

А. К. Скворцов

Инженер 1 категории, ПАО «Интелтех»

С. В. Русин

Кандидат технических наук, заместитель начальника отдела, ПАО «Интелтех»

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОЗОВ НА РАДИОЛИНИИ ПРОТЯЖЕННОСТЬЮ 2770 КМ

Часть 1

АННОТАЦИЯ. В статье приведены результаты сравнения оперативных прогнозов на меридиональной радиолинии протяженностью 2770 км. Получена оценка точности оперативных прогнозов сделанных по двум различным методикам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наклонное зондирование, КВ-радиотрасса, максимальная наблюдаемая частота, максимальная применимая частота, ЛЧМ-зондирование, долгосрочный прогноз, оперативный прогноз.

Наклонное зондирование (НЗ) считается наиболее эффективным инструментом для определения текущих характеристик КВ канала. Среди измеряемых с помощью НЗ характеристик важнейшей является максимальная наблюдаемая частота (МНЧ). Величина МНЧ, а также динамика ее изменения лежат в основе оперативного (на 1, 2 и 3 часа) прогнозирования максимально применимой частоты (МПЧ) и оптимальной рабочей частоты (ОРЧ) радиолинии.

Для оперативного прогнозирования МПЧ на радиолинии Кипр — Санкт-Петербург протяженностью 2770 км использованы два метода:

1. Метод оперативного прогнозирования МПЧ с использованием суточного хода скользящих медианных значений МПЧ [1] (далее для краткости «Метод медиан»);

2. Метод оперативного прогнозирования МПЧ, описанный в работе [2] и предусматривающий использование Международной справочной модели ионосферы IRI [3] (далее для краткости «Модельный метод»).

В обоих методах оперативного прогнозирования были использованы результаты НЗ мериди-

ональной КВ-радиотрассы Кипр — Санкт-Петербург протяженностью 2770 км. Инструмент зондирования — ЛЧМ зонд. Координаты передатчика: 35°00'N, 34°00'E, приемника: 59°55'N, 30°15'E.

Измерения проводились на территории ПАО «Интелтех» круглосуточно с февраля по июнь 2018 г. Интервал между сеансами зондирования составлял 5 мин. Пример ионограммы представлен на рис. 1. Отсчет МНЧ по ионограммам производился автоматически по алгоритму, описанному в работе [4]. В результате получен массив измеренных МНЧ на каждые 5 мин. в течение 3-х месяцев. Полученный массив МНЧ использован для проверки методов оперативного прогнозирования.

В настоящей статье представлены результаты оперативного прогнозирования на 28 апреля 2018 г. В графическом виде результаты представлены на рис. 2. Здесь по горизонтали — московское время в часах, по вертикали частота в МГц.

В соответствии с «Методом медиан» определен суточный ход скользящих медианных значений МНЧ на 28 апреля 2018 г. (на рис. 2 он изображен

голубой ломаной линией). Для этого обработаны ионограммы за период с 17 по 27 апреля 2018 г. На каждый час указанного периода определены часовые медианы МНЧ по двенадцати 5-минутным МНЧ. Затем по измеренным МНЧ на 1, 5, 9, 13, 17 и 21 час 28 апреля 2018 г. сделан прогноз МПЧ на 1, 2 и 3 часа вперед. Прогнозные значения МПЧ на 3-часовые интервалы полученные «Методом медиан» изображены на рис. 2 желтыми ломаными отрезками.

Для сравнения в соответствии с «Модельным методом» выполнен прогноз на эти же 3-часовые интервалы с использованием откорректированной модели IRI 2016. Настройка (коррекция) модели к текущим условиям распространения радиоволн выполнена по тем же измеренным МНЧ на 1, 5, 9, 13, 17, 21 час 28 апреля 2018 г. На-

стройка модели осуществлялась в ее программной реализации, описанной в работе [5]. Прогнозные значения МПЧ на 3-часовые интервалы полученные «Модельным методом» изображены фиолетовыми ломаными отрезками.

Величины прогнозируемых МПЧ и относительные погрешности прогнозов представлены в табл. 1.

Очевидно, «Метод медиан» дает заниженные, тогда как «Модельный метод» — завышенные прогнозные значения МПЧ.

С точки зрения практической радиосвязи, заниженные прогнозные величины МПЧ и ОРЧ с большей вероятностью обеспечат надежную радиосвязь. Поэтому «Метод медиан» оперативного прогнозирования на первый взгляд предпочтительнее.

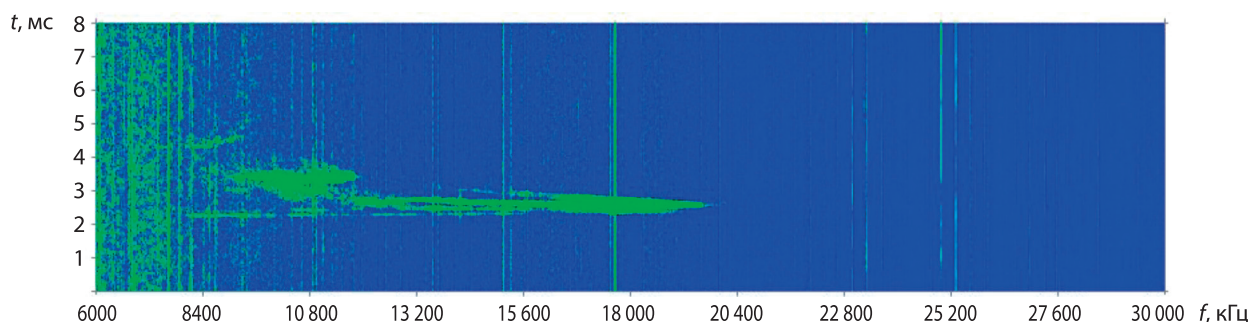


Рис. 1. Ионограмма НЗ 28 марта 2018 г в 12 ч. 35 мин.

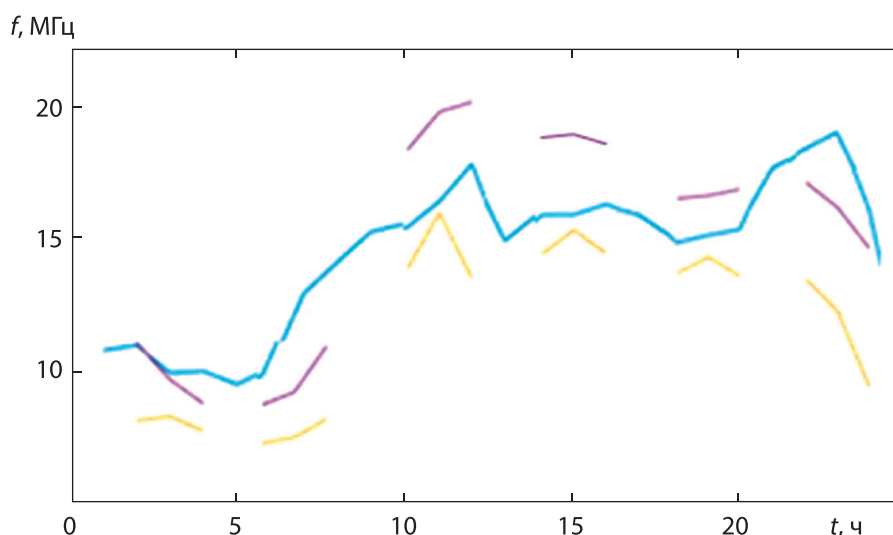


Рис. 2. Радиопуть Кипр — Санкт-Петербург 28 апреля 2018 г. Графики суточного хода скользящих медианных значений МПЧ (голубая ломаная) и оперативные прогнозы МПЧ на 1, 2 и 3 часа, полученные «Методом медиан» (желтые ломаные отрезки) и «Модельным методом» (фиолетовые ломаные отрезки)

Оперативный прогноз МПЧ и относительная погрешность методов

Время	Измеренные значения МПЧ, МГц	Оперативный прогноз МПЧ, МГц		Относительная погрешность, %	
		Метод медиан	Модельный метод	Метод медиан	Модельный метод
01:00	10,8	8,17	10,9	-24	1
02:00	9,75	8,22	9,5	-16	-3
03:00	9,81	7,59	8,6	-23	-12
05:00	9,94	7,45	8,8	-25	-11
06:00	12,75	7,66	9,3	-40	-27
07:00	13,93	8,29	11,1	-40	-20
09:00	15,37	14,11	17,8	-8	15
10:00	16,19	15,83	19	-2	17
11:00	17,35	13,76	19,3	-21	11
13:00	15,74	14,33	18	-9	14
14:00	15,74	15,13	18,1	-4	15
15:00	16,07	14,40	17,8	-10	11
17:00	14,88	13,88	16,3	-7	10
18:00	15,12	14,41	16,4	-5	8
19:00	15,30	13,80	16,6	-10	8
21:00	18,15	14,01	17,1	-23	-6
22:00	18,82	12,99	16,3	-31	-13
23:00	16,22	10,58	15	-35	-8

Вместе с тем «Метод медиан» значительно более трудоемкий, так как он основан на обработке МПЧ за 10 предыдущих суток, а для этого необходимо постоянное и непрерывное наблюдение за суточным ходом МПЧ (точнее требуется периодическое круглосуточное зондирование КВ-радиотрассы). При уменьшении количества суточных измерений точность прогноза значительно ухудшается.

Альтернативный метод — «Модельный метод», основанный на модели IRI, менее трудоемкий, он не требует накопления и обработки статистических данных об изменениях МПЧ за 10 суток. Достаточно сделать несколько коротких сеансов зондирования радиoliniии непосредственно перед началом оперативного прогнозирования.

Причиной отклонений прогнозов «Модельного метода» является расхождение модельных и текущих высотных профилей электронной концентрации ионосферы. Однако существует способ значительно повысить точность оперативного прогнозирования. По сведениям, изло-

женным в работе [6] можно добиться практически полного совпадения модельного и текущего высотных профилей электронной концентрации, путем корректировки модели по величине текущего значения потока солнечного радиационного излучения. Это тема дальнейших исследований.

Вывод

Оперативный прогноз по откорректированной модели IRI (т. н. «Модельный прогноз») дает несколько завышенный оперативный прогноз МПЧ. В дальнейшем, для повышения точности оперативного прогнозирования модельным методом будет введена дополнительная корректировка модели по величине солнечного радиационного излучения. Результаты работы будут представлены в следующих публикациях. Также можно утверждать, что статистическая модель IRI применима для прогнозирования дневных вариаций и вариаций с временным масштабом в несколько часов, а также для оперативного прогнозирования МПЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по организации ионосферно-волновой и частотно-диспетчерской службы на узлах связи Вооруженных Сил СССР. — М.: Воениздат, 1990. — С. 63–64.
2. **Крашенинников И. В.** Прогнозирование ионосферного распространения радиоволн на основе решения прямой обратной задач многочастотного наклонного радиозондирования ионосферы: дисс. ... докт. физ-мат наук. — Троицк: ИЗМИРАН, 2011.
3. **Bilitza D., Altadill D., Zhang Y., Mertens C., Truhlik V., Richards P., McKinnell L.-A., Reinisch B.** The International Reference Ionosphere 2012 — a model of international collaboration // J. Space Weather Space Clim. — 2014. — V. 4 — A07.
4. **Вертоградов Г. Г.** Аппаратно-программный комплекс для определения оптимальных рабочих частот связной радиолинии по данным наклонного зондирования ионосферы. 1. Метод и алгоритм обработки данных / Г. Г. Вертоградов, В. П. Урядов, Е. Г. Вертоградова // XIII международная научно-техническая конференция «Радиолокация. Навигация. Связь». — Воронеж: САКВОЕЕ, 2007. — С. 1203–1214.
5. **Барабашов Б. Г.** Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2–30 МГц «Трасса». Ч. 1 / Б. Г. Барабашов, М. М. Анишин // Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». — Омск: ОАО «НИИП». — 2013. Вып. № 1 (19). — С. 25–34; 2013. — Ч. 2. — Вып. № 2 (20). — С. 13–21.
6. **Крашенинников И. В.** Эффективность прогнозирования прохождения радиоволн в ионосфере на основе ионосферной модели IRI-2001 / И. В. Крашенинников, И. Б. Егоров, Н. М. Павлова // Геомагнетизм и аэрономия. — 2008. — Т. 48, № 4. — С. 526–533.