

УДК 621.371

АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НАЗЕМНОГО ИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА К ТЕКУЩИМ УСЛОВИЯМ

В.А. Голыгин, Е.М. Вдовин, В.И. Сажин, В.Е. Унучков, С.В. Унучков

ADAPTATION OF PARAMETERS OF THE SURFACE IONOSPHERE RADIO CHANNEL MODEL TO CURRENT CONDITIONS

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

В работе рассматривается модель радиоканала, объединяющая блоки моделирования направленных свойств антенных систем, задания ионосферных условий и характеристик сигнала на линиях наземного ионосферного распространения дециметровых радиоволн. Особенностью модели является возможность адаптации параметров к текущим условиям на трассе. Вначале выполняется по оперативно получаемой информации коррекция параметров среднемесячной модели ионосферы на текущие условия. Затем, после расчета параметров сигнала на радиолинии, проводится адаптация направленных свойств антенных устройств по получаемым значениям угловых характеристик. Адаптация может выполняться ориентацией главного лепестка диаграммы направленности антенны по направлению прихода мода сигнала с преобладающей энергетикой либо формированием приема нулевого излучения с направления прихода какого-то «мешающего» мода. В блоке задания среды распространения используется глобальная среднемесячная полуэмпирическая модель ионосферы, для расчета параметров сигнала реализован метод характеристик в рамках приближения геометрической оптики. С использованием данных измерений выполняется оценка величин погрешностей рассматриваемой модели в определении углов прихода и времени распространения на среднеширотных трассах. Показано, что они существенно ниже, чем получаемые для используемой в некоторых системах связи и местоопределения модели ISEPAC. Для коррекции параметров модели ионосферы на текущую ситуацию разрабатываются методики получения оперативной информации по наблюдениям за сигналами реперных станций и на основе использования значений полного электронного содержания ионосферы. Моделирование направленных свойств антенн проводится в рамках известной программы MMANA.

The present research examines the radio channel model which unites modeling blocks of antenna systems' directional properties, assignments of ionospheric conditions and signal characteristics on lines of surface ionospheric propagation of decametric radio waves. A feature of this model is the ability to adapt parameters to the track's current conditions. At first on-line information is used to correct ionospheric average monthly model parameters to current conditions. Then, after calculating radio link signal parameters, scanner assembly directional properties are adapted using obtained values of torque-angle curves. The adaptation can be realized by orienting the antenna's main directional lobe in the direction of dominant energy signal mode input or by forming reception of zero radiation from the direction of incoming "interfering" mode. The global average monthly semiempirical ionospheric model is used in the propagation medium assignment block; the method of characteristics within the framework of geometrical optics approximation is applied to calculate signal parameters. The measurement data are used to estimate the model's magnitudes of errors in determining angles of arrival and propagation time along mid-latitude paths. It is shown that the values are essentially lower than those received for the ISEPAC model applied for some communication and position finding systems. To correct ionospheric model parameters according to current situation, procedures for accessing on-line information by recording signals from reference stations and using values of ionospheric total electronic content are developed. Modeling of antenna directional properties is conducted as part of the well-known MMANA program.

Понятие «ионосферный радиоканал» в нашем рассмотрении означает радиофизическую модель канала распространения электромагнитных волн, включающую задание свойств антенн, обеспечивающих эффективное излучение и прием электромагнитных волн, модель, описывающую вариации основных параметров ионосферы и алгоритмы расчета характеристик распространения радиоволн в данной среде. Первые две части модели радиоканала дают набор входных параметров, третья часть содержит набор выходных параметров. Адаптация модели радиоканала заключается в том, чтобы посредством коррекции значений входных параметров добиться лучшего совпадения значений выходных параметров с измеряемыми в конкретный момент времени на определенной радиолинии.

В части модели радиоканала, выполняющей расчет электродинамических параметров антенных систем для автоматизации вычислений, использована программа MMANA. Были разработаны методики ее применения для определения направленных свойств известных типов антенн, используемых в рассматриваемом радиоканале. За основу были взяты фазированные

антенные решетки, позволяющие формировать узкий главный лепесток и выполнять электронное сканирование им в пространстве. Для примера на рис. 1 показана диаграмма направленности решетки из двух рядов, по пять вибраторов в каждом.

Видно, что полуширина главного лепестка на половинной мощности составляет около пяти градусов. При увеличении числа элементов решетки главный лепесток еще более сужается.

При разработке части модели, отвечающей за описание вариаций параметров ионосферы, учиты-

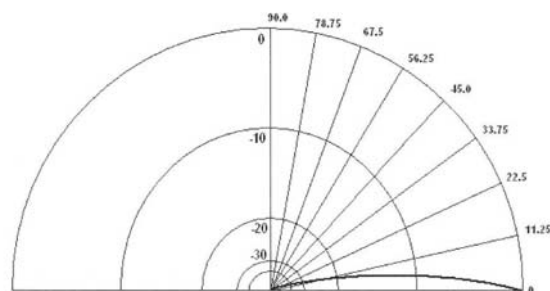


Рис. 1. Диаграмма направленности антенной решетки в угломерной плоскости.

вались следующие соображения. В настоящее время можно считать достаточным достигнутый уровень описания средних за временной период порядка месяца вариаций регулярной ионосферы в спокойных геомагнитных условиях. Разработан ряд соответствующих среднемесячных моделей, дающих адекватную действительности картину изменений формы регулярного высотного профиля электронной концентрации и некоторых других характеристик ионосферы. Отличие состояния ионосферы в конкретный момент от среднемесячного может быть связано, во-первых, с отличием формы профиля электронной концентрации в этот момент от среднемесячной картины, во-вторых, с появлением в данной области ионосферы детерминированных возмущений, искажающих форму профиля, и в-третьих, с развитием на фоне регулярной ионосферы случайных неоднородностей более мелких масштабов, составляющих тонкую структуру ионосферы. Влияние всех этих факторов на выходные характеристики радиоканала весьма существенно в ряде задач, и поэтому ведутся интенсивные исследования в этих направлениях. В своей работе мы сосредоточились на первом направлении – учете отличий регулярной формы профиля в конкретных условиях от средней за месяц. При этом исходили из того, что второй и третий факторы отличий больше проявляются в условиях магнитной возмущенности, а первый присущ спокойным условиям.

Естественно, что наиболее важными для распространения электромагнитных волн являются отличия формы профиля в области максимума ионосферы. Их можно характеризовать через отличия основных параметров: критической частоты, высоты максимума и эффективной полутолщины слоя F2. Таким образом, при уточнении формы профиля электронной концентрации в текущих условиях целесообразнее всего корректировать значения параметров максимума ионосферы.

При выборе модели ионосферы рассматривались модели IRI и ПЭМИ. В работе [1] было получено, что с точки зрения точности описания среднемесячных значений критической частоты в среднеширотном российском регионе они примерно равнозначны. Однако адаптация формы профиля к текущим условиям может быть выполнена более удобно в ПЭМИ, поскольку в ней естественным образом заложена коррекция решения теоретической части модели в опорных точках профиля по вводимым экспериментальным данным. Кроме того, ранее было показано [2], что ПЭМИ по сравнению с IRI дает несколько лучшее описание вертикальных градиентов N_e в нижней части области F2, что приводит к более точным результатам вычисления такой характеристики, как угол прихода в вертикальной плоскости сигнала, отражающейся от ионосферы при наклонном падении на нее.

В третьей основной части модели радиоканала для расчета параметров сигнала использован метод характеристик, дающий строгое численное решение в рамках исходного приближения геометрической оптики. Сопряжение с моделью ионосферы выполнено на основе кубической сплайн-интерполяции.

Рассмотрим адаптацию параметров наземных ионосферных каналов к задачам связи и местоопределения. При решении этих задач стремятся использовать антенные устройства с хорошими направленными свойствами, обычно в виде антенных решеток. При этом распространение радиоволн в таком канале характеризуется наличием нескольких мод с существенной разницей в их энергетике. Поэтому для эффективной работы систем важно по возможности более точно нацеливание главного лепестка диаграммы направленности по направлению прихода мода с наиболее сильной энергетикой. Кроме того, в задачах местоопределения, в частности ионосферной загоризонтной радиолокации, зачастую важнее полное подавление сигнала с направления второго мода. Эти обе задачи в текущих условиях могут быть решены с помощью электронного управления фазовыми соотношениями между токами, питающими отдельные элементы антенных решеток. На рис. 2 для примера показано сканирование главным лепестком решетки в вертикальной плоскости до 30° .

Таким образом, на первый этап использования модели радиоканала отводится задача правильного определения модовой структуры сигнала и углов прихода отдельных мод в текущих условиях.

Для данных измерений углов прихода на трассе Новосибирск–Иркутск проведено сравнение результатов расчета по предлагаемой модели и модели ICERAC, рекомендуемой Международным консультативным комитетом по радиовещанию (МККР). В табл. 1 показаны данные для углов, дальности и времени распространения.

Таблица 1

Результаты сравнения измерений с расчетами для двух моделей канала.

Время, UT	Данные Измерений $\beta_u, ^\circ$	Расчет ICERAC			Расчет ПЭМИ+ +Метеорологические характеристики		
		$\beta_1, ^\circ$	$\Delta t_1, \text{мс}$	$\Delta D_1, \text{км}$	$\beta_2, ^\circ$	$\Delta t_2, \text{мс}$	$\Delta D_2, \text{км}$
02:00	12.1	17.6	1.3	426	12.1	0	0
03:00	10.5	16.0	1.5	470	10.6	0.1	18
04:00	13.4	16.3	0.7	217	12.4	-0.3	-107
05:00	12.7	16.3	0.9	262	11.2	-0.5	-169
06:00	12.4	16.3	0.9	271	10.7	-0.6	-195

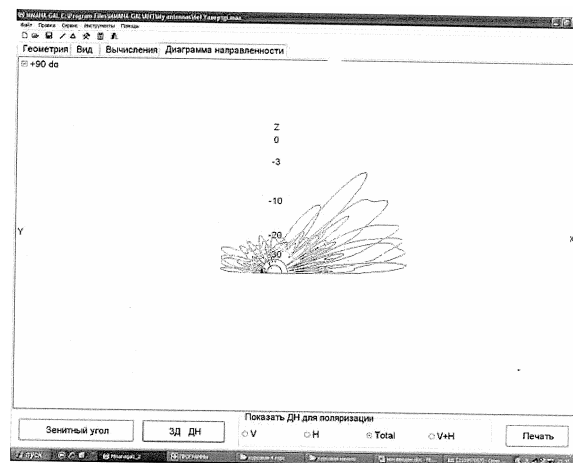


Рис. 2. Диаграмма направленности адаптивной антенной решетки при электронном сканировании в вертикальной плоскости.

Таблица 2

Оценка эффективности уточнения для трассы Новосибирск–Иркутск.

Дата	Время, (UT)	f_0F2 ВЗ (вертикальное зондирование), Иркутск	h_m , Иркутск ВЗ	h_m , Иркутск исх. мод.	h_m , Иркутск коррВЗ.& h_m	$\Delta 1$ Дисх. h_m	$\Delta 2$ Лкорр. h_m	$ \Delta 2/\Delta 1 $, %
10.11.2006	2:45	3.88	210	233	195	-23	15	65.2
08.01.2007	4:00	4.7	239	211	230	28	9	32.1
12.01.2007	3:45	5.12	246	216	250	30	-4	13.3
19.01.2007	5:00	4.56	237	216	230	21	7	33.3
26.01.2007	5:00	5	256	216	270	40	-14	35.0
02.02.2007	4:30	4	248	211	220	37	28	75.7
09.02.2007	4:00	4.1	201	210	198	-9	3	33.3
16.02.2007	3:45	4.23	215	212	213	3	2	66.7
23.02.2007	3:00	4.13	187	219	205	-32	-18	56.3
02.03.2007	3:00	4	191	221	192	-30	-1	3.3
МПЧ-1 (Новосибирск–Иркутск)=14100 кГц						$ \Delta 2/\Delta 1 _{cp}$, %=41,4		

Видно, что средние ошибки в утренний период наблюдений для предлагаемой модели более чем в три раза меньше, чем для ICERAC, которая учитывает продольные градиенты в грубом приближении.

Численное моделирование вариаций углов прихода при изменениях величин f_0F2 и h_mF2 в средней точке трассы в пределах допустимых от среднемесячной модели показало, что возможные изменения могут достигать для трасс средней протяженности (около 2000 км) до 10° в условиях сильных продольных градиентов. Если обратиться к рис. 1 с диаграммой направленности антенной решетки, то можно видеть, что ошибка в угле нацеливания лепестка в 5° повлечет за собой падение по мощности сигнала на 10 дБ.

Коррекция параметров модели ионосферы на текущие условия проводится по оперативной информации, получаемой из других измерений. Так, станции загоризонтной радиолокации часто имеют в месте расположения установки вертикального зондирования или наклонного на опорных трассах. Из ВЗ можно определять значения f_0F2 и h_mF2 . Опорные трассы обычно используются для получения вспомогательной информации. Ранее разработана методика [3], которая позволяет в спокойных условиях уточнять значения f_0F2 и h_mF2 по измерениям параметров углового спектра мощности принимаемого сигнала. Кроме того, нами разработана методика, позволяющая определять информацию о значениях f_0F2 по наблюдениям за сигналами произвольных, в том числе и вещательных, радиостанций с известными положением и частотой [4]. Выполненное затем развитие методики и на двухскачковые трассы существенно расширило возможности выбора таких реперных радиолоний [5]. В настоящее время методика дополнена уточнением значений h_mF2 в средней точке трассы при известных значениях f_0F2 . В табл. 2 приведена оценка эффективности такого уточнения для трассы Новосибирск–Иркутск.

Значения f_0F2 брались в пункте Иркутск и «переносились» с помощью ПЭМИ в среднюю точку трассы. Для контроля использованы значения h_mF2 , определяемые с ионограмм вертикального зондирования. Известно, что они определяются со значительно меньшей точностью, чем f_0F2 , тем не менее, могут быть использованы для оценки эффективности методики.

Как видно из табл. 2, в ряде случаев получено довольно существенное снижение различий по значениям h_mF2 , даваемым исходной моделью и после коррекции. Среднее снижение различий составляет около 40 %. Таким образом, эта методика может рассматриваться как вспомогательная для уточнения текущих значений h_mF2 и более точного вычисления значений углов прихода на этой основе.

В целом, использование изложенных способов адаптации модели радиоканала при наземной связи может рассматриваться как дополнительная возможность по отношению к существующим системам наклонного зондирования ионосферы ЛЧМ-сигналами [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вдовин Е.М., Гольгин В.А., Ивельская М.К. и др. Коррекция параметров модели трансionoсферного радиоканала // Настоящий сборник
2. Агарышев А.И., Дубовская Г.В., Ивельская М.К. и др. Оценка применимости некоторых моделей ионосферы для расчета углов прихода декаметровых радиоволн // Техника средств связи. Серия «Системы связи», М.: Изд-во «Экос». 1982. Вып. 4. С. 3–10.
3. Сажин В.И., Унучков В.Е. Методика коррекции параметров ионосферной модели по характеристикам углового спектра декаметрового сигнала // Радиофизика и электроника – проблемы науки и обучения. Иркутск.: Изд-во ИГУ. 1995. С. 167–172.
4. Гольгин В.А., Вдовин Е.М., Сажин В.И., Унучков В.Е. Адаптация среднемесячной модели ионосферы к текущим условиям по данным о максимально-применимых частотах двухскачковых реперных радиолоний // Геомагнетизм и аэрoномия. 2008. Т. 49, № 3. С. 387–392.
5. Гольгин В.А., Сажин В.И., Унучков В.Е. Адаптация к текущим условиям параметров ионосферного радиоканала по наблюдениям за сигналами реперных радиостанций // Геомагнетизм и аэрoномия. 2007. № 47. С. 71–75.
6. Жеребцов Г.А., Куркин В.И., Медведев А.В. и др. Развитие комплексных исследований верхней атмосферы // Труды XXII Всероссийской научной конференции. «Распространение радиоволн». (РРВ-22). Ростов-на-Дону – п.Лoo. 22–26 сентября 2008. Т. 1. С. 27–31.

Иркутский государственный университет, Иркутск