

УДК 550.2, 551.510.535

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НА ТРАССЕ МОСКВА–КАЗАНЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ IRI

Э.М. Гатауллин

MODELING THE PROPAGATION OF RADIO WAVES ON THE RADIO PATH MOSCOW–KAZAN USING IRI MODEL

E.M. Gataullin

Работа посвящена моделированию распространения радиоволн коротковолнового диапазона на трассе Москва–Казань и сравнению расчетных данных с экспериментальными. С использованием модели IRI создано приложение, которое позволило произвести расчет дальностно-угловой характеристики распространения радиоволн. С помощью этого приложения были построены зависимости минимальной дальности приема от частоты радиоволн для различных сезонов и времени суток. Для радиотрассы Москва–Казань построены зависимости угла возвышения, а также высот отражения от рабочей частоты радиоволн. Исследовались сезонные и суточные изменения поглощения радиоволн. Определены зависимости поглощения от частоты радиосигнала. Произведено сравнение расчетных значений поглощения радиоволн с экспериментальными данными для радиотрассы Москва–Казань. Показано, что использованный метод моделирования радиотрассы дает совпадающие с экспериментальными значения поглощения радиоволн в ионосфере.

The work deals with modeling short wave radio propagation on the Moscow–Kazan radio paths and comparison of calculated data with experimental ones. Using the IRI model we created an application that allows to calculate distance-angular characteristics of propagation of radio waves. With this application were plotted dependencies between minimum range of reception on the frequency of radio waves, for different seasons and times of day. For the Moscow–Kazan radio paths we plotted dependencies between the elevation angle and height of reflection on the operating frequency of radio waves. The seasonal and daily absorption variations of radio waves have been investigated. The dependence of the absorption on frequency of the radio signal have identified. The calculated values of the absorption of radio waves have compared with the experimental data for Moscow–Kazan radio paths. It is shown that the used method of modeling radio paths, gives agreement with the experimental values of the absorption of radio waves in the ionosphere.

Изучение особенностей распространения коротковолновых радиоволн необходимо для эффективной работы радиотрассы связи, различных средств навигации, локализации и пеленгации. Характерной особенностью радиоволн этого диапазона является способность отражаться от ионосферы и таким образом преодолевать значительные расстояния (6–9 тыс. км) при сравнительно малых потерях [Долуханов, 1972]. При этом качество приема зависит от различных процессов в ионосфере, связанных с уровнем солнечной активности, временем года, временем суток и т. д. Кроме того, на коротких волнах наблюдаются изменения уровня принимаемого сигнала, проявляющиеся как кратковременное снижение амплитуды несущей частоты или вовсе пропадание последней [Девис, 1973]. В связи с этим для осуществления коротковолновой радиосвязи важно знать основные характеристики ионосферы и иметь возможность их прогнозировать. Достаточно хороший прогноз состояния ионосферы способны дать современные эмпирические модели ионосферы, например модель IRI. Зная состояние ионосферы, можно приступить к поиску оптимальных рабочих частот для каждого конкретного сеанса связи.

Целью работы было построение компьютерной модели, описывающей процессы, происходящие при прохождении электромагнитных волн через ионосферу. Модель ионосферы задавалась профилем электронной концентрации, получаемым с использованием модели IRI-2007 [http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri_vitmo.php]. В созданной модели распространения радиоволн предусмотрено изменение профиля электронной концентрации в пространстве.

Созданная модель позволяет следующее.

1. Производить расчет дальностно-угловых характеристик распространения радиоволн с различными частотами. С помощью дальностно-угловых

характеристик могут быть найдены углы возвышения передающих антенн для конкретных радиотрасс. Также с помощью дальностно-угловых характеристик можно судить о частотном «экранировании» нижними слоями ионосферы отражений радиоволн от верхних слоев, при котором сигнал отражается на меньшей высоте и не доходит до приемной антенны.

2. Строить частотные и суточные зависимости минимальной дальности приема радиоволн.

3. Строить частотные и суточные зависимости угла возвышения передающих антенн. По этим зависимостям можно судить о многоручеваемости сигнала в месте приема, а также подобрать оптимальный угол возвышения передающих антенн.

4. Строить частотные и суточные зависимости высот отражения радиоволн, которые позволяют определить, от какого именно слоя ионосферы произошло отражение радиоволн.

5. Строить частотные и суточные зависимости времени группового запаздывания.

6. Строить частотные и суточные зависимости поглощения радиоволн в ионосфере, позволяющие судить об амплитуде сигнала в точке приема.

Результаты моделирования

Результаты моделирования радиотрассы Казань–Москва представлены на рис. 1, 2.

По графикам можно сделать вывод, что вечером радиоволны отражаются только от слоя F_2 , тогда как днем возможно отражение как от слоев F_2 и F_1 , так и от слоя E. Кроме того, заметно, что при росте частоты растет высота отражения. При некоторых частотах возможен приход радиоволн, отраженных от разных высот, в точку наблюдения, что объясняется, с одной стороны, возможностью отражения от разных

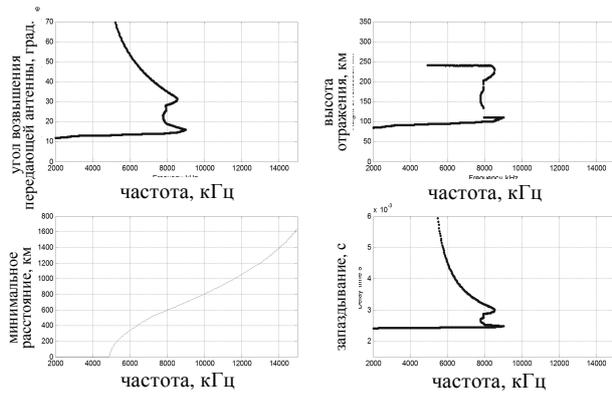


Рис. 1. Частотные зависимости угла возвышения, высоты отражения, времени группового запаздывания и минимальной дальности приема (радиотрасса Москва–Казань, 01.09.2009, 12:00).

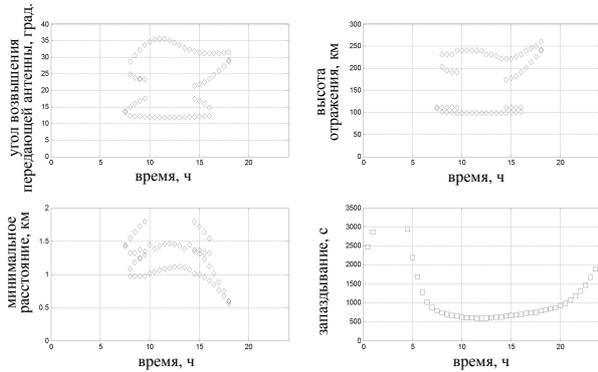


Рис. 2. Зависимости угла возвышения, высоты отражения, поглощения и минимальной дальности приема от времени суток (радиотрасса Москва–Казань, 01.09.2009 г., 12:00).

ионосферных слоев, а с другой – волноводным распространением радиоволн в ионосфере.

С ростом частоты волны растет также и минимальная дистанция радиосвязи на коротких волнах с использованием отражения от ионосферы. Связь с использованием отражения от ионосферы на частоте свыше 13–15 МГц (в зависимости от сезона, времени суток и солнечной активности) невозможна ни на каком расстоянии, так как радиоволны проходят сквозь ионосферу и уходят в космос [Черный, 1972].

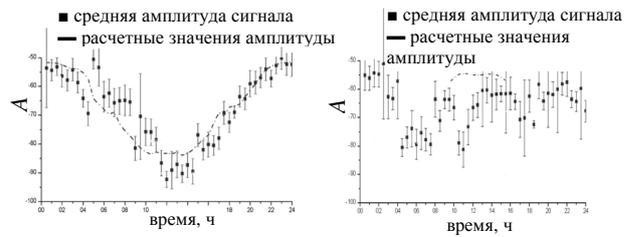


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные зависимости амплитуды сигнала на входе приемника для радиоволн с частотами 5 и 10 МГц от времени суток.

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными

Экспериментальные значения поглощения были получены для частот 5 и 10 МГц путем наклонного зондирования ионосферы на трассе Москва–Казань в июле 1993, 1994 г.

Сравнение модельных и экспериментальных значений (рис. 3) поглощения радиоволн в ионосфере показало, что использованный метод моделирования радиотрассы дает хорошее совпадение с экспериментальными значениями поглощения радиоволн в ионосфере для частоты 5 МГц. Для частот более 10 МГц использованный метод подходит не всегда, так как отражения радиоволн в ионосфере присутствуют не всегда и, соответственно, расчетные значения занижены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Девис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973. 501 с.
 Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1972, 336 с.
 Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. Изд. 2-е, доп. и переработ. М.: Сов. радио, 1972. 464 с.
http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri_vitmo.php.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань