

УДК 621.396.+ 550.388

ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИ СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН

© 2012 г. А. М. Батаков

ФГБУ Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Фёдорова Росгидромета, г. Москва

e-mail: batakov-ipg@mail.ru

Поступила в редакцию 28.06.2011 г.

После доработки 22.02.2012 г.

Введено понятие эффективности моделей ионосферы при прогнозе МПЧ по критерию соответствия суточного хода прогнозируемой и экспериментально наблюдаемой МПЧ. На примерах суточной изменчивости МПЧ на двух однокачковых трассах показано, что модель МПЧ на основе долгосрочного прогноза ИПГ характеризуется эффективностью в пределах 0.8. На примере тех же двух трасс показано, что прогноз на основе модели IRI обладает такой же эффективностью. На основе обобщения метода неголоморфных функций строится модель функции плотности вероятности эффективности.

1. ВВЕДЕНИЕ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МПЧ (ИСХОДНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ)

Основным параметром ионосферных трасс, влияющим на работу радиотехнических систем декаметрового диапазона, является максимально применимая частота (МПЧ). Для трассы длиной D величина МПЧ(D) определяет верхнюю границу рабочих частот радиосигналов, на которой их интенсивность максимальна. Использование более высоких частот невозможно, поскольку точка приема сигнала попадает в так называемую “мертвую зону”. Практическая работа радиосистем требует, чтобы величина МПЧ была определена заранее, с определенным временем упреждения. Этим определяется прикладное значение процесса прогнозирования МПЧ для целого ряда потребителей (радиовещание, радиосвязь, сигнал точного времени). Упреждающее время прогноза может заключаться в пределах от нескольких минут до месяца. В настоящее время эксплуатируются в основном две схемы прогноза: месячный прогноз МПЧ например, [Месячный прогноз МПЧ, март 2006] и прогноз на основе модели IRI (International Reference Ionosphere) [Bilitza D., 2001]. В данной работе для сравнительного анализа характеристик этих двух видов прогноза (условно обозначенных X и Y) вводится понятие эффективности (Θ) этих моделей прогноза МПЧ. Количественное значение Θ формируется путем сравнения данных долгосрочного прогноза с экспериментальными данными наклонного зондирования ионосферы (НЗ) на конкретных трассах [Котович и др., 2010]. Для построения оценки (Θ) используются первый и второй статистические

инварианты относительных разностей между модельными и экспериментальными значениями МПЧ.

2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФОРМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В основе предлагаемой оценки эффективности моделей долгосрочного прогноза МПЧ используется сравнение их данных с результатами измерений МПЧ методом МПЧ. Используются данные работы [Котович и др., 2010] для трасс Магадан–Иркутск и Норильск–Иркутск. Измерения проводились на полигоне Торы, расположенного вблизи Иркутска. Экспериментальные данные представляют собой массив дискретных значений МПЧ, обозначаемых $\{МПЧ_{\Theta}\}_{ij}$, где i – номер трассы и дня, a, j – номер часа в сутках, во время которых производилось измерение [Котович и др., 2010]. Аналогичным образом определяется значение МПЧ, формирующее модельные массивы по данным месячного прогноза [Месячный прогноз МПЧ, март 2006] $\{МПЧ_{ДП}\}_{ij}$ и по данным модели IRI [Bilitza, 2001] $\{МПЧ_{IRI}\}_{ij}$. Для единичных оценок относительной погрешности прогнозов МПЧ принимаются следующие обозначения:

$$x_{ij} = \left[\frac{МПЧ_{ДП} - МПЧ_{\Theta}}{МПЧ_{\Theta}} \right]_{ij}; \quad (1)$$

$$x_{ij} = \left[\frac{МПЧ_{IRI} - МПЧ_{\Theta}}{МПЧ_{\Theta}} \right]_{ij}. \quad (2)$$

Предполагается, что для каждых суток ($j = 1, 2, 3, 4$ (двое суток, две трассы)) имеется 24 почасовых результата эксперимента, т.е. $j = 1, 2 \dots 24$.

Используются две схемы скаляризации множеств $\{x_{ij}\}$. Расчет средних значений и дисперсии величин \bar{x}_{ij} производился по известным формулам:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} x_{ij}; \quad (3)$$

$$D = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2. \quad (4)$$

Аналогичные соотношения имеют место и для y .

Основная гипотеза состоит в том, что величина эффективности Θ_x для модели [Месячный прогноз МПЧ, март 2006] выражается формулой

$$\Theta_x = 1 - \sqrt{[(\bar{x}_i)^2 + D\{x_i\}]} \quad (5)$$

Аналогичная формула используется для оценки эффективности модели IRI.

В целях обоснования формулы (5) можно привести следующие соображения. В принципе та или иная модель может характеризоваться нулевым значением средней относительной погрешности, т.е. модель может быть центрированной. Если это не так, то отсутствие центрированности будет означать определенное уменьшение эффективности Θ . Случайная изменчивость величины x_{ij} отображается также величиной дисперсии D , характеризующей отклонения прогнозируемых значений от экспериментального эталона. Значимая величина D также будет приводить к уменьшению эффективности Θ , определенной формулой (5).

3. РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Как следует из приведенных выше соотношений, рассматривается эффективность двух моделей прогноза МПЧ путем сравнения с экспериментальными данными наклонного зондирования ионосферы (НЗ) на конкретных трассах [Котович и др., 2010]. Согласно формуле (5) для построения нелинейной оценки эффективности используются первый и второй статистические инварианты относительных разностей между модельными и экспериментальными значениями МПЧ. Для конкретных расчетов эффективности воспользуемся данными работы [Котович и др., 2010], содержащей результаты НЗ на трассах Норильск–Торы и Магадан–Торы. Трасса Магадан–Торы длиной 3034 км находится в широтном поясе 50–70° N. Трасса Норильск–Торы длиной 2088 км — почти меридиональная. Результаты расчета Θ_x и Θ_y приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что для выбранных дней и трасс оценки эффективности

Таблица 1. Эффективность прогнозов МПЧ для выбранных трасс

Даты	Эффективность			
	Магадан–Торы		Норильск–Торы	
	Θ_x	Θ_y	Θ_x	Θ_y
26.03.2006 г.	0.88	0.78	0.74	0.7
27.03.2006 г.	0.83	0.83	0.76	0.79

Таблица 2. Результаты расчета автоэффективности массивов МПЧ на выбранных трассах

Даты	Автоэффективность	
	Магадан–Торы	Норильск–Торы
	A	A
26.03.2006 г.	0.95	0.96
27.03.2006 г.	0.95	0.93

долгосрочного прогноза [Месячный прогноз МПЧ, март 2006] и прогноза по IRI [Bilitza, 2001] практически одинаковы. Вместе с тем, данные работы [Котович и др., 2010] свидетельствуют о том, что величина МПЧ_Э для обеих трасс характеризуется как регулярной, так и случайной изменчивостью. В связи с этим были построены сглаженные зависимости МПЧ_Э путем скользящего усреднения этой величины на трехчасовом интервале. По аналогичным процедурам были рассчитаны эффективности массивов {МПЧ_Э} по отношению к собственным сглаженным значениям.

$$A = 1 - \sqrt{[\bar{z}_i]^2 + D\{z_i\}}, \quad (6)$$

где z_i — относительное отклонение вариации {МПЧ_Э}_{ij} от скользящего сглаженного (за три часа) значения МПЧ_Э. Величины, рассчитанные по формуле (6), можно назвать автоэффективностью A. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что в выбранные дни значения A близки к единице автоэффективности массивов МПЧ на двух трассах. Результаты расчетов A представлены в табл. 2.

Очевидно, что значения автоэффективности являются верхними предельными значениями для фактических значений эффективности сравниваемых моделей Θ_x и Θ_y .

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что в рассматриваемых случаях величина эффективности заключена в пределах 0.7–0.9. При этом различия между Θ_x и Θ_y не превышают величину 0.1.

При этом из табл. 2 следует, что отличие Θ от единицы не превышает отличия A от единицы, т.е. соблюдается условие $\Theta < A$. Вместе с тем отличие A от единицы составляет заметную часть отличия Θ от единицы. Следует отметить, что в период проведения эксперимента 26–27.03.2006 г. геофизическая обстановка была очень спокойная: $Kp \leq 3$, и солнечные вспышки полностью отсутствовали.

Таким образом, выше проведена проверка предложенной формулы оценки эффективности долгосрочных прогнозов МПЧ. Расчет эффективности по двум односкачковым трассам в спокойных условиях дал значения эффективности, близкие к единице. Кроме того, обработанные данные свидетельствуют о том, что в этих услови-

ях эффективность прогноза МПЧ по данным IRI и долгосрочного прогноза близки между собой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Котович Г.В., Грозов В.П., Ким А.Г., Ойнац А.В., Романова Е.Б., Тащилин А.В. Применение теоретической модели ионосферы для расчета характеристик распространения декаметровых радиоволн // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 50. № 4. С. 530–534. 2010.
- Месячный прогноз максимально применяемых частот (МПЧ), март 2006. С. 30–32. М.: Гелиогеофизический центр гелиогеофизической службы Росгидромета. 48 с. 2005.
- *Bilitza D.* Model IRI. International Reference Ionosphere // Radio Sci. V. 36. № 2. P. 261–275. 2001.