

# ПОРТАТИВНЫЙ ГЕОЛОКАТОР ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Генрик Аленкович, Борис Левитас, Александр Минин

Описаны методы разработки аппаратуры для подземных исследований.

**В** последнее время активно развиваются радиолокационные методы подповерхностного зондирования. Они применяются при решении таких задач, как измерение толщины и определение местоположения подповерхностных слоев, локализация канализационных труб и подземных коммуникаций, контроль за состоянием полотна дорог и др. Происходит постоянное совершенствование приборов с целью повышения достоверности информации об исследуемых объектах.

Фирмой Geozondas разработан импульсный переносной портативный геолокатор с разрешающей способностью 0,15 м. Имеются две модификации прибора для диапазонов глубин 0-1,5 м и 0-5 м соответственно.

На структурной схеме (рис. 1) изображены основные узлы и части прибора, работающие по принципу классической локации.

Для обеспечения надежной работы в жестких условиях эксплуатации применен контроллер фирмы Otagon (плата 7000), позволяющий оперативно обрабатывать собираемые массивы информации.

ЭлектрOLUMИнесцентный индикатор EL 320×256 фирмы Planar, управляемый видеоконтроллером 7430 фирмы Otagon, позволяет осуществить выбор режимов функционирования и подготовку прибора к работе.

Задание параметров и управление прибором оператор выполняет с помощью защищенной 16-кнопочной клавиатуры.

Используемая в приборе процессорная плата имеет встроенную флэш-память, которая легко перепрограммируется с помощью любого IBM PC совместимого компьютера, что позволяет менять заложенные в локатор алгоритмы с целью его адаптации для решения конкретной задачи.

мых при исследовании объектов сигналов, их хранения, систематизации.

В приборе используются передающие антенны, характеристики которых подобраны в зависимости от диапазона исследуемых глубин и согласованы с параметрами генераторов зондирующих импульсов. Амплитуда импульсов составляет 50 В, что позволяет улучшить энергетические характеристики и повысить разрешающую способность геолокатора. Для диапазона глубин 0-1,5 м используются антенны, центральная частота которых равна 400 МГц и 1 ГГц, а для диапазона глубин 0-5 м – антенны, центральная частота которых равна 150 МГц. Передающая антенна, возбуждаемая генератором импульсов, излучает электромагнитный импульс, длительность которого определяется полосой пропускания антенны. Для антенн диапазона глубин 0-1,5 м длительность равна 2,5 нс (центральная частота 400 МГц) и 1 нс (центральная частота 1 ГГц), а для антенн диапазона глубин 0-5 м длительность равна 6 нс. Отраженные от подповерхностных струк-

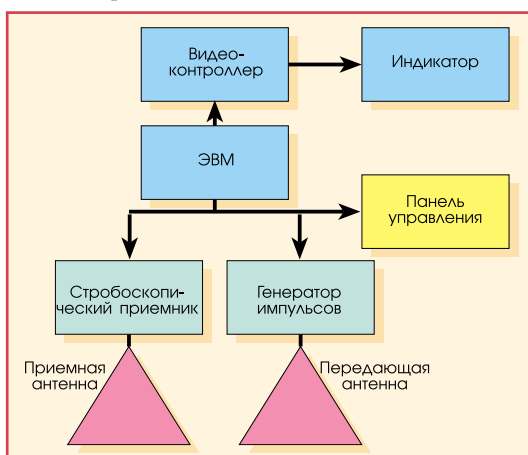


Рис. 1. Структурная схема прибора

Имеется возможность работы геолокатора с внешней ЭВМ типа IBM PC по интерфейсу RS-232, что позволяет использовать ее ресурсы для сложных обработок собирае-

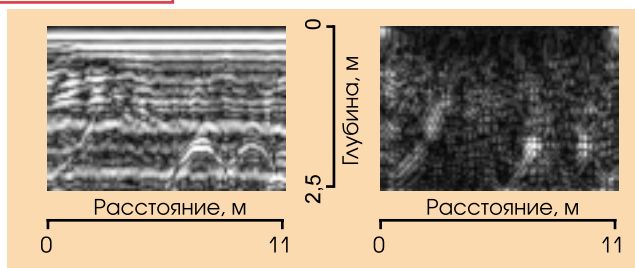


Рис. 2. Изображение профиля



Рис. 3. Работа с георадаром на малых глубинах

тур сигналы регистрируются затем приемной антенной.

В указанном приборе используется малошумящий стробоскопический преобразователь, у которого среднеквадратичное значение собственных шумов не превышает значения 0,2 мВ. Наряду с высокой частотой стробирования (100 кГц), позволяющей проводить накопление вводимых сигналов с целью уменьшения дисперсии шума, это дает возможность более эффективно выделять сигнал от отражающего объекта на фоне шума.

Заложены многочисленные алгоритмы, повышающие удобство управления прибором, а также позволяющие проводить различные обработки принимаемых сигналов. Автоматическое определение диэлектрической проницаемости приповерхностного слоя земли дает возможность разметки шкалы глубин. Выбор закона изменения усиления и его параметров позволяет компенсиро-



Рис. 4. Исследование коммуникаций на нефтеперерабатывающем предприятии

вать затухание зондирующего сигнала с глубиной.

Для построения изображения подповерхностного профиля используются режимы поиска объектов и сканирования. При этом передающая и приемная антенны перемещаются вдоль обозначаемых на поверхности профилей и происходит непрерывная регистрация отраженных сигналов. Для разметки горизонтальной шкалы на профиле проставляются точки с известными взаимными расстояниями, и при перемещении антенн вдоль профиля эти точки отмечаются на рисунке вертикальной линией. На основе собранных сигналов получается временной профиль, на котором ось глубин калибрована в единицах времени. Различные значения коэффициента отражения соответствуют различным значениям градаций яркости на индикаторе или



Рис. 5. Исследование городских коммуникаций

бумаге. На основе диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  рассчитывается шкала глубин, с помощью которой можно определить глубину каждой отражающей границы.

## Немного теории

При обработке сигналов с целью построения глубинного профиля возникает проблема выделения полезных сигналов на фоне шума и помех. Для решения этой проблемы используются различные методы. Постоянный по времени отраженный от поверхности земли сигнал подавляется, используя следующий алгоритм:

$$y'_i(n) = y_i(n) - a_i(n), \quad (1)$$

$$\text{где } a_i(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=N/2}^{i+N/2-1} y_k(n) \quad (2)$$

Здесь  $y_i(n)$  — значение сигнала, принятого антенной, находящейся в точке, задаваемой индексом  $i$ , с глубины, задаваемой индексом  $n$ .

С целью повышения разрешающей способности в горизонтальном направлении применяется обработка, использующая метод синтезированной апертуры. Учитывая, что на приемную антенну поступают сигналы не только от объектов, находящихся под ней, но и смещенных в горизонтальном направлении, а также учитывая диаграмму направленности антенны, можно получить следующую формулу для принятого сигнала:

$$P'(x_i, z_j) = \sum_{m=-M}^M D_m P(x_{i+m}, z_m), \quad (3)$$

где  $x_i, z_j$  — координаты отражающего объекта,

$P(x_i, z_j)$  — отраженный объектом сигнал,  $P'(x_i, z_j)$  — рассчитанное значение сигнала,  $D_m$  — коэффициент, отражающий диаграмму направленности антенны,

$z_m = \sqrt{(x_{i+m} - x_i)^2 + z_j^2}$  — расстояние от точки с координатами  $(x_i, z_j)$  до антенн.

Для примера на рис. 2 показано изображение профиля, полученного с использованием обычной обработки (а) и с использованием дополнительных обработок (б) методом вычитания среднего по участку значения (1) и методом синтезированной апертуры (3). На профиле, представленном на рис. 2 б, значительно легче идентифицировать две трубы.

## Заключение

Геолокатор может быть использован для исследования приповерхностных слоев земли в строительстве, коммунальном хозяйстве, для обнаружения пластмассовых мин (что невозможно с помощью обычных миноискателей), при строительстве и эксплуатации железных дорог, обнаружении и определении размеров залежей полезных ископаемых, исследовании толщины и состояния ледяных покровов, поиске грунтовых вод и т. п. Работа с геолокатором представлена на рис. 3 - 6. ●



Рис. 6. Полный комплект георадара