

УДК 621.396.96

Многочастотный СВЧ-датчик для обнаружения мин (Multi-Frequency Transducers for Mine Detection)

И.А. Васильев, Е.Г. Геннадиева, С.И. Ивашов, В.И. Макаренко,
В.М. Метальников, В.В. Разевиг, В.Н. Саблин, А.П. Шейко

I.A. Vasilyev, E.G. Gennadieva, S.I. Ivashov, V.I. Makarenkov,
V.M. Metal'nikov, V.V. Razevig, V.N. Sablin, A.P. Sheyko

Рассмотрена возможность повышения эффективности работ по разминированию за счёт использования многочастотных СВЧ-датчиков и получения радиоизображения местности в полосе движения миноискателя. Создан экспериментальный макет с датчиком, обеспечивающим сканирование в двух плоскостях, и предложены алгоритмы отображения информации на экране дисплея в виде анимационных изображений. Предлагаемые методы могут найти применение при проведении миротворческих и гуманитарных операций.

In this paper is considering a new method of minefield reconnaissance with use of the multi-frequency transducers. The method allows getting the terrain's HF images in the band of the mine detector sensors. The experimental mock-up was created with transducer, which is scanning in two dimensions. To image the experimental results the animation principle was proposed. The mine detector of this kind can be used in peacekeeping and humanitarian operations.

Введение. В ликвидации последствий локальных конфликтов одной из главных проблем является разминирование территорий, которые оказались заминированными в результате боевых действий. Особую трудность в процессе разминирования представляет то обстоятельство, что минные поля устанавливались, как правило, хаотично и без составления соответствующих формуляров (карт), а также наличие мин ловушек. Общее состояние работ по разминированию в мире описано в специальной литературе [1,2].

Минные поля, как правило, устанавливаются смешанными, т.е. содержат как противотанковые, так и противопехотные мины. Основная масса мин имеет круглую в плане форму. Противотанковые мины имеют диаметр около 300 мм, а средний диаметр противопехотных мин составляет – 75 мм. Некоторые типы мин практически не содержат металла, что значительно затрудняет их обнаружение. В этом случае основным демаскирующим признаком является взрывчатка мины, диэлектрическая постоянная ϵ' которой отличаются от аналогичной характеристики грунта. Так ϵ' для типичных взрывчатых веществ составляет от 3,5 до 4,0. В

тоже время диэлектрические свойства грунта в рассматриваемом диапазоне частот в зависимости от состава и влажности меняются в широком диапазоне от 2,6 до 25 [3,8]. Нижнее значение диапазона относится к абсолютно сухому песку, который встречается в пустыне. В подавляющем большинстве случаев ε' для грунта превосходит аналогичное значение для взрывчатки.

Значительные трудности при обнаружении мин создают неоднородности поверхности, а также большое количество посторонних предметов в грунте, особенно в урбанизированных местностях. Причём, диэлектрический контраст этих неоднородностей по отношению к грунту часто превосходит контраст пластиковых мин, что приводит к недопустимому уровню ложных тревог. Вместе с тем по требованиям ООН вероятность обнаружения мин должна составлять 99,6% при низком уровне ложных тревог [4]. Эти требования не выполняются существующими техническими средствами. Зачастую единственным средством сапёра оказывается щуп.

Одним из направлений достижения поставленной цели является разработка широкозахватных радиотехнических средств обнаружения мин, использующих пространственную фильтрацию для снижения уровня ложных тревог. Макет такого миноискателя, использующего в качестве поисковых элементов штатные армейские миноискатели типа ММП, был разработан в конце 80^х годов [5].

Описание экспериментального макета. Дальнейшее развитие эти работы получили в разработанном в последнее время радиолокаторе подповерхностного зондирования «МиРаскан», который позволяет обнаруживать и идентифицировать малозаглубленные (до 20 см) предметы по их форме. В основу конструкции радиолокатора положен принцип многочастотного зондирования конденсированных сред (строительных конструкций, грунтов и т.д.) [6]. Предлагаемый метод в настоящее время не имеет аналога в мировой практике [7].

Структурная схема радиолокатора «МиРаскан» представлена на рис. 1. Радиолокатор имеет 5 рабочих частот в диапазоне от 1,5 до 2,0 ГГц, а приём сигнала осуществляется в двух поляризациях. Излучаемая мощность генератора на каждой из последовательно переключаемых частот составляет 10мВт, что обеспечивает полную безопасность для обслуживающего персонала. В процессе сканирования по поверхности земли осуществляется последовательный приём сигналов на каждой из частот и в обеих поляризациях. Скорость переключения частот такова, что обеспечивает пространственное совпадения радиоизображений на отдельных частотах.

Сканирование в поперечном направлении осуществляется за счёт электромеханического перемещения СВЧ-устройства радиолокатора, а в продольном направлении – за счёт перемещения всего устройства. Результаты сканирования отображаются в виде полутоновых изображений на экране монитора. Учитывая, что оператору трудно осуществлять одновременный анализ всех изображений на разных частотах, строится одно анимационное изображение, в котором последовательные кадры соответствуют различным частотам.

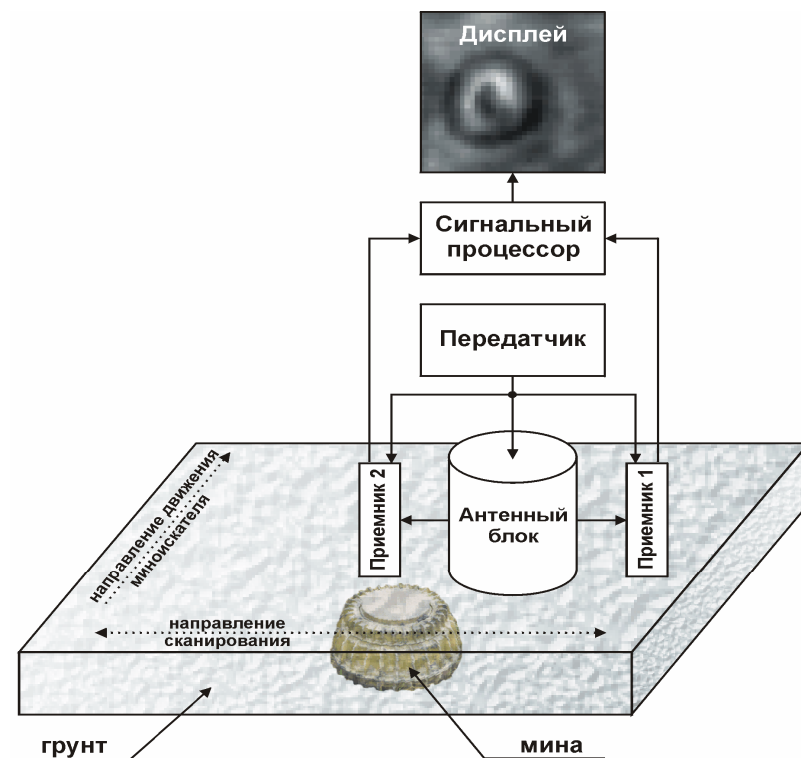


Рис. 1. Структурная схема радиолокатора «МиРаскан»

Макет миноискателя позволяет просматривать полосу движения шириной 112 см и отображает результаты сканирования на экране ПЭВМ типа ноутбук в реальном масштабе времени. Общий вид радиолокатора подповерхностного зондирования «МиРаскан» во время испытаний на полигоне представлен на рис. 2.



Рис. 2. Макет миноискателя «МиРаскан»

Для проведения испытаний в натуральных условиях были проведены эксперименты по обнаружению и идентификации макетов пластиковых противопехотных и противотанковых мин. Эксперименты проводились на специальном грунтовом полигоне. На полигоне имелись

площадки с основными типами почв: песок, чернозём, суглинок и т.д., что обеспечивает широкую вариацию в их диэлектрических свойствах.

В качестве исследуемых объектов использовались макеты противотанковых пластиковых мин типа ТМ-62ПЗ (производство РФ), ТС-6.1 и ТС-2.5 (производство Италии), противопехотных пластиковых мин типа ПМН-2 и МС-3 (производство РФ), а также металлических противотанковых мин типа ТМ-62М и ПТМ-3 (производство РФ), рис. 3. Все мины, кроме ПТМ-3, имели круглую в плане форму, ПТМ-3 – прямоугольную.



Рис. 3. Макеты противотанковых пластиковых мин
ТМ-62М,
ТС-6.1, ТС-2.5, ТМ-62ПЗ,
ПМН-2, МС-3

Мины заглублялись в грунт на глубину 1 см для противопехотных мин и на 5-8 см для противотанковых мин. Эксперименты проводились на двух типах грунтов: сильно увлажненном песке и сильно увлажненном черноземе с дерновым покровом. Грунты имели естественную влажность, близкую к насыщению, т.к. эксперименты проводились спустя сутки после продолжительных ливневых дождей.

Расположение мин на площадке с песчаным грунтом приведено на рис. 4. Результаты сканирования поверхности площадки приведены на рис. 5.

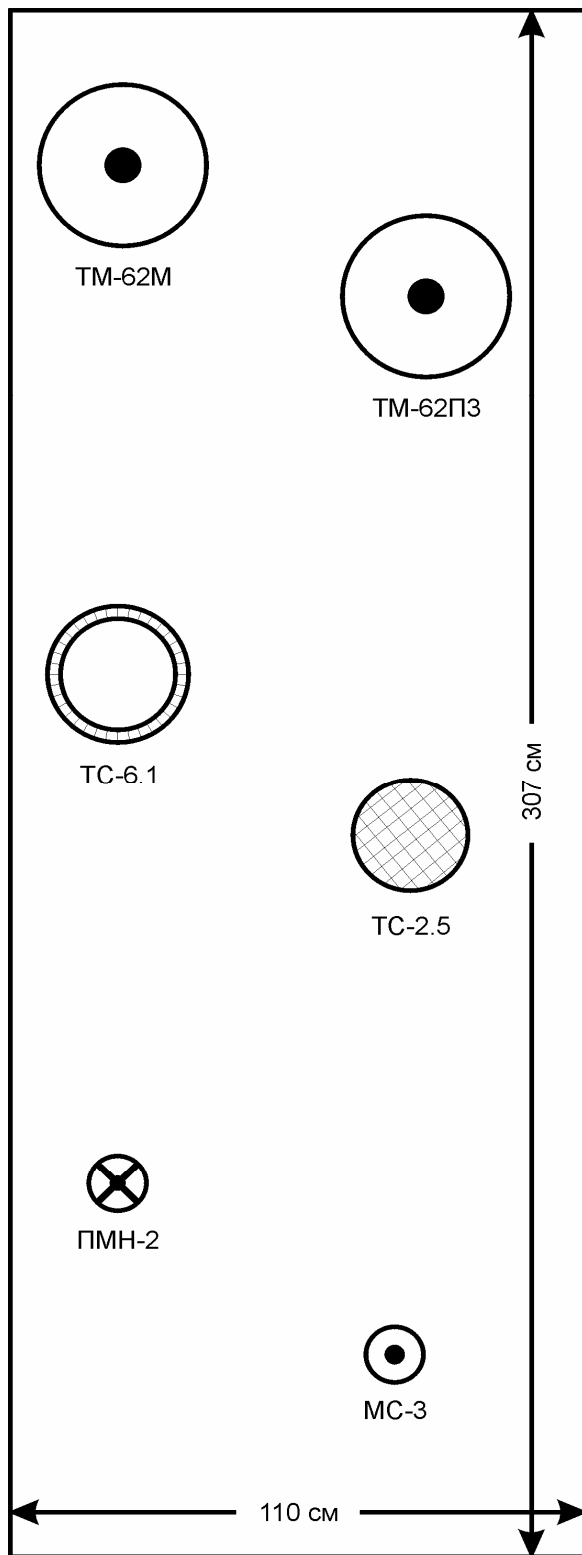


Рис. 4. Схема расположения объектов

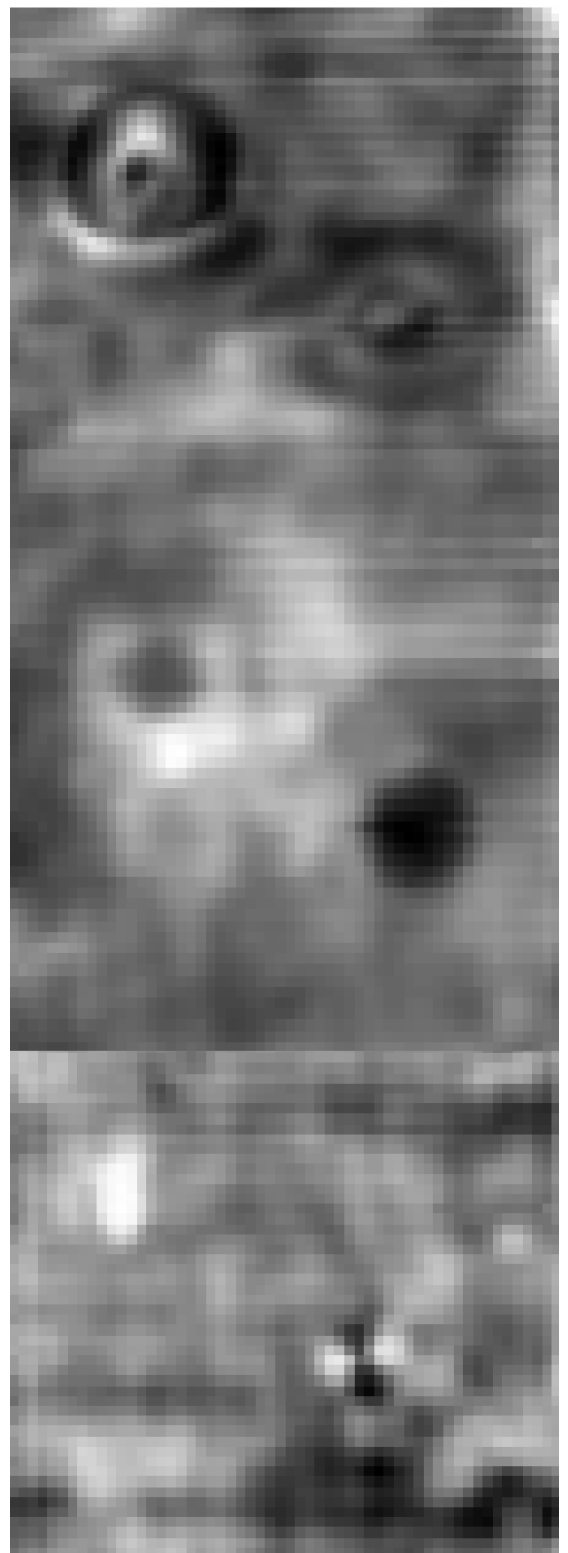


Рис. 5. Радиоизображения макетов мин в исследуемой полосе с песчаным грунтом

На рис. 6 и 7 показаны результаты сканирования противопехотных мин, полученные при фрагментарном сканировании только этих объектов в песке, при размере фрагмента 0.5×0.5м.

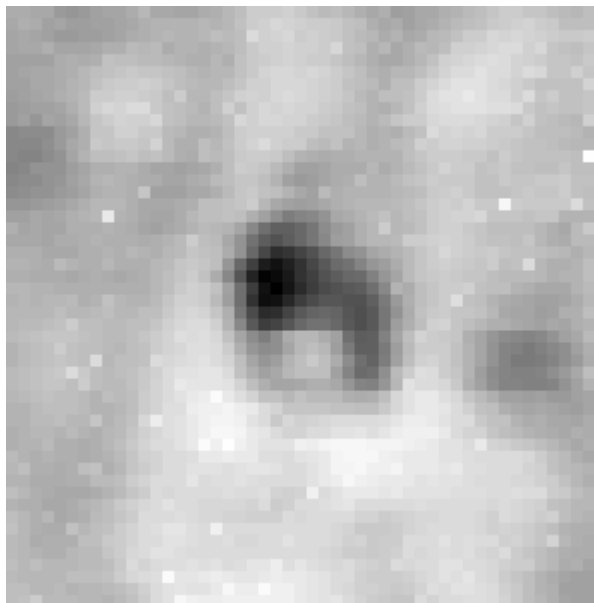


Рис. 6. Радиоизображение противопехотной мины типа ПМН-2

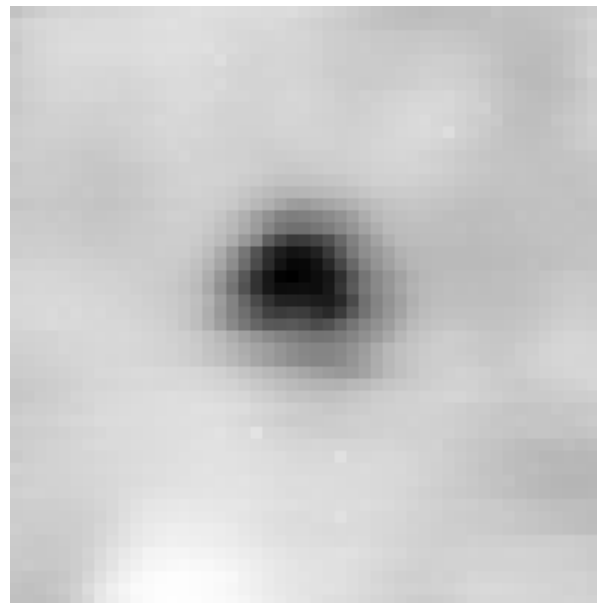


Рис. 7. Радиоизображение противопехотной мины типа МС-3

Сканирование площадки с черноземным грунтом осуществлялась только фрагментарно. Объекты заглублялись на подготовленном участке поочередно. Размер фрагмента сканируемой поверхности 0.5×0.5м. Результаты сканирования поверхности площадки с черноземным грунтом приведены на рис. 8 - 10.

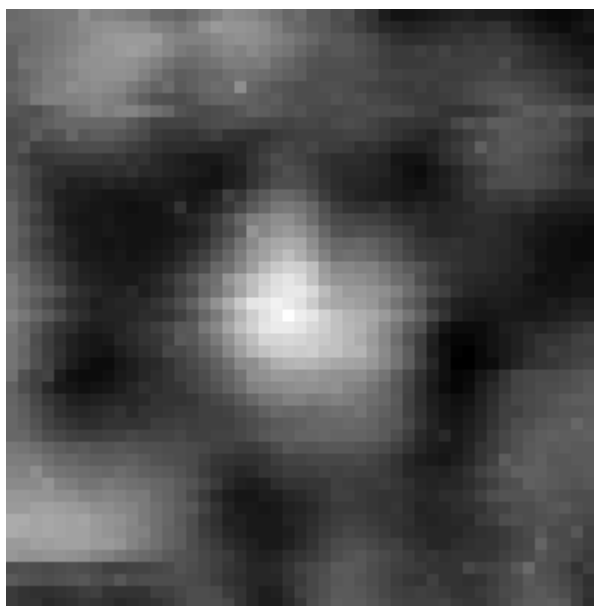


Рис. 8. Радиоизображение макета мины типа ТС-2.5

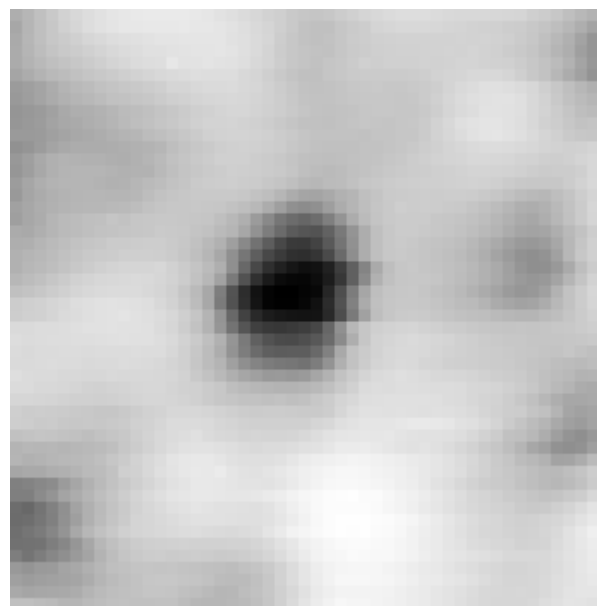


Рис. 9. Радиоизображение макета мины типа ТС-6.1

Все использованные в экспериментах до сих пор мины имели круглую в плане форму. Для изучения возможности обнаружения мин, имеющих форму отличную от круглой, был

проведён следующий эксперимент. В песчаный грунт на глубину 5 см был закопан макет противотанковой противоднищевой мины отечественного производства типа ПТМ-3. Данная мина имеет форму прямоугольного контейнера с квадратным поперечным сечением, а её размеры составляют 84×330 мм. Радиоизображение макета мины ПТМ-3 приведено на рис. 11. Видно, что это изображение кардинально отличается от всех предыдущих.

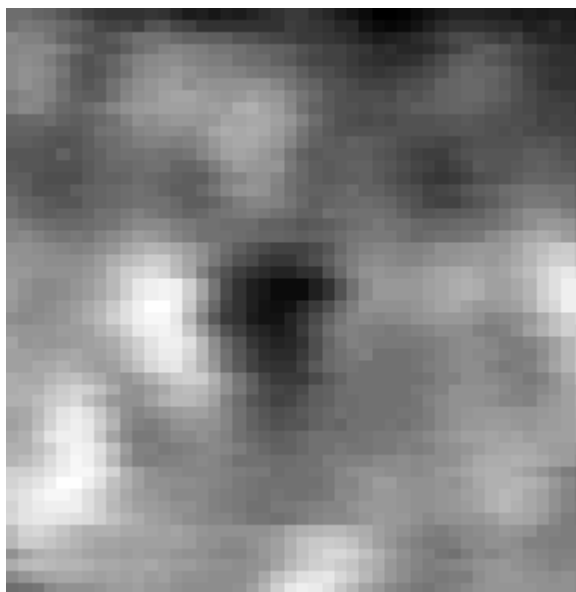


Рис. 10. Радиоизображение макета мины ПМН-2 в чернозёме



Рис. 11. Радиоизображение макета мины ПТМ-3 в песчаном грунте

Радиоизображения, представленные в настоящей статье, не в полной мере отражают получаемые экспериментальные данные, т.к. алгоритмы отображения информации описываемого радиолокатора рассчитаны на использование современных экранов ЭВМ и результаты экспериментов выводятся в виде анимационного изображения.

Заключение. Предлагаемый метод получения радиоизображений объектов в грунте с возможностью их последующего распознавания может служить основой для создания перспективных миноискателей. Ещё одним возможным применением разрабатываемой аппаратуры может быть зондирование строительных покрытий и конструкций (ВПП, мостов, путепроводов, дорог и т.д.) с целью обнаружения в них дефектов.

Литература

1. Жуков С. Опыт разминирования местности в условиях локальных военных конфликтов. Зарубежное военное обозрение, № 6, 1998, стр. 14-19.
2. Жуков С. Опыт разминирования местности в Мозамбике, Анголе и Кувейте. Зарубежное военное обозрение, № 7, 1998, стр. 21-26.
3. Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н.; Под ред. Финкельштейн М.И. Подповерхностная радиолокация. М.: Радио и связь, 1994. - 216 с.
4. Chignell R.J. "Minerec" a Development Platform for Anti-Personnel Mine Detection and Recognition. Second International Conference on the Detection of Abandoned Land Mines, MD'98. Edinburgh, UK, 12-16 October 1998, pp 64-66.

5. Васильев И.А., Ивашов С.И., Саблин В.Н. Широкозахватная радиотехническая система обнаружения мин. Радиотехника. №4, вып. 29, Радиолокационные системы и системы радиоуправления, №5, 1998, стр. 55÷58.
6. Vasiliev I.A., Ivashov S.I., Makarenkov V.I., Sablin V.N., Sheyko A.P. RF Band High Resolution Sounding of Building Structures and Works. Seventh International Conference on Ground-Penetrating Radar, GPR'98, May 27-30, 1998, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA, V. 2, pp 707-710.
7. Russians Launch Anti-bugging Radar. Microwave Journal, February 1998, vol. 41, No. 2, pp.47,48.
8. Lebeda G. N. Electrical Parameters of Sandy and Clayey Soils as Function of The Soil Moisture at the Seven Separate Higher Frequencies from 36765 Mhz to 132.7 Mhz. Seventh International Conference on Ground-Penetrating Radar, GPR'98, May 27-30, 1998, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA, V. 2, pp 719-722.