	12.09	10.92	1.17	10.7
	20:00	12.4	5.96	18.8	19.6	7.46	6.88	0.58	8.4
Средняя IAOI и %								0.6	7.1

июль 2006 г., Иркутск									
Число	UT	ПЭС ПЭМИм	f_0F2 ПЭМИм	ПЭС ПЭМИм скорр.	ПЭС IONEX	f_0F2 ПЭМИм скорр.	f_0F2 ВЗ	Абс. ошибка, МГц	Отн. ошибка, %
5	08:00	3	2.73	6.9	6.9	4.73	4.08	0.65	15.9
	20:00	4.5	3.67	8.2	8	4.87	4.58	0.29	6.3
10	08:00	3	2.75	4.7	4.7	3.75	3.28	0.47	14.3
	20:00	4.3	3.57	5.5	5.5	3.87	3.65	0.22	6
15	08:00	3.1	2.76	4.5	4.7	3.76	3.2	0.56	17.5
	20:00	4.1	3.48	5.8	5.7	3.98	3.78	0.2	5.3
20	08:00	3	2.73	2.9	3	2.73	2.48	0.25	10.1
	20:00	3.9	3.4	6	5.9	4.1	3.85	0.25	6.5
Средняя IAOI и %								0.3	10.2

Данные ПЭС выбирались по картам группы codg (Ionex) в сети Интернет [<ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex>]; данные ВЗ выбирались по базе Spider [<http://clust1.wdcb.ru/spidr/index.jsp>] (данные по Иркутску предоставлены ИСЗФ). В таблице

даны полученные абсолютные и относительные ошибки в определении значений f_0F2 для некоторых моментов времени. Среднее значение абсолютной ошибки по модулю и относительной ошибки по всему массиву (всего 130 различных моментов вре-

мени) составило соответственно 0.8 МГц и 13 %. Данные результаты, хотя и получены на сравнительно небольшом объеме данных, говорят о возможном практическом применении рассматриваемого способа уточнения значений f_0F2 в текущей ситуации.

Предлагаемая методика позволяет корректировать модельные значения критических частот в протяженном пространственном регионе, что дает возможность улучшить описание продольных градиентов электронной концентрации на дальних ионосферных радиотрассах.

Эффективность уточнения f_0F2 на протяженной трассе Москва–Иркутск (4100 км) иллюстрирует рис. 2. Видно, что подобное уточнение улучшает описание продольных градиентов электронной концентрации на радиолинии.

Эффективность способа может существенно повыситься за счет использования данных ПЭС, получаемых на станциях с двухчастотными приемниками непосредственно в регионе, для которого будет использоваться уточненная модель. При использовании данных из Интернет необходимо учитывать задержку по времени получения данных. В этом случае можно использовать экстраполяцию вперед значений за предыдущие периоды.

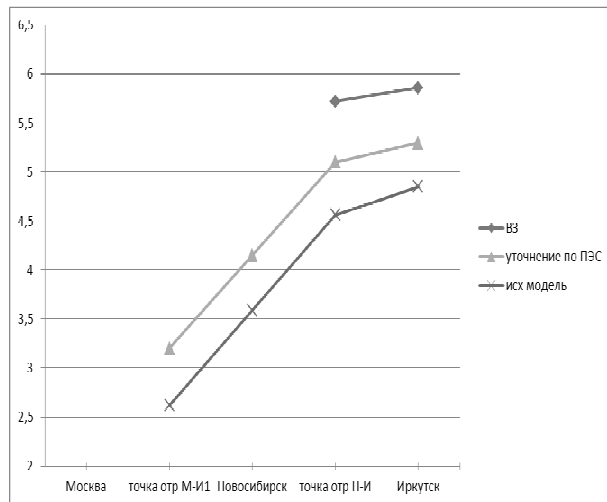


Рис. 2. Оценка степени эффективности уточнения f_0F2 на протяженной трассе.

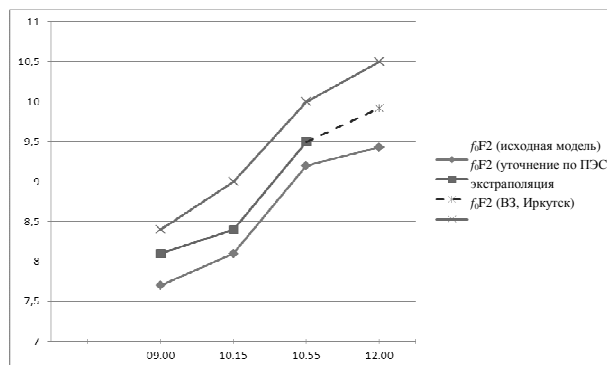


Рис. 3. Пример экстраполяции уточнения f_0F2 по ПЭС на час вперед для Иркутска.

На рис. 3 приведен пример такой экстраполяции уточнения f_0F2 на час вперед. Данный пример и несколько выполненных подобных уточнений показывают, что для небольшого временного периода (несколько часов) эффективность уточнения почти не уменьшается.

Авторы признательны В.И. Куркину за помощь в получении данных ВЗ по Иркутску.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект 14.740.11.0078 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вдовин Е.М., Гольгин В.А., Ивельская М.К. Сажин В.И. Модель фоновой ионосферы с возможностью коррекции на текущую ситуацию в нескольких высотных областях // Тезисы докладов 12 сессии молодых ученых «Физические процессы в космосе и околоземной среде». Иркутск. ИСЗФ СО РАН. 2011. С. 37.

Гольгин В.А., Грозов В.П., Лесюта О.С., Сажин В.И. Коррекция критических частот в модели ионосферы по данным о полном электронном содержании // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды VI сессии молодых ученых «Волновые процессы в проблеме космической погоды». Иркутск. 2003. С. 56–57.

Поляков В.М., Суходольская В.Е., Ивельская М.К. и др. Полуэмпирическая модель ионосферы для широкого диапазона геофизических условий. М.: МЦД-Б. 1986. 136 с.

<ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex>.

<http://clust1.wdcb.ru/spidr/index.jsp>.

Иркутский государственный университет, Иркутск