

Методика полевых испытаний многоантенной радарной системы (МАРС300/4) и анализ полученных результатов

В.Н. Марчук¹, О.А.Бышевский-Конопко¹, В.Г. Бездудный²

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Фрязинская часть,

² Донское археологическое общество (ДАО)

marchuk@ms.ire.rssi.ru

Предложена методика испытаний многоантенной (четырёхканальной) радарной системы МАРС300/4, предназначенной для исследований в области археологии. Описан алгоритм обработки данных, полученных при испытаниях. Выполнен анализ данных, полученных в полевых условиях в археологических экспедициях в Ростовской и Тверской областях.

The technique of tests of the multiantenna (four-channel) radar МАРС300/4 system intended for researches in the field of archeology is offered. The algorithm of the data processing, received is considered at tests. The analysis of the data obtained in field conditions in archaeological expeditions in the Rostov and Tverskaya areas is made.

В настоящее время в связи с увеличением быстродействия вычислительных систем и миниатюризации электронных элементов появилась возможность создания георадаров нового типа: многоканальных широкозахватных систем. Производительность таких устройств увеличивается пропорционально количеству каналов. Многоканальные георадары показали хорошие результаты при использовании в строительстве, в службах коммунального хозяйства, в археологии, то есть там, где требуется тщательное исследование глубинного строения грунта перед проведением раскопок и прочих земляных работ [1-5].

В данной работе рассматривается методика испытаний и алгоритмы обработки радиолокационных данных многоантенной радарной системы МАРС300/4, разрабатываемой для Донского археологического общества. Георадар состоит из двух частей: 4-канальной (рис.1) и 6-канальной антенных систем, что в сумме дает 10 каналов. Центральная частота излучаемого сверхширокополосного (СШП) сигнала составляет 300 МГц. Модуль из 4-каналов прошел предварительные испытания на полигоне Ростовской области и полевые испытания на археологических площадках в Тверской области и Карачаево-Черкесской республике (рис.2).



Рис.1. Внешний вид георадара МАРС-300/4



Рис.2. Процесс обследования археологической площадки георадаром МАРС300/4.

Особенностью георадара МАРС300/4 является чередующееся расположение приемных и передающих антенн в шахматном порядке, в результате чего поляризация принимаемого сигнала для четных и нечетных каналов различается. Кроме того, каждая приемная антенна имеет собственный усилитель, а передающая антенна собственный генератор импульсов. Поэтому первой задачей испытаний была проверка характеристик приемо-передающих трактов всех каналов. Для этого на полигоне на глубине порядка метра был зарыт металлический лист длиной 1,5 м и шириной 30 см. В процессе испытаний выяснилось, что при настройке антенной системы в лабораторных условиях, полной идентичности характеристик приемо-передающих трактов всех каналов добиться не удалось, в связи с чем потребовалась дополнительная настройка в полевых условиях.

В процессе анализа полученных при испытаниях результатов применялся следующий алгоритм обработки данных:

- 1) выравнивание амплитуд и фаз сигналов по всем каналам;
- 2) устранение аппаратной функции, являющейся результатом взаимовлияния антенн и усилительного тракта: вычисление среднестатистического сигнала и удаление его из всех выборок сигнала;
- 3) подбор оптимального усиления сигнала;
- 4) предварительная фильтрация сигнала в частотной области, для устранения паразитных частот и помех;
- 5) отображение результатов обработки в виде изометрических изображений, стратиграфических и планиметрических разрезов на заданных глубинах.

На рис 3. показано основное окно программы обработки, в котором осуществляется выбор алгоритма и настройки параметров процедур обработки 3D данных георадара: слева показана радарограмма, справа набор процедур обработки, между ними – осциллограмма принятого сигнала (зеленой вертикальной линией на радарограмме показано положение сигнала, отображаемого на осциллограмме). В данном случае проводится обработка сигнала, отраженного от металлической пластины, расположенной на глубине 0,8 м. Как следует из анализа рис.3 отраженный сигнал сдвинут по фазе по отношению к сигналу прямого прохождения.

Для исследования влияния поляризационных свойств антенной системы на передачу и прием сигнала, в приповерхностной области грунта испытательного полигона был помещен кабель под углом 45° к направлению движения георадара. В процессе испытаний было сделано 7 параллельных проходов по участку. На рис.4 показан планиметрический разрез массива обработанных данных. Голубыми маркерами показан результат обнаружения на четных каналах, красными – на нечетных. Анализ показал, что на нечетных каналах амплитуда отраженного сигнала в

2-3 раза больше, чем на нечетных, что обусловлено поляризационными особенностями излучения и приема сигнала данной антенной системы. Изломанность линии кабеля вызвана неравномерностью движения георадара.

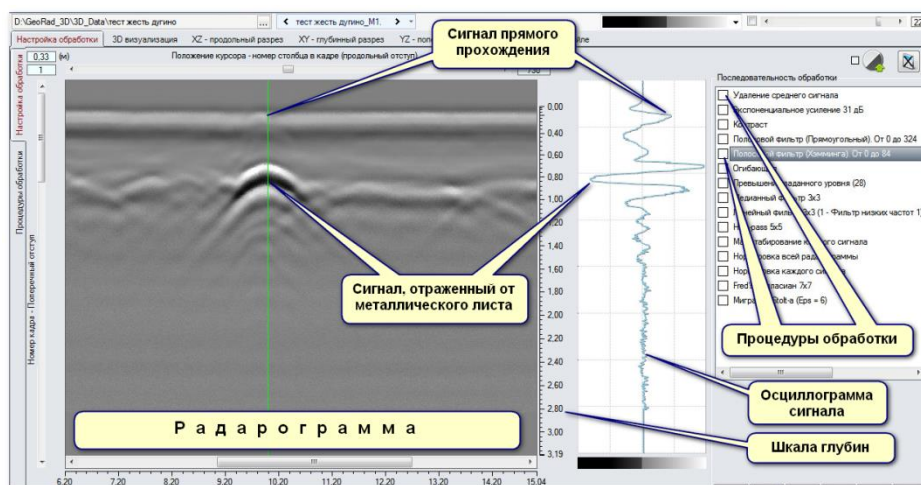


Рис.3. Основное окно настройки обработки 3Dданных георадара: слева радарограмма, справа набор процедур обработки, между ними – осциллограмма принятого сигнала.

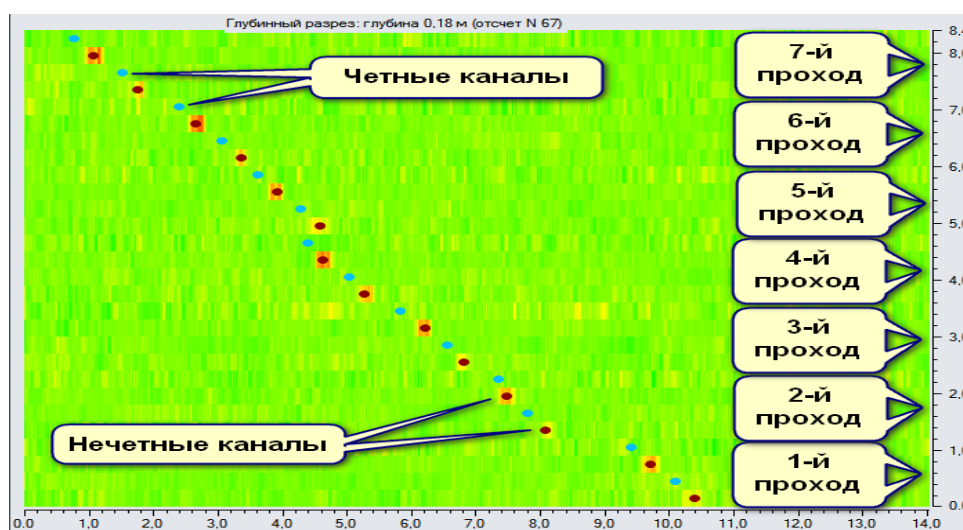


Рис.4. Планиметрический разрез приповерхностного слоя грунта испытательного полигона в месте расположения кабеля.

На рис.5 приведен результат обработки георадарных данных, полученных при исследовании археологической площадки в Тверской области. Длина площадки 34 м, ширина – 20 м. 3D массив обработанных данных представлен в виде параллелепипеда, изображенного в изометрической проекции. Верхняя грань параллелепипеда представляет собой планиметрический разрез на заданной глубине, левая грань – радарограмму (стратиграфический разрез), построенную по результатам обработки первого канала первого прохода, правая грань – синтетическую радарограмму по всем каналам в конце исследуемого участка. На глубинах от 0,4 до 0,5 м наблюдаются отражения от погребенных объектов. При проведении последующих раскопок в этих районах были обнаружены остатки хозяйственных построек и засыпанные погребя.

Таким образом, можно утверждать, что испытания многоантенной (четырёхканальной) радарной системы МАРС300/4 в полевых условиях прошли успешно, и она является хорошей основой для разработки 10-канальной радарной системы МАРС300/10.

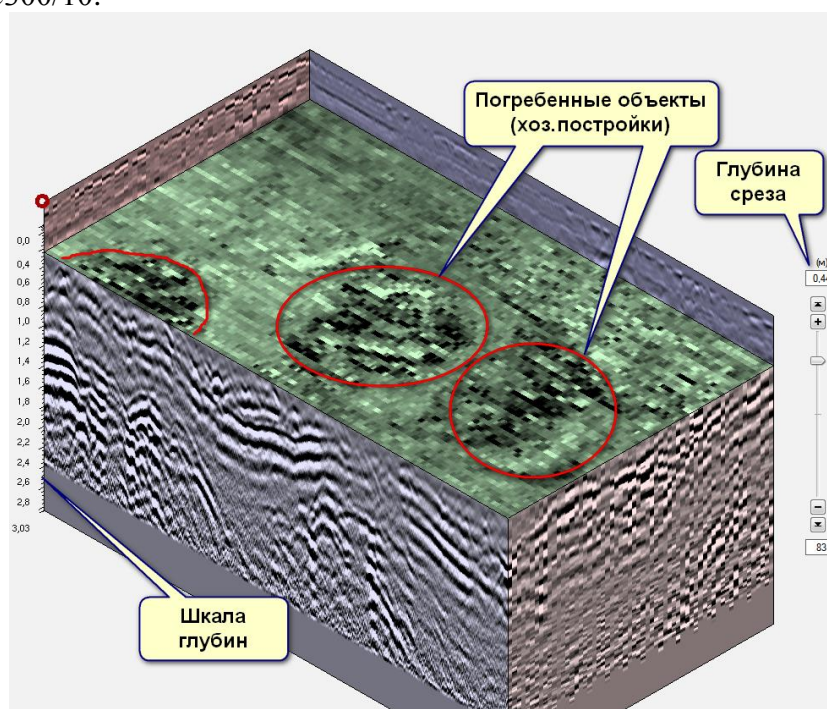


Рис.5. Изометрическая проекция трехмерного изображения массива обработанных георадарных данных, полученных при обследовании археологической площадки в Тверской области.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы ОФН РАН «Радиоэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека» и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

Литература

1. Linford, N., Linford, P., Martin, L. and Payne, A. (2010), Stepped frequency ground-penetrating radar survey with a multi-element array antenna: Results from field application on archaeological sites. *Archaeological Prospection*, 17: 187–198. doi: 10.1002/arp.382
2. Dean Goodman, Alexandre Novo, GeostudiAstier, Gianfranco Morelli, GeostudiAstierSalvatorePiro, DoriaKutrubes, Henrique Lorenzo. *Advances in GPR imaging with multi-channel radar systems from engineering to archaeology // SAGEEP 2011 Charleston, South Carolina USA*
3. ImmoTrinks, JaanaGustafsson, JesperEmilsson, ChristerGustafsson, Bernt Johansson et Johan Nissen. Efficient, large-scale archaeological prospection using a true 3D GPR array system // *ArcheoSciences*, suppl. 33, 2009, pp. 367-370
4. U.Wollschlager, H. Gerhards, Q. Yu, and K. Roth. Multi-channel ground-penetrating radar to explore spatial variations in thaw depth and moisture content in the active layer of a permafrost site // *The Cryosphere*, 4, 269–283, 2010, www.the-cryosphere.net/4/269/2010/
5. Marshall Bradleya, Thomas Wjtenb, Robert MCCUmmjflSa, Mike Crowea, Scott Stewart, Mike DUnCana. Mine detection with a multi-channel stepped-frequency ground penetrating radar // Part of the SPIE Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Tarciets IV • Orlando, Florida • April 1999, SPIE, Vol. 371, pp.953-960.