

II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2018»

Исследование эффективности использования диэлектрических резонаторных антенн для георадаров

В.В. Варенков^{1,2}, Л.Б. Волкомирская^{1,2}, О.А. Гулевич^{1,2}, А.Е. Резников^{1,2}, В.И. Сахтеров^{1,2}

¹ ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, 108840, г. Москва г. Троицк E-mail: mila@izmiran.ru

² ООО «Таймер» 108840, г. Москва г. Троицк, ул. Лесная 4Б.

В работе исследуется возможность использования диэлектрических резонаторных антенн (ДРА) в сверхширокополосных системах подповерхностного зондирования для подавления воздушных помех. Проведены сравнительные эксперименты, позволившие сопоставить данные зондирования ДРА на ферритах с данными стандартных резистивно нагруженных дипольных антенн (РНДА) в диапазоне 300-500 МГц. Анализ сопоставления данных позволяет сделать вывод об эффективности ДРА для подавления воздушных помех. Кроме того, получены материалы, позволяющие сделать вывод о влиянии геометрии ДРА на разрешающую способность разделения слоев подстилающего разреза.

The possibility of using dielectric resonant antennas (DRA) in ultra-wideband subsurface sounding systems for suppressing air noise is investigated in this paper. Comparative experiments were performed that made it possible to compare the sounding data using DRA on ferrites to the data obtained using standard resistively loaded dipole antennas (RNDA) in the 300-500 MHz band. The analysis of data comparison allows to draw a conclusion about the effectiveness of DRA for suppressing air noise. In addition, the results obtained allow making a conclusion about the influence of the geometry of the DRA on the resolving power of the georadar for the purpose of delineating the layers of the underlying section.

Совершенствование и развитие антенн и устройств для исследований недр методом отраженных электромагнитных волн (МОЭМВ) в настоящий период оказалось востребованным в связи с увеличением глубинности исследований и потребностью уменьшить воздействие воздушных электромагнитных помех.

Для эффективного функционирования антенны должны удовлетворять определенным требованиям. В частности, антенна должна распределять электромагнитную энергию в пространстве или реагировать на проходящее электромагнитное поле по определенному закону, т.е. иметь заданную характеристику направленности.

Известно, что в нижней части СВЧ широко применяются антенны, возбуждаемые поверхностными волнами. Традиционно преимуществом антенн поверхностных волн (АПВ) является их широкодиапазонность, простота конструкции, небольшие размеры. Наибольшее распространение получили стержневые АПВ из диэлектрика, а также в виде металлических стержней с диэлектрической оболочкой [1].

Диэлектрические стержневые антенны относятся к антеннам бегущей волны с замедленной фазовой скоростью ($v_{\phi} < c$). Они применяются на границе сантиметрового и дециметрового диапазонов волн в полосе частот от 2 до 10 ГГц. Диэлектрические резонаторные антенны [2] – результат развития диэлектрических стержневых антенн (Dielectric Rod Antennas, далее – «ДРА»), теория которых была достаточно обстоятельно проработана еще в 40-е годы 20-го века [3,4]. Механизм излучения ДРА в передающем режиме основан на формировании потока смещения через внешнюю поверхность диэлектрика, у которого напряженность электрической составляющей электромагнитного поля, возбуждаемого фидером, максимальна [5]. Т.е. при

конструировании ДРА подбираются размеры и геометрия диэлектрика так, чтобы в нем возникал электромагнитный резонанс.

Поскольку длина волны в диэлектрике уменьшается до $\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$, линейные размеры ДРА могут быть в $1/\sqrt{\epsilon_r}$ раз меньше линейных размеров проводных антенн в свободном пространстве при той же эффективности.

Поэтому при использовании диэлектрика с большой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_r = 30-100$) ДРА достаточно компактны. В миллиметровом диапазоне длин волн диэлектрические потери ДРА намного меньше, чем металлических проводников. В результате КПД ДРА обычно достаточно высок и слабо зависит от влияния близлежащих предметов.

В настоящей работе проведено сравнение свойств диэлектрических резонаторных антенн на основе ферритов с резистивно нагруженными дипольными антеннами (РНД антенны) бегущей волны, которые хорошо зарекомендовали себя в диапазоне метровых длин волн. Однако РНД антенны весьма чувствительны к внешним электромагнитным помехам и переотражениям от расположенных поблизости предметов. Поэтому совершенствование технологии подавления помех является весьма актуальной задачей, особенно при увеличении глубины зондирования и увеличении длины антенн.

В своем эксперименте мы использовали оригинальную конструкцию диэлектрической резонаторной антенны на основе ферритовых пластин для диапазона 300-500МГц для сравнения её эффективности со стандартными резистивно нагруженными проводными дипольными антеннами. При анализе важно было обеспечить для рассматриваемых объектов максимальную идентичность условий. На рис. 1. представлена схема эксперимента.

На рис. 2. представлены результаты исследования по МОЭМВ для разных типов антенн.

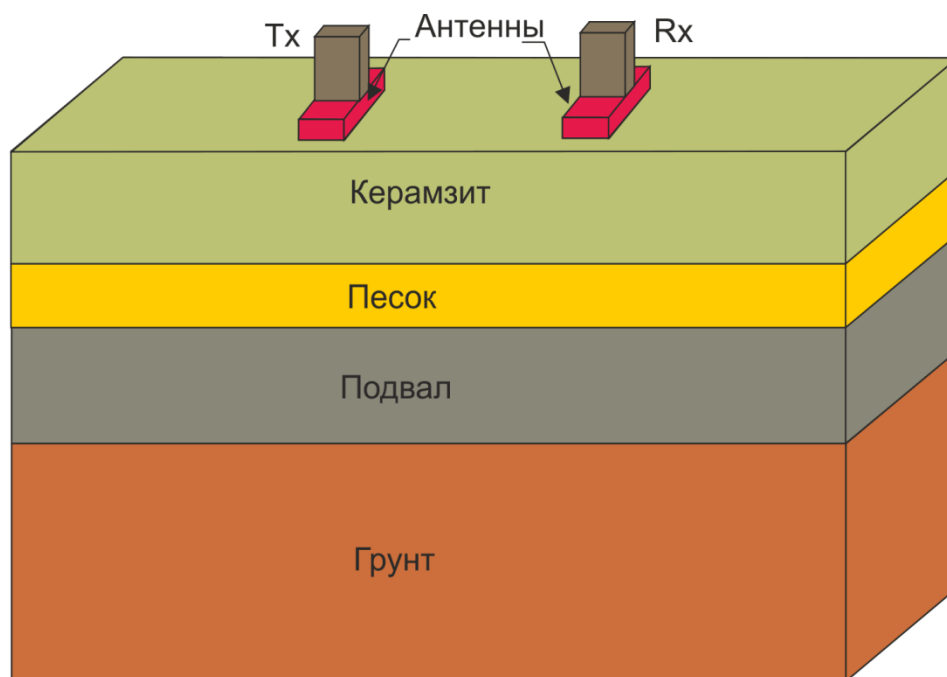


Рис. 1. Схема эксперимента. Деревянный ящик сверху керамзитом- около 40 см, ниже слой песка 15 см, стоит на полу. Далее подвал-35-50см и грунт-суглинок.

Стенд для проведения эксперимента представлял собой ящик, заполненный песком и керамзитом, стоящий на полу в комнате. Под полом подвал (рис.1.) 35-50см, и далее грунт. Помимо присутствующих границ раздела под верхней поверхностью ящика, в комнате расположено большое количество неметаллических и металлических

предметов. В качестве передатчика (Ts) использовался передатчик от георадара ГРОТ 12 с импульсным напряжением 5кВ, длительностью переднего фронта импульса 1нс. Приемник (Rs) - стандартный ГРОТ 12н с линейной оцифровкой 12 разрядным АЦП в полосе 2ГГц с шагом дискретизации 1 нс.

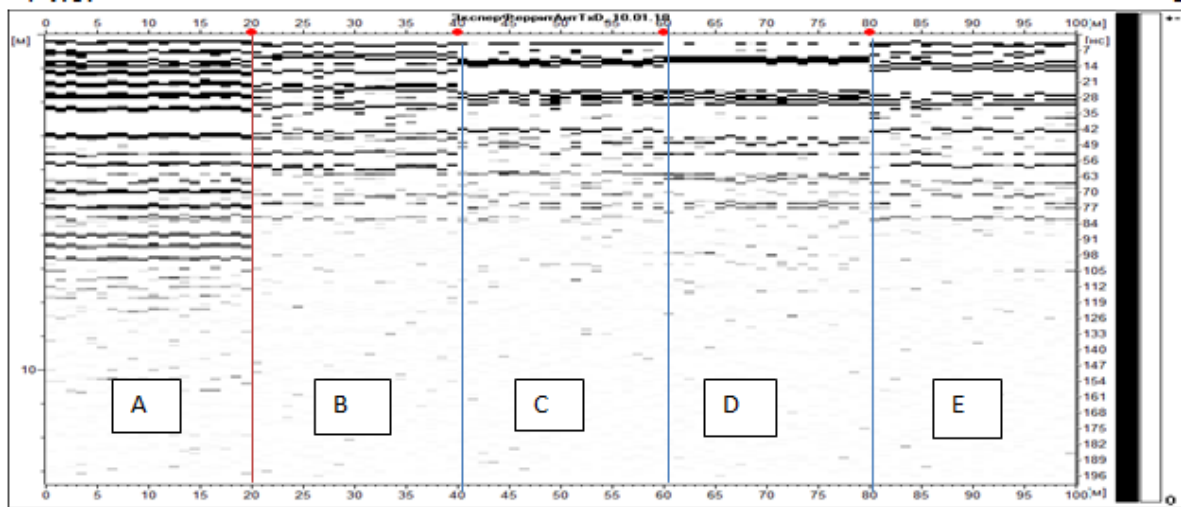


Рис. 2. Радарограммы в представлении минимумов-максимумов амплитуды отраженного сигнала при ослаблении мощности 5кВ передатчика на 15дБ для анализа верхних слоев разреза: А - стандартные РНДА антенны на приемнике и передатчике; В - ДРА ферритовые на приемнике и передатчике (Rx/Tx) с толщиной феррита 6/6 мм; С - ДРА ферритовые на приемнике и передатчике (Rx/Tx) с увеличенной толщиной ферритового резонатора до 12мм; D – ДРА ферритовые на приемнике и передатчике (Rx/Tx) с увеличенной толщиной ферритового резонатора до 18мм. Е - ДРА ферритовые на приемнике и передатчике (Rx/Tx) с увеличенной толщиной ферритового резонатора до 12мм с отдельной плоскостью заземления.

Анализ радарограмм показывает различия в отображении имеющихся границ. Так, граница на 14нс соответствующая границе между ящиком и полом хорошо определяется ДРА, в то время как эта граница на РНДА скрыта дополнительными переотражениями от воздушных помех. Причем, как видно, на диэлектрических антеннах таких переотражений регистрируется существенно меньше, особенно при увеличении толщины диэлектрического резонатора. В то же время вид переотражения от подвала (пустоты) при увеличении резонатора ДРА зависит от конструкции плоскости заземления, т.е. от геометрии конструкции антенн в целом.

Для того, чтобы убрать помехи от переотражений, мы использовали безэховые камеры, наполненные специальным углеродным поглотителем для экранировки стандартных РНД антенн (рис.3.).

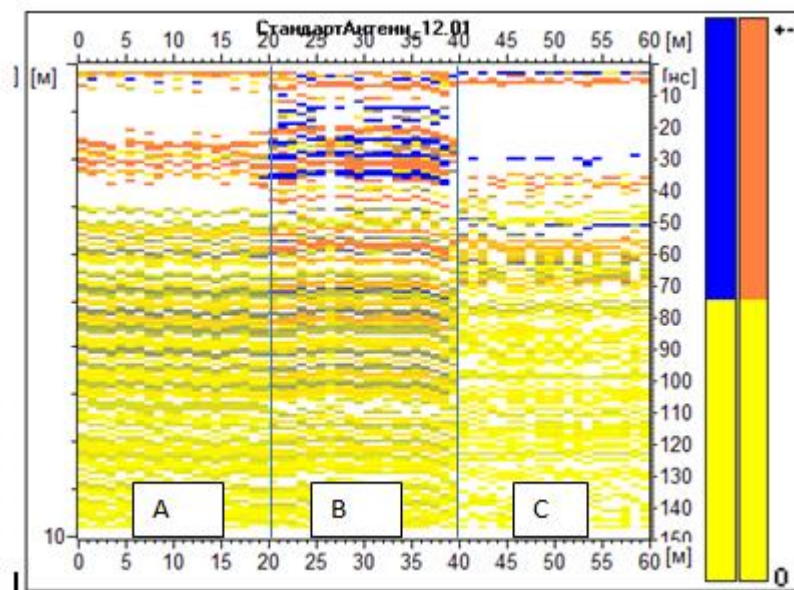


Рис. 3. Радарограммы сравнения стандартных антенн с ферритовыми ДРА при использовании безэховой камеры для поглощения ЭМ помех переотражений при мощности передатчика 5кВ: А - стандартные антенны с поглотителем; В - стандартные антенны без поглотителя; С - ферритовые ДРА без поглотителя.

Сравнение радарограмм на рис. 3. показывает хорошую направленность ферритовых ДРА, и, как результат, их малую зависимость от сторонних воздушных помех в диапазоне 300-500МГц.

Таким образом, изменение габаритов резонатора и конструкции антенн сказывается на разрешающей способности МОЭМВ, однако видно, что эта зависимость сложная. Видно, что частотный диапазон ДРА более узкополосный по сравнению с РНДА и для разных частотных диапазонов следует проводить дополнительные исследования для выбора наиболее эффективной конструкции ДРА.

Литература

1. Слюсар В.И. Диэлектрические резонаторные антенны. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2007, No 2, стр. 28-37
2. Collins B.C., Iellici D., Kingsley S.P. et al. A hybrid ceramic quadband antenna for handset applications. – Antenova Ltd. – www.antenova.com/media/papers/IEEE%20Symposium%20Shanghai.pdf.
3. Jones H.S., Jr. Design and Development of Dielectric Rod Antennas. – Harry Diamond Laboratories. – HDL-TR-1640. July 1973.
4. Zhi Ning Chen, Kazuhiro Hirasawa. On the Effect of Ground-Plane Thickness on an Aperture-Coupled Dielectric Resonator Antenna. – International Journal of RF & Microwave CAE. July 2000, v.10, N4, p. 272–277. – www1.i2r.a-star.edu.sg/~chenzn/JRFMWCAE-0400.pdf
5. Howard S J., Jr. Conformal and Small Antenna Designs.– U.S. Army Electronics Research and Development Command. Harry Diamond Laboratories. Adelphi. – HDL-TR-1952. April 1981.– stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=A100699&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf.