

Определение оптимального азимутального направления антенны для наземного зондирования ионосферы сигналами с расширенным спектром

В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. В. Рябова, В. В. Павлов

*Поволжский государственный технологический университет
г. Йошкар-Ола, E-mail: IvanovVA@volgatech.net, RyabovaNV@volgatech.net,
PavlovVV@volgatech.net*

Описана программа, определяющая оптимальные азимутальные направления антенн, при ЛЧМ зондировании ионосферы на радиолиниях односкачкового распространения в диапазоне частот от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц в случае размещения антенны над поверхностью земли на высотах от 16 м до 40 м с шагом 1 м, зарегистрированная в Роспатенте. На базе нее создана программа, определяющая оптимальную высоту размещения антенны над поверхностью земли для горизонтальной и вертикальной поляризации. В работе приведены результаты анализа для широкополосного горизонтального диполя АН-710 на радиолинии длиной 800 км.

Describes a program that determines the optimal azimuthal direction antennas, the chirp sensing the ionosphere at high one jumping in the frequency range from 3 MHz to 30 MHz in steps of 1 MHz the antenna over the surface of the Earth at altitudes from 16 m to 40 m in increments of 1 m registered in Rospatent. On the basis of the created program that determines the optimal placement of antenna height above ground level for horizontal and vertical polarizations. The results of analysis for broadband dipole AN-710 of the horizontal on the radio link length of 800 km.

Целью работы является определение оптимального азимутального направления антенны АН-710 при ЛЧМ зондировании ионосферы на радиолиниях длиной 800 км в диапазоне частот от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц в случае размещения антенны над поверхностью земли на высотах от 16 м до 40 м с шагом 1 м.

Объектом исследования является широкополосный горизонтальный диполь АН-710, представляющий собой петлевой вибратор размерами 21 × 0,4 м (рис. 1, а). Объемная диаграмма направленности антенны АН-710 на частоте 25 МГц при размещении на высоте 20 м от поверхности земли с параметрами $\sigma = 5$ мСим/м, $\varepsilon = 13$, построенная в программе MMANA-GAL Pro, приведена на рис. 1, б.

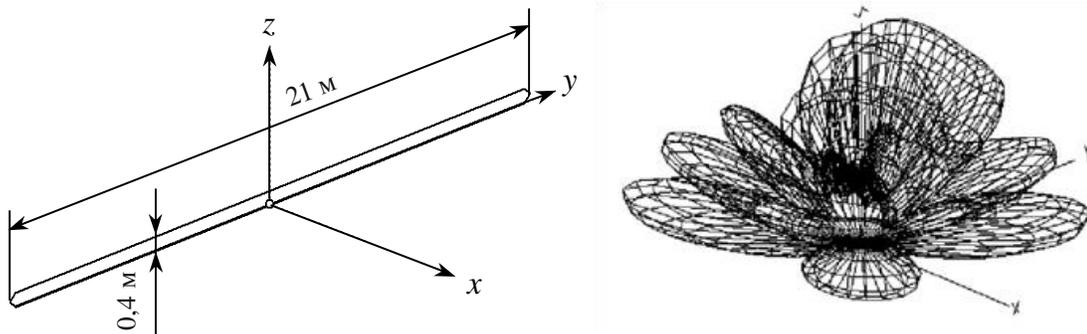


Рис. 1. Антенна АН-710: а) – конструкция антенны; б) - трехмерная диаграмма направленности антенны на частоте 25 МГц при размещении на высоте 20 м от поверхности земли

При определенной оптимальной высоте размещения антенны над поверхностью земли при работе по заданному направлению возникает частная задача определения

оптимальной ориентации антенны в азимутальном направлении для наземного зондирования ионосферы сигналами с расширенным спектром. В этом случае с целью минимизации спада коэффициента усиления (КУ) антенны необходим анализ значений КУ антенны при заданных углах прихода по различным азимутальным направлениям во всем декаметровом диапазоне частот.

Для решения этой задачи разработана программа анализа «The optimum orientation of an antenna. Ver. 1.0» [1], реализованная в среде MathCad, которая:

1) рассчитывает наиболее вероятностные углы прихода сигнала в декаметровом диапазоне волн при односкачковом распространении по заданной дальности по поверхности земли;

2) в найденном секторе углов прихода определяется оптимальное азимутальное направление с точки зрения обеспечения максимально возможного КУ антенны в диапазоне частот от 3 МГц до 30 МГц по рассчитанным ранее объемным диаграммам направленности антенны в верхней полусфере с шагом 1 градус с учетом параметров реальной земли.

3) для детализации определяются минимальные, средние и максимальные значения КУ в найденном секторе углов прихода по всем частотам от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц и выводятся в графическом виде.

Программа «The optimum orientation of an antenna. Ver. 1.0» зарегистрирована в отделе регистрации программ для ЭВМ, баз данных и топологий ИМС Федерального института промышленной собственности Роспатента [1].

Результаты определения оптимального азимутального направления антенны для работы в режиме ЛЧМ зондирования ионосферы при дальности по поверхности земли 800 км программой «The optimum orientation of an antenna. Ver. 1.0» приведены на рис. 2, 3 для горизонтальной поляризации.

В силу симметричности объемных диаграмм направленности антенны АН-710 по рис. 3 видно, что оптимальными с точки зрения минимизации провала КУ антенны для углов прихода от 18 до 43 градусов являются азимутальные направления 61° , 119° , 241° и 299° для горизонтальной поляризации.

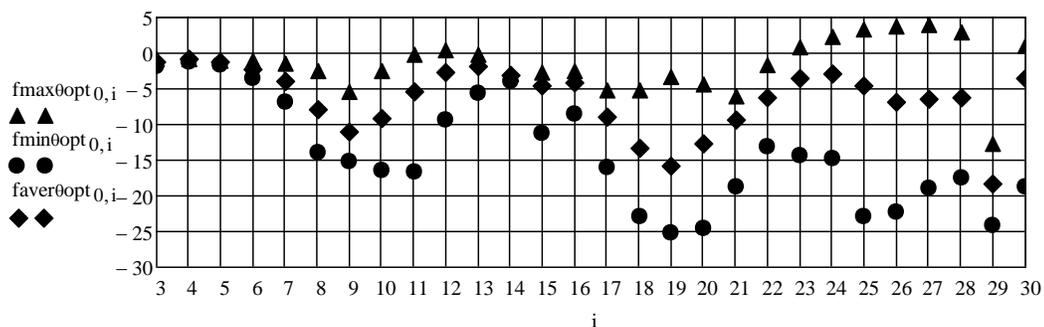


Рис. 2. Зависимости максимального $f_{max\theta_{opt},i}$, среднего $f_{aver\theta_{opt},i}$ и минимального $f_{min\theta_{opt},i}$ КУ антенны в дБи от частоты i в МГц по азимутальному направлению 61° для горизонтальной поляризации

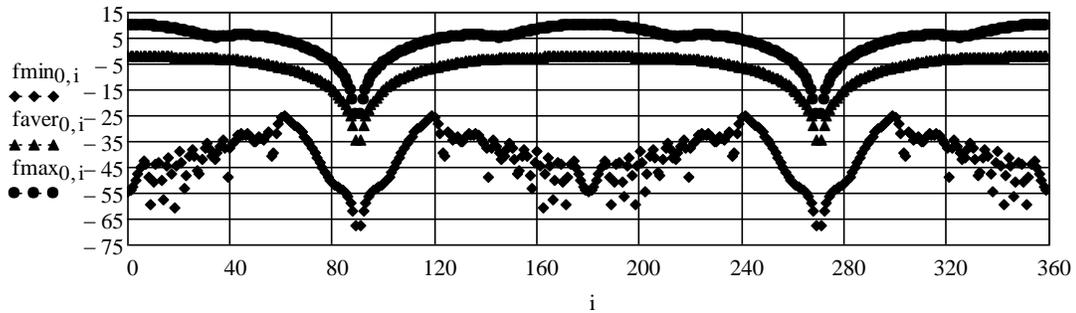


Рис. 3. Зависимости максимального $f_{\max_{0,i}}$, среднего $f_{\text{aver}_{0,i}}$ и минимального $f_{\min_{0,i}}$ КУ антенны в дБи от азимутального направления i в градусах по всем частотам от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц в секторе углов прихода от 18 до 43 градусов для горизонтальной поляризации

Логично предположить, что существует оптимальная высота размещения антенны над землей, на которой обеспечивается минимальное уменьшения КУ в заданном секторе углов прихода при некотором азимутальном направлении. Для решения этой задачи создана новая программа на основе зарегистрированной программы «The optimum orientation of an antenna. Ver. 1.0» [1]. Результаты расчетов при углах прихода от 18 до 43 градусов (800 км) для антенны АН-710 для горизонтальной поляризации приведены ниже.

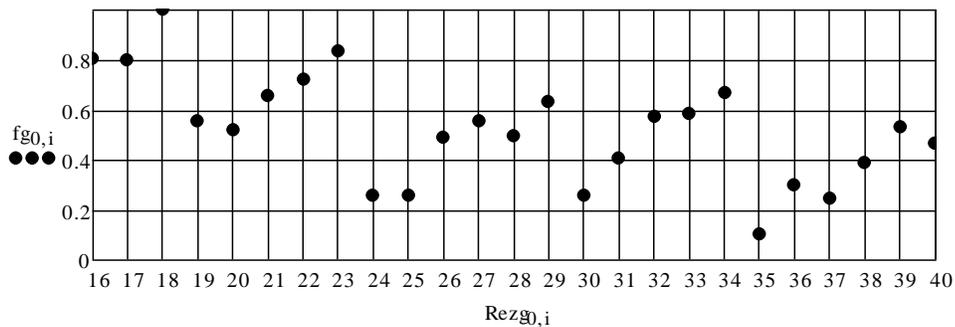


Рис. 4. Зависимости значений целевой функции $f_{g_{0,i}}$ от высоты размещения над поверхностью земли $Re_{zg_{0,i}}$ в метрах для горизонтальной поляризации

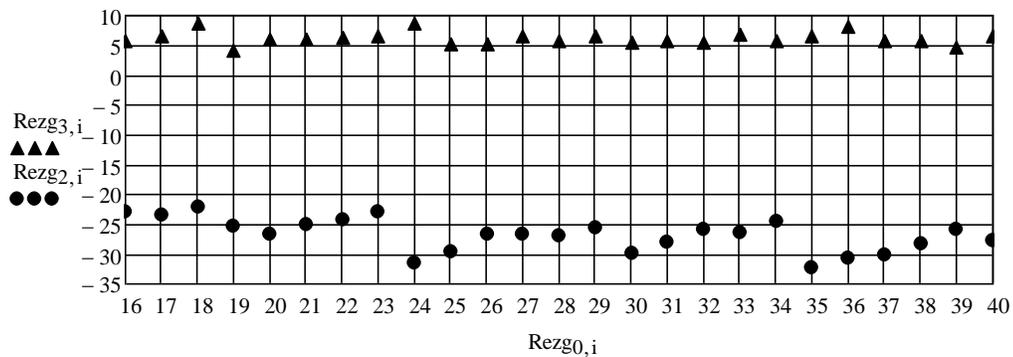


Рис. 5. Зависимости максимального $Re_{zg_{3,i}}$ и минимального $Re_{zg_{2,i}}$ КУ антенны в дБи от высоты размещения над поверхностью земли $Re_{zg_{0,i}}$ в метрах по оптимальным азимутальным направлениям для горизонтальной поляризации по всем частотам от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц

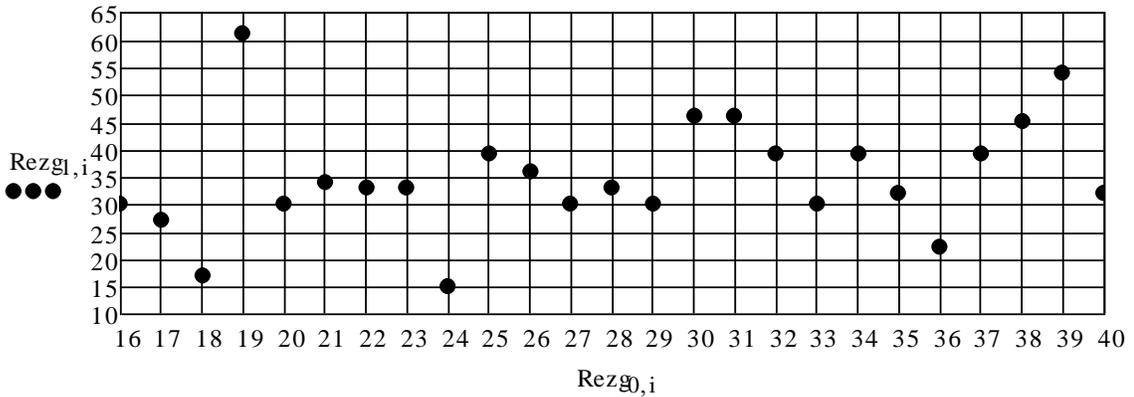


Рис. 6. Зависимости оптимальных азимутальных направлений $Rez_{gl,i}$ в градусах от высоты размещения над поверхностью земли $Rez_{g0,i}$ в метрах для горизонтальной поляризации по всем частотам от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц

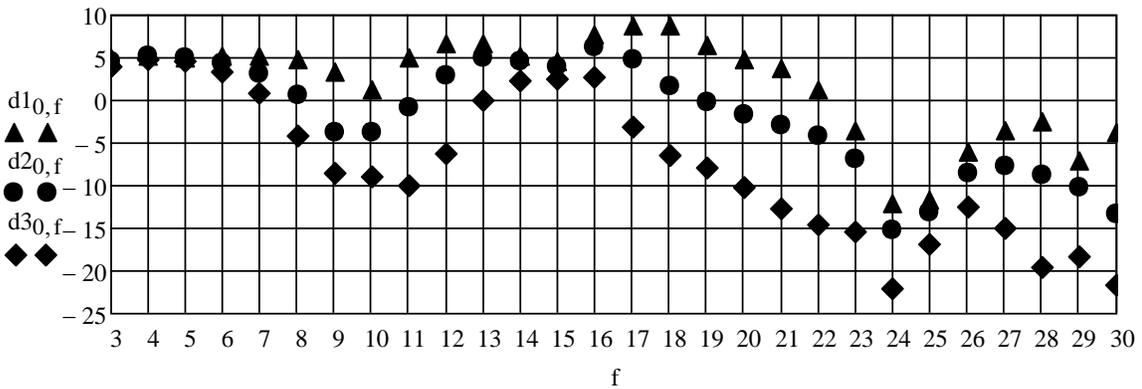


Рис. 7. Зависимости максимального $d_{10,f}$, среднего $d_{20,f}$ и минимального $d_{30,f}$ КУ антенны в дБ от частоты f в МГц по азимутальному направлению 17 градусов для горизонтальной поляризации

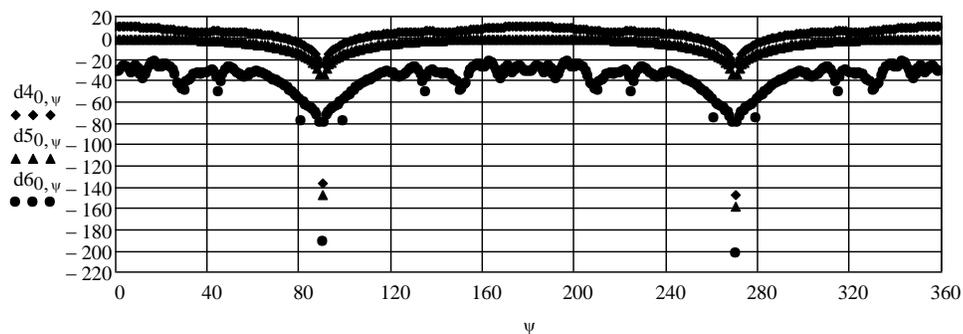


Рис. 8. Зависимости максимального $d_{40,\psi}$, среднего $d_{50,\psi}$ и минимального $d_{60,\psi}$ КУ антенны в дБ от азимутального направления ψ в градусах по всем частотам от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц в секторе углов прихода от 18 до 43 градусов для горизонтальной поляризации на высоте размещения над поверхностью земли 18 м

Аналогичные зависимости формируются для вертикальной поляризации.

Таким образом, на радиолинии длиной 800 км наиболее вероятные углы прихода при изменении отражающего слоя ионосферы от 250 км до 350 км составляют

от 18 до 43 градусов. Результаты анализа значений КУ при углах прихода от 18 до 43 градусов в диапазоне частот от 3 МГц до 30 МГц с шагом 1 МГц на высотах размещения антенны АН-710 от 16 м до 40 м с шагом 1 м показывают, что:

1) для горизонтальной поляризации оптимальным с точки зрения минимизации провалов КУ является высота размещения над поверхностью земли 18 м (рис. 4), оптимальное азимутальное направление 17° (а также 163° , 197° и 343° в силу симметричности ДН – см. рис. 8) с изменением КУ от минус 22,07 дБи до 8,74 дБи;

2) оптимальные азимутальные направления для горизонтальной поляризации лежат в секторе углов от 10° до 62° и по направлениям зеркальным относительно оси антенны и относительно ортогонали к оси антенны;

3) для вертикальной поляризации оптимальным с точки зрения минимизации провалов КУ является высота размещения над поверхностью земли 19 м, оптимальное азимутальное направление 79° (а также 111° , 259° и 291° в силу симметричности ДН) с изменением КУ от минус 19,6 дБи до 7,35 дБи;

4) оптимальные азимутальные направления для вертикальной поляризации лежат в секторе углов от 45° до 90° и по направлениям зеркальным относительно оси антенны и относительно ортогонали к оси антенны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 13-07-00371-а; 13-02-00524-а; 15-07-05280; 15-07-05294), госзадания Министерства образования и науки РФ (проекты 8.2697.2014/К, 3.2695.2014/К).

Литература

1. Иванов, В. А. The optimum orientation of an antenna. Ver. 1.0 / В. А. Иванов, Н. В. Рябова, В. В. Павлов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011619373 от 07.12.2011 г., Роспатент. Москва, 2011.
2. Иванов, В. А. Исследование диаграмм направленности КВ-антенн в условиях размещения над реальной поверхностью земли / В. А. Иванов, Н. В. Рябова, В. В. Павлов // «Распространение радиоволн», XXIII Всероссийская научная конф. (2011; Йошкар-Ола). XXIII Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн», 23 – 26 мая 2011 г.: [сб. докл.]: в 3 т. / редкол.: Д. С. Лукин [и др.]. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – Т. 3. – С. 89 – 94.