

**УТОЧНЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ О
МАКСИМАЛЬНО-НАБЛЮДАЕМЫХ ЧАСТОТАХ
ДВУХСКАЧКОВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН**

В.А. Голыгин, С.А. Кинсар, В.И. Сажин

**ADJUSTMENT OF IONOSPHERE LIMITING FREQUENCIES BY USING DATA ABOUT MAXIMUM
OBSERVED FREQUENCIES OF TWO-HOP MODE OF DECAMETER WAVES**

V.A. Golygin, S.A. Kinsar, V.I. Sazhin

Параметры, описывающие состояние ионосферы, испытывают большие вариации в конкретных условиях. Точный учет таких вариаций представляет собой сложную и трудоемкую задачу, не имеющую в настоящее время своего полного решения. Достаточно удовлетворительно описывается лишь среднемесячное состояние ионосферы, для чего разработан ряд соответствующих моделей. Вместе с тем, учесть точное состояние ионосферы в текущих условиях можно, если определенным образом уточнить, скорректировать среднемесячную модель на конкретную ситуацию по какой-то оперативной информации, получаемой в рассматриваемый момент времени. В работе [1] предложен метод такой частной коррекции модельных значений критических частот ионосферы по данным измерения максимально-применимых частот (МПЧ) односкачкового распространения на реперных радиоперелиниях, для которых известны местоположение и рабочие частоты передатчиков. К достоинствам этого метода относятся простота и доступность реализации, однако использование значений МПЧ лишь односкачкового распространения существенно сужает возможный круг выбора реперных радиостанций. В настоящей работе выполнено развитие данного метода уточнения критических частот, заключающееся в возможности использования для коррекции значений МПЧ и двухскачковых радиоперелиний.

Уточнение критических частот ионосферы проводится на основе приближенного решения обратной задачи распространения радиоволн, в нашем случае по оперативным данным о МПЧ двухскачковой радиотрассы корректируются критические частоты. Применяемый способ решения обратной задачи предполагает [2] вначале разработку, по возможности, более точного метода решения прямой задачи. Расчет МПЧ двухскачкового распространения (МПЧ-2) затруднен тем, что при таком распространении на величину МПЧ влияет не только состояние ионосферы вдоль трассы, но и форма рельефа земной поверхности в области отражения. Работы по учету влияния второго фактора ведутся (см. например [3]), вместе с тем точное знание рельефа земной поверхности в области отражения сигнала на реперной радиоперелинии вряд ли возможно. Подходящим в данном случае, тем более с учетом эффективного характера коррекции, может являться приближенный способ косвенного учета влияния этого фактора, предложенный в [4] и теоретически исследованный в [5]. Он заключается в введении при расчете условия равенства МПЧ отдельных скачков между собой и в целом МПЧ трассы. Это условие приводит к тому, что при расчете траекторий распространения

сигнала угол отражения лучей от плоской земной поверхности не равен углу падения на нее, а изменяется в определенных пределах. Таким образом, моделируется изменение наклона отражающей поверхности, возможное в реальных условиях. Как показано в работе, введение такого условия существенно снижает различие между расчетными и измеряемыми значениями МПЧ двухскачковых радиотрасс.

Для повышения точности расчетов прямой задачи программа использует при задании ионосферных условий хорошо апробированную на практике полуэмпирическую модель (ПЭМИ) [6], а для вычисления – траекторных параметров известный метод характеристик в реализации [7], являющийся строгим в рамках геометро-оптического приближения. В алгоритме расчета длины первого и второго скачков изменяются последовательно с определенным дискретом (рис. 1), пока не подбираются такие их дальности, при которых реализуется равенство МПЧ отдельных скачков. Для повышения оперативности процесса расчетов МПЧ применен подход [7], заключающийся в построении зависимости МПЧ от дальности скачка и интерполяции этой зависимости при определении МПЧ на выбранной дальности.

Проверка эффективности данной схемы расчета МПЧ-2, проведенная на материалах базы данных наклонного зондирования в системе трасс [8], показала, что схема обеспечивает приемлемую точность для усредненных за месячный интервал значений измеряемых МПЧ. Средняя величина расхождений между расчетом и экспериментом для нескольких сезонов двух среднеширотных радиотрасс составила ~12 % относительно измеряемых значений. Кроме того, существенно уменьшаются расхождения рассчитываемых значений с измеряемыми в конкретные моменты времени по сравнению с расчетом МПЧ-2, выполняемым обычным способом без введения условия равенства МПЧ отдельных скачков. Таким образом, можно полагать, что при решении прямой задачи обеспечена требуемая для проведения дальнейшей коррекции точность ее решения.



Рис. 1. К выбору длин скачков при расчетах МПЧ-2. h_m – высота максимума ионосферы, D – дальность радиоперелинии.

Результаты уточнения критических частот для системы трасс.

Дата	Время (LT)	f_0 , МГц, исх. мод.	Трасса Новосибирск–Иркутск			Трасса Москва–Иркутск			δf_0 , %
			МПЧ, МГц, набл.	f_0 , МГц	Δf_0 , МГц	МПЧ-2 МГц набл.	f_0 , МГц	Δf_0 , МГц	
30.08.2005	10.42	4.05	14.1	5.72	1.67				
	10.54					15	5.41	1.36	81.44
03.09.2005	11.06	4.19	14.1	5.3	1.11				
	11.15					15	5.1	0.91	81.98
10.09.2005	10.00	4.48	14.1	5.56	1.08				
	10.11					15	5.3	0.82	75.93

Далее в методике коррекции предполагается проведение численного моделирования по выявлению параметров, вариации которых определяющим образом влияют на значение МПЧ-2. В данном случае речь идет об учете влияния первого из вышеупомянутых факторов – состояния ионосферы на трассе. Естественно, что для расчетов в принятой схеме вариаций МПЧ отдельных скачков при двухскачковом распространении в зависимости от изменения параметров ПЭМИ, можно использовать положение [1] о наиболее существенном влиянии изменения критической частоты ионосферы в области отражения сигнала на скачке. Поэтому далее в методике коррекции выполняются изменения критических частот, даваемых ПЭМИ, в разумных физических пределах. Для каждого очередного варианта получаемых таким образом ионосферных условий вдоль трассы рассчитывается МПЧ-2 и ее значение сравнивается с измеряемым. В случае снижения отличий расчетных и измеряемых значений до величины, близкой к погрешностям измерений МПЧ, можно полагать, что значения критической частоты f_0 данного варианта соответствуют в определенной мере реальной ситуации, т.е. уточняют среднемесячное модельное значение для текущих условий. В методике коррекции изменения критических частот осуществляются вначале в средних точках отдельных скачков, геометрия которых фиксируется из решения прямой задачи. Затем полученные отклонения значений от f_0 в данных точках распространяются линейным образом вдоль трассы с учетом радиусов пространственной корреляции отклонений f_0 , как и в [1].

Для повышения точности коррекции критических частот на скачке, прилегающем к пункту приема, расчет новых значений МПЧ для измененной ионосферы производится при обратной ориентации направления распространения – к пункту передачи. При этом используется положение о взаимности радиолиний. В целях повышения оперативности коррекции для нескольких значений f_0 в средней точке строится зависимость МПЧ от f_0 и далее производится интерполяция этой зависимости для значения МПЧ-2, измеренного в данный момент времени. Проведение коррекции контролируется величиной изменения положения точки отражения на данном скачке для уточненной ионосферы. Если же необходимо обеспечить более высокую точность

коррекции в области трассы, прилегающей к пункту передачи, то по подобной методике она может быть выполнена на первом скачке.

При оценке эффективности разработанной методики для пункта приема в Иркутск подобрана система из двух реперных радиолиний с близкими значениями азимутов, на одной из которых выполняется односкачковое распространение (пункт передачи Новосибирск), а на другой многоскачковое (пункт передачи Москва). Для периодов времени, когда по расчетам на трассе Москва–Иркутск выполнялось распространение двумя скачками, проведены практически одновременные измерения значений МПЧ на данных трассах. Так как азимуты данных трасс почти совпадают, примерная геометрия скачков на них (рис. 2) такова, что точка отражения сигнала на трассе Новосибирск–Иркутск на МПЧ односкачкового распространения близко расположена к точке отражения сигнала на втором скачке трассы Москва–Иркутск для рабочей частоты, равной МПЧ-2. Поэтому значения критических частот, определяемые в средней точке трассы Новосибирск–Иркутск по методике [1] могут использоваться как более точные, соответствующие реальным значениям при оценке эффективности определения значений f_0 в области отражения второго скачка по значениям МПЧ двухскачкового распространения.

В таблице представлены для примера полученные результаты уточнения критических частот в отдельные моменты наблюдения. В колонках, обозначенных « Δ », приведены величины уточнений исходных модельных значений f_0 в рассматриваемой области по данным наблюдений на обеих трассах. В колонке со значком « δ » показано в процентах уточнение значений f_0 по сравнению с модельными, полученное на двухскачковой трассе, относительно уточнения, полученного на

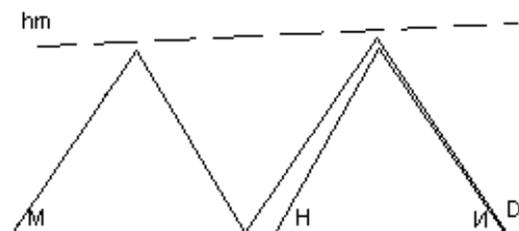


Рис. 2. Примерная геометрия скачков на системе реперных радиолиний (М – пункт Москва, Н – пункт Новосибирск, И – пункт Иркутск).

односкачковой трассе. Проведение подобных измерений и обработка их результатов за период в несколько месяцев лета 2005 г. показали, что средняя величина δ составляет примерно 80 %. Это значение требует уточнения для других сезонов. Вместе с тем оно, на наш взгляд, свидетельствует о достаточно высокой эффективности разработанной методики коррекции критических частот ионосферы по данным наблюдения за сигналами двухскачковых реперных радиолиний и указывает на целесообразность ее практического использования. Сочетание методики с ранее разработанной для односкачковых радиолиний существенно расширяет возможности рассматриваемого способа коррекции модели ионосферы по наблюдениям за сигналами реперных радиостанций, и способ с таким сочетанием может быть использован для оперативного регионального контроля ионосферной обстановки.

Работа выполнена в рамках гранта № НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голыгин В.А., Грозов В.П., Сажин В.И., Унучков В.Е. Региональный контроль ионосферной обстановки без организации специализированных измерений // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», Иркутск, ИСЗФ СО РАН. 2004. С. 140–142.
2. Сажин В.И. Гибридное моделирование распространения декаметровых радиоволн. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Иркутск, ИГУ, 2001. 30 с.
3. Сударчиков А.В., Афанасьев Н.Т. О возможностях диагностики загоризонтных возмущений электронной плотности ионосферы по характеристикам сигнала ВНЗ // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды VII конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», Иркутск, ИСЗФ СО РАН. 2004. С. 137–139.
4. Агарышев А.И. Метод расчета МПЧ многоскачковых трасс // Радмиотехника. 1985. № 4. С. 67–70.
5. Tinin M.V., Afanasyev N.T., Mikheev S.M. et al. On some problems of the theory of radiowave propagation in a randomly inhomogeneous ionosphere // Radio Sci. 1992. V. 27, N 2. P. 245–248.
6. 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.
7. Сажин В.И. Моделирование на ЭВМ распространения радиоволн в регулярной ионосфере. Иркутск: Изд-во ИГУ. 1993.
8. Карякин В.И., Литвинцев О.Г., Сажин В.И. База данных радиозондирования ионосферы: реализация и некоторые применения // Радиофизика и электроника – проблемы науки и обучения. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1995. С. 178–182.

Иркутский государственный университет, Иркутск