

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ВИДЕОИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

В последние 40 лет интенсивно развиваются радиоволновые методы дистанционного контроля и диагностики диэлектрических полупроводящих сред и строительных конструкций. Системы подповерхностного зондирования (СПЗ), реализующие эти методы, обычно используют радиоволны диапазонов ОВЧ (частоты от 30 до 300 МГц, длины волн от 10 до 1 м), УВЧ (от 300 до 3000 МГц, от 1 до 0,1 м) и СВЧ (от 3 до 30 ГГц, от 0,1 до 0,001 м).

Цель применения СПЗ состоит в дистанционном обнаружении, определении координат, визуализации подповерхностных объектов естественного и искусственного происхождения, а также в выявлении их структурных и физических свойств.

Целесообразность применения радиоволновых СПЗ обуславливается тем, что выявление подповерхностных объектов обеспечивается оперативно и без нарушения зондируемой среды (неинвазивно). Радиоволновые методы находят применение на практике при решении следующих задач:

- локализация канализационных труб и коммуникационных сетей;
- измерение толщины и оценка состояния ледовых покровов;
- контроль за состоянием полотна дорог, взлетно-посадочных полос;
- картографирование подповерхностной среды с целью определения структурных и электрофизических характеристик;
- разведка полезных ископаемых;
- поиск захороненных органических тел;
- выявление мин и неразорвавшихся снарядов в различных средах;
- исследование дна озер, рек, приповерхностных слоев водоемов, а также для решения многих других задач.

Обнаружение, распознавание, идентификация объектов осуществляется по результатам обработки данных зондирования диэлектрических полупроводящих сред видеоимпульсным сигналом (в идеальном случае один период колебания электромагнитного колебания). Эффективность работы СПЗ существенно зависит от правильного выбора параметров сигнала и методов его обработки, определяемых электрическими характеристиками грунта, местоположением, материалом, формой и размером обнаруживаемых объектов.

Применение традиционных систем «атмосферной» радиолокации непригодно в подповерхностном зондировании из-за существенных различий показателей (примерно на четыре и более порядков) по:

- дальностям зондирования (у атмосферных локаторов она составляет единицы и сотни километров, в то время как у СПЗ - несколько десятков метров);
- величинам ослабления сигнала при распространении в средах (доли дБ/км в атмосфере и от единиц до десятков дБ/км в грунте);
- размерами обнаруживаемых атмосферными локаторами объектов - самолетов, кораблей и т.д., в сотни и тысячи раз превышающие размеры объектов, выявляемых СПЗ в грунте - труб, кабелей, пустот и пр.;
- скоростям распространения (длина волны излучения в грунте в несколько раз меньше, чем в атмосфере при одинаковой частоте).

В отличие от прохождения в атмосфере в грунте электромагнитные сигналы претерпевают существенные дисперсионные искажения из-за частотной зависимости скорости распространения (показателя преломления) в грунте и изменчивости его профиля с глубиной при значительно большей широкополосности СПЗ (более чем на два порядка). Пространственные вариации диэлектрической проницаемости грунта более значительны,

чем в атмосфере. Нерегулярные неоднородности грунта приводят к сильному рассеянию сигнала и, следовательно, к высокому уровню помех на входе приемной антенны. Удовлетворительных результатов с применением «атмосферных» локаторов удалось добиться лишь при изучении ледниковых и снежных покровов в полярных районах.

Подповерхностные радиолокаторы должны соответствовать взаимно исключаящим требованиям при выборе длины волны. Для минимальных энергетических потерь при распространении в грунте необходимо использовать низкочастотный, а для обеспечения предельной разрешающей способности при зондировании объектов с размерами порядка длины волны - высокочастотный диапазон с должной полосой частот. Обычно частотный спектр зондирующего сигнала выбирают в пределах участков с минимальным удельным ослаблением в грунте.

Переход из сантиметрового и дециметрового диапазонов в метровый и декаметровый не решает проблему разрешения по дальности. Удовлетворить необходимые требования удается с использованием сверхширокополосных радиосигналов, например, предельно коротких радиоимпульсов в виде однопериодной волны (моноимпульса) длительностью в единицы наносекунд. Для формирования таких импульсов эффективным оказалось предложенное Дж. Куком возбуждение антенны перепадом напряжения, которое в дальнейшем было названо ударным (методом) возбуждением антенны. Фактически речь идет об электромагнитном аналоге сейсмического метода. Такой способ был предложен в 1937 г., однако практическая реализация видеоимпульсного радиолокатора была осуществлена гораздо позже. Для создания СПЗ могут быть использованы и непрерывные сигналы с модуляцией частоты, например по пилообразному закону или ступенчатому закону с девиацией частоты до сотен мегагерц. Однако из-за некоторых возникающих технических и алгоритмических проблем эти сигналы не нашли достаточно широкого применения.

Реализация видеоимпульсного метода подповерхностного зондирования сдерживалась на начальном этапе рядом имевших место проблем, снижавших эффективность использования СПЗ. К таким проблемам можно отнести низкую угловую и по дальности разрешающую способность СПЗ, сложность различения объектов на фоне помех из-за наличия случайных неоднородностей подповерхностной среды и т.д.. Технические достижения последних лет и новые подходы в цифровой обработке сигналов на основе использования мощной компьютерной техники позволили решить ряд проблем, присущих СПЗ.

Для уменьшения уровня просачивающихся сигналов применяют разнесенный прием или прием по ортогональным поляризациям, а для подавления рассеянных поверхностью покрова сигналов используют фильтрующие и фокусирующие свойства антенн с дополнительными отражателями, а также пространственную фильтрацию рассеянных сигналов по различию показателей преломления сред. Для повышения угловой разрешающей способности широко применяются фокусировка антенн, апертурный синтез при перемещении приемной антенны, а также голографические методы с компьютерной обработкой принятых сигналов практически в реальном масштабе времени. С применением корреляционной и корреляционно-спектральной обработки рассеянных и шумовых сигналов удается существенно повысить отношение сигнал\помеха и пространственное разрешение, получить качественные псевдоцветовые двухмерные и трехмерные изображения зондируемой среды.

Несмотря на указанные выше трудности в развитии технических средств подповерхностного зондирования к настоящему времени известен ряд успешных реализаций СПЗ, нашедших широкое практическое применение.

Наибольшее распространение в подповерхностной радиолокации получили СПЗ с импульсными радиосигналами. На рис. 1 представлена структурная схема импульсного подповерхностного радиолокатора, включающая передатчик с излучаемой антенной (ПА),

формирующий зондирующий сигнал в виде последовательности импульсов, приемник с приемной антенной (ПРА) и устройство обработки информации (дисплей, персональный компьютер). Управление всеми устройствами обеспечивается синхронизатором, выполненным в виде микропроцессорного блока.

Antennas set GEOZONDAS

Parameters	GZIA	GZ3A	GZ5A	GZ7A
1. Penetration depth Range	(0-0,15)m	(0,1-3,0)m	(0,3-5,0)m	(0-0,5)m
2. Resolution	(0,1-0,15)m	(0,1-0,3)m	0,2-0,5)m	(0,02-0,05)m
3. Central Frequency	1000MHz	400MHz	150MHz	4000MHz
4. Dimentions, cm	(50x35x20)	(100x60x30)	(145x80x30)	(30x20x15)
5. Weight	4kg	15kg	20kg	3kg
6. Amplitude impules	50B	50B	50B	50B

Параметры системного блока GEOZONDAS

Sampling frequency (0,1-1,0)MHZ Consumption current ($E_{ac}=12B$) 2,5A
 Weight (without accumulators and antennas) 7kg
 Operation temperature range (-20 - +45)C
 Dimentions of main unit (22x10x290)Cm

Параметры георадара фирмы «Логические системы»

N Наименование параметра	Антенны боль- шой глубины	Антенны сред- ней глубины	Антенны малой глубины
1. Глубина зондирования,	5 – 10	2-4	0,7 – 1,5
2. Разрешающая способность,м			
3. Длительность импульса, нс	0,3	0,1	0.03 – 0,05
4.Средняя частота спектра,МГц	5 – 6	2,0	0,1
5. Амплитуда импульсов на входе передающей антенны,В	250	700	1300
6. Масса с аккумуля.батареей, кг	400 - 500	300 – 500	30
7. Частота след-ния им-сов, кГц			
8. Объем памяти ОЗУ Мбайт	18	11	9
9. Напряжение питания, В			
10. Потребляемая мощность,Вт	20	20	20
	2- 250	2- 250	2- 250
	12	12	12
	~ 15	~15	~12

1. Имеется перепрограммируемая ФЛЭШ память для программы функционирования
- 2.Интерфейс связи R-232 для связи с внешней ЭВМ;
- 3.Пакет пользовательских программ.

Параметры геолокаторов фирмы GSSI

Параметры	Sictem-2 SIR-2000	Sistem-10B 2 антенны	Sistem-10H 4-антенны	CD-10A 1-антенна	SIR-2000
1. Глубина зондир	Десятки м	До 30м	До 30м	До 30м	Десятки м
2. Разрешение по глубине	От См до м	10 ps	10 ps	10 ps	От См до м
3. Временной диапозон шкалы, нс	От 5 до 2000	от 0 до 10 000	от 0 до 10 000	от 0 до 10 000	От 5 до 10000
4. Диап.усиле., dB	100	-20 до 120	-20 до 120	-20 до 120	От 5 до 100
5. Скорость поступления инфор.	от 2 до 64 scan/rate	от 2 до 220 scan/rate	от 2 до 220 scan/rate	от 2 до 220 scan/rate	от 2 до 128 scan/rate
6. Потребляемая мощность Еп=12	36 Вт	200 Вт	200 Вт	200 Вт	36 Вт
7. Диапозон температур, С \град	от 0 до 40	от -10 до 40	от -10 до 40	от -10 до 40	от -10 до 40
8. Влажность относительная, %	<90	<90	<90	<90	36 Вт
9. Хранение данных стандарт.	400МВ	1,3 GB Винчестер	1,3 GB Винчестер	1,3 GB Винчестер	от -10 до 40
10. Дополни-ные устройства JAS Drive	-	>1GB	>1GB	>1GB	<90
ZIP Cartridze	-	>100МВ	>100МВ	>100МВ	1,3GB
11. Системный диапазон, дБ	140	160	160	160	-
12. Дин.диапозон врем.рег.усилен.	120	150	150	150	>1GB
13. Тактовая частота DSP	24МГц	38,5 МГц	38,5 МГц	38,5 МГц	>100МВ
14. Программируемое врем. Окно	2-5000 нс	2-10000 нс	2-10000 нс	2-10000 нс	140
15. Массо-габаритные показатели	29x27x14 См, 6кГ	44x38x18 См, 18кГ	44x38x18 См, 18кГ	30x29x21 См, 12,5кГ	120
16. Антенны	Все модели	15 моделей	15 моделей	15 моделей	24МГц
Антенны	Модель 3200 Bistat.	Модель 5103сов.ди	Модель 5106сов.ди	Модель 3207 Bistat.	2-5000 нс
Center frequency	80,40,35,20	400 МГц	200 МГц	100 МГц	29x27x14 См, 6кГ
Pulse width	12,25,30,50	2,5нс до3м	5нс до 9м	10нс до30м	Все модели
Dimensions, См	(1,2-3,0)м	30x30x17	60x60x30	25x90x200	
Weigth	(22,0-40)кГ	5 кГ	20.5 кГ	28кГ	
					1500МГц
					1нс до 0,5м
					3,8x10x16
					1,8кГ

Програмное обеспечение – пакет пользовательский программ (Radan for Windows, RADACT, 3Dmodules)