



Глубина зондирования и разрешающая способность с практической точки зрения являются важными параметрами, определяющими спектр задач, решаемых с помощью георадаров. В общем случае глубина зондирования зависит от удельного электрического сопротивления среды и потенциала георадара.

Общезвестно, что с уменьшением частоты зондирования уменьшается удельное затухание электромагнитной волны в среде и, как следствие, увеличивается глубина зондирования. Например, для сухого песка удельное затухание (Γ) на частоте 10 МГц составляет $\Gamma=0,2$ дБ/м, а на 1000 МГц - 18 дБ/м. Таким образом, уменьшение рабочей частоты георадара - один из путей увеличения глубины зондирования.

Вторым важным фактором, влияющим на глубину зондирования, является энергетический потенциал, т.е. отношение напряжения передатчика к чувствительности приемника. Очевидно, что чем больше амплитуда импульса передатчика и чем выше чувствительность приемника, тем большую глубину зондирования можно получить. Но здесь есть несколько технических проблем.

В передатчиках низкочастотных антенных блоков георадаров «Око» используются наборы лавинных транзисторов, обеспечивающих суммарную выходную амплитуду импульса передатчика $\approx 600-700$ В при частоте повторения импульсов до 100 кГц. При этом возможность дальнейшего увеличения амплитуды транзисторных передатчиков за счет наращивания числа транзисторов практически исчерпана.

Генераторы на основе вакуумных разрядников, способны формировать импульсы до 3-5 кВ, но при этом снижается частота повторения примерно на 3 порядка.

Формирователи импульсов на основе диодных обострителей также позволяют увеличить амплитуду импульсов возбуждения в несколько раз, однако при этом значительно растет мощность потребления и практически на порядок снижается допустимая частота работы передатчика по сравнению с транзисторными схемами.

Таким образом, увеличение амплитуды импульсов возбуждения передатчика выше 1000 В приводит к существенному снижению скорости зондирования. Кроме того, могут возникнуть серьезные вопросы с электромагнитной совместимостью и безопасностью оператора.

Увеличивать чувствительность приемного устройства можно за счет увеличения коэффициента усиления приемного устройства, но и здесь есть свои ограничения. Уровень шумов приемного тракта (включая антенну) всех современных георадаров в основном определяется уровнем внешних помех от наземных радиоустройств. Так что повышение чувствительности входного усилителя приемника не даст положительного эффекта.

Существует другой метод повышения чувствительности - за счет когерентного накопления. Исходя из предположения о случайном характере эфирных помех, выигрыш в отношении сигнал/шум равен $\sqrt{N}$, где N - величина накопления. Таким образом, при отсутствии мешающих

собственных системных помех, глубинность георадаров можно существенно наращивать за счет накопления. Поэтому механизм когерентного накопления рассматривается в качестве основного перспективного фактора повышения глубинности георадаров. Это иллюстрируется на рис.1, где представлены две радарограммы, снятые при помощи георадара «ОКО» с АБ-700 по одному и тому же профилю с различными накоплениями (радарограмма слева снята с накоплением =1, радарограмма справа с накоплением =64).

На радарограмме слева максимальная глубина зондирования, ниже которой отраженные сигналы полностью маскируются случайными помехами, находится чуть ниже 2,0 м. На правой радарограмме максимальная глубина возрастает до 4,0 м, что является следствием увеличения накопления.

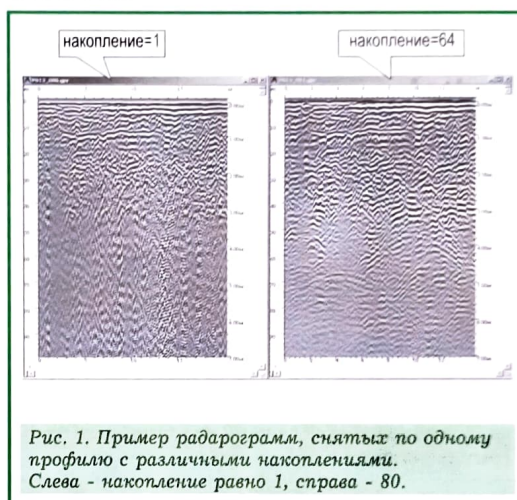


Рис. 1. Пример радарограмм, снятых по одному профилю с различными накоплениями. Слева - накопление равно 1, справа - 80.

Однако метод когерентного накопления имеет существенный недостаток - в N раз снижается скорость зондирования. Классический для георадаров метод стробоскопического преобразования позволяет получить только один временной отсчет на один цикл излучения передатчика, что приводит к значительным потерям времени при наборе трассы. К этому прибавляется уменьшение скорости в N раз за счет накопления, плюс потери времени на пересылку и обработку данных. В итоге даже при работе передатчика на частоте 100 кГц при накоплении $N=1$ реальная скорость зондирования получается примерно 30...50 трасс в секунду. При накоплении $N=10$ скорость зондирования снижается до 3...5 трасс в секунду, что уже мало для нормальной работы.

В низкочастотных антенных блоках георадаров «Око» последних модификаций для значительного увеличения величины накопления реализован «многоотсчетный» режим, который позволяет на один импульс излучения передатчика получать несколько временных отсчетов. В настоящее время на один излученный импульс производится оцифровка по восьми временным стробам с 14 разрядным разрешением. Одновременно с учетом существенного увеличения скорости обмена данными между антенным блоком и ноутбуком

удалось на порядок повысить уровень синхронного накопления сигналов. В итоге реальная скорость зондирования получается примерно 130-150 трасс в секунду. В дальнейшем скорость оцифровки будет наращиваться по мере появления соответствующей элементной базы.

Использование в георадарах «Око» для накопления данных 32-разрядной сетки позволяет практически без ограничения наращивать величину накопления. Проводились экспериментальные работы с накоплением в десятки тысяч раз.

Также были отработаны варианты возможного повышения глубины зондирования за счет понижения рабочих частот антенных блоков. За последний год был запущен в производство экранированный антенный блок АБ-90, с центральной частотой 90 МГц. Этот антенный блок имеет на наш взгляд максимально допустимые конструктивные размеры для экранированных антенн.

Дальнейшее понижение рабочих частот возможно только по линии неэкранированных дипольных антенных блоков. Традиционный дипольный вариант с размещением излучающих элементов перпендикулярно несущей раме имеет определенные ограничения при работе по пересеченной местности (кусты, деревья и т.д.). В настоящее время разработан дипольный антенный блок, имеющий подугибокую линейную конструкцию. Он выполнен с использованием армированных сменных рукавов Ø66 мм с двухсторонним латексным покрытием, внутри которых расположены плоские дипольные излучатели, и полностью герметичен. Приемный и передающий отсеки врезаны в разрывы рукава. Общая длина антенного блока изменяется в зависимости от частотного диапазона. Представляется обоснованным использовать такой антенный блок в диапазоне частот 25 ± 100 МГц. Конструкция данного антенного блока, получившего название «Тритон», позволяет легко маневрировать по пересеченной местности. Герметичная оболочка дает возможность производить подводное зондирование при фиксированном заглублении или путем перемещения по дну водоема. Внешний вид антенного блока «Тритон» приведен на фото (рис.2).



Рис. 2. Антенный блок «Тритон».

Таким образом, для увеличения глубины зондирования в георадарах «ОКО» используется наиболее перспективные направления: увеличение накопления, увеличение числа отсчетов на один излученный импульс и понижение рабочей частоты антенного блока.

Проведенные сравнительные испытания антенного блока «Тритон» с центральной частотой 50 МГц и антенного блока АБД продемонстрировали основные особенности и отличия антенного блока «Тритон»:

- в отличие от АБД, конструкция антенного блока «Тритон» позволяет осуществлять зондирование без отрыва от поверхности, даже на сильно пересеченной местности (отсутствие отрыва увеличивает глубину зондирования и уменьшает помехи от переотражений);

- герметичность корпуса антенного блока «Тритон» позволяет успешно решать задачи, связанные с подводным зондированием: исследование донных слоев, а также поиск и локализация объектов на больших глубинах ниже профиля дна;

- легкий, по сравнению с АБД, вес, меньшие габариты и неразборная конструкция антенного блока «Тритон» обеспечивают повышенную надежность и высокую производительность.

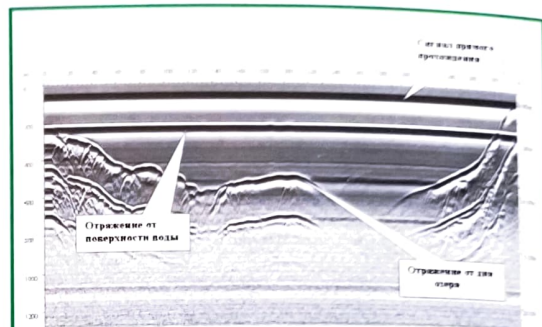


Рис. 3. Результаты испытаний антенного блока «Тритон».

Результаты испытаний антенного блока «Тритон» на озере в г. Раменское представлены на рис.3. Антенный блок был затоплен на глубину 4,0 м, сканирование проводилось в непрерывном режиме с накоплением 128.

Существующее программное обеспечение реализует наиболее применимые стандартные математические алгоритмы, которые помогают оператору произвести правильную интерпретацию радарограмм. Различного рода алгоритмы фильтрации позволяют устранить некоторые типы маскирующих помех. Наличие дифрагирующих объектов позволяет провести оценку скорости распространения радиоволн в средах с неизвестными параметрами. Так же могут быть использованы операции обработки, которые позволяют улучшить разрешающую способность аппаратуры по угловым координатам и дальности.

Георадары в настоящее время активно используются для обследования дорожной одежды. Георадарные профили после интерпретации позволяют воспроизвести картину слоев, как основания, так и верхней части дорожной одежды.

Однако использование контактных антенных блоков затруднило получение хороших результатов по самой верхней части из-за расположения на этих участках мощного сигнала прямого прохождения. К тому же, в этих условиях для подавления прямого сигнала нельзя использовать операцию «вычитание среднего», так как при этом теряется информация от горизонтальных слоев. Единственным выходом из сложившейся ситуации является использование рупорных антенн с некоторым отрывом от поверхности. Создание рупорного антенного блока АБ-1700-Р позволило разрешить эту проблему.

Этот антенный блок позволяет проводить изучение самой верхней части изучаемой среды. Высота подвеса антенного блока выбирается около 20-30 см. Сам антенный блок монтируется на удобном быстроразъемном креплении к задней части автомобиля (рис.4). Решение задачи зондирования с автомобиля потребовало увеличения быстроты



Рис. 4. Рупорный антенный блок АБ-1700-Р, смонтированный на автомобиле.

ствия всей системы.

Иногда георадарное зондирование, особенно на максимальных глубинах, в силу различных причин не дает приемлемых результатов. Единственным выходом из этой ситуации является использование скважинного георадара.

Использование таких георадаров может дать много дополнительной информации, которую нельзя получить другими методами. Сдерживающим фактором по этой технологии является необходимость создания разведочных скважин и более сложная интерпретация результатов зондирования. Для решения задач по скважинному зондированию был разработан комплекс для работы в скважинах с диаметром не менее 100 мм.



Рис. 5. Георадарный скважинный комплекс.

Скважинный георадарный комплекс (рис.5) имеет сменные направленные экранированные антенные блоки с центральной частотой около 700 МГц. В составе комплекса также имеется автоматическое поворотное устройство и ручное устройство для подъема-опускания штанги со встроенным датчиком перемещений. На рис.6 приведена радарограмма, полученная при обследовании буронабивных скважин на строительстве очистных сооружений на Краснопресненской набережной, г. Москва.

Дальнейшее улучшение основных характеристик георадарных систем в последнее время привело к возможности использования георадаров для выявления движения за стенами. На рис.7 приведены результаты зондирования через стену при движении человека с удалением до 7,0 м.

Приведенные выше достижения в совершенствовании георадаров за последние годы существенно расширили спектр решаемых георадаром задач и активизировали их применение в различных областях.

Появление герметизированных антенных

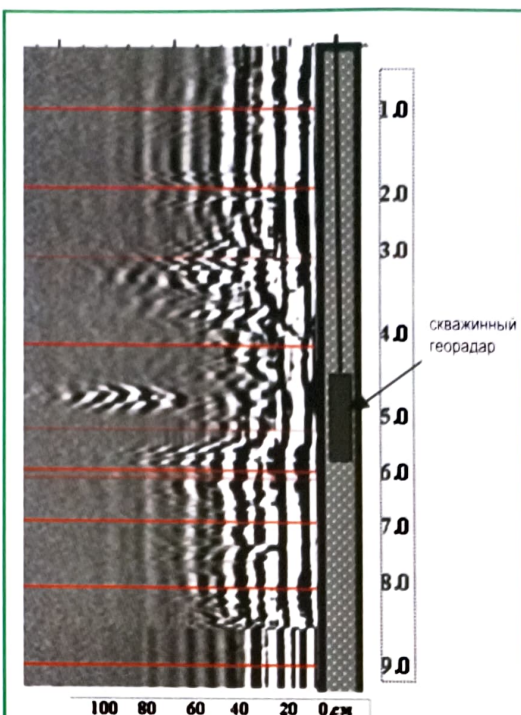


Рис. 6. Радарограмма зондирования буронабивной скважины глубиной 10,0 м.

блоков «Тритон» позволяет увеличить глубинность исследований при обнаружении объектов на дне водоемов.

Георадары нового поколения открыли новые возможности при решении различных задач в антитеррористической деятельности, в том числе для обнаружения людей в скрохах, за стенами и препятствиями, при выявлении контрабанды и т.д.

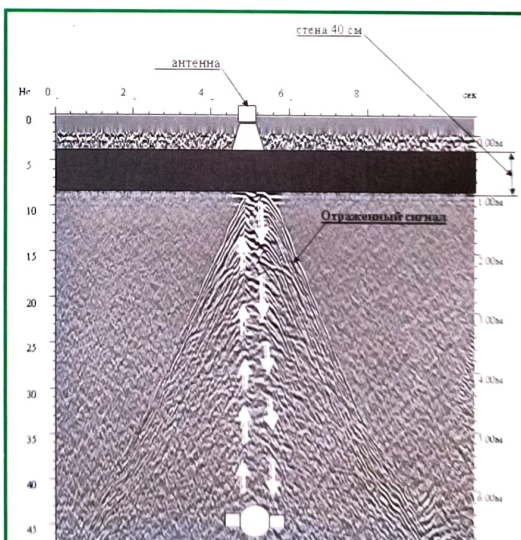


Рис.7. Радарограмма с рупорной антенной.

Литература

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В., «Введение в георадиолокацию» учебное пособие - М. Издательство МГУ, 2004
2. Семейкин Н.П., Помозов В.В., Дудник А.В. «Некоторые результаты применения георадара «ОКО», Тез. Доклада, 4-я международная научно-практическая конференция «Георадар-2004».
3. Бугаев А.С. и др. «Обнаружение и дистанционная диагностика состояния людей за препятствиями с помощью РЛС». Радиотехника, 2003 г., №7.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ