РАДИОЛОКАЦИОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩИХ СРЕД

А.С.Карауш, Р.В. Потемин, В.Е.Семенчук, С.П.Лукьянов, В.Н Ильюшенко

г. Томск, пр. Ленина, 40, Томский университет систем управления и радиоэлектроники
тел. (3822)-41-36-39
E-mail: ask@mibs.tsu.ru

Рассмотрены вопросы создания и применения аппаратуры для дистанционного контроля подстилающих сред. Выработаны требования к параметрам зондирующих сигналов. Предложен алгоритм функционирования подповерхностной РЛС, измеряющей параметры поляризационной матрицы рассеивания среды (грунта). Приведены рекомендации по построению приемо-передающей антенной системы. Рассмотрены функциональные возможности поляризационной РЛС и возможные области их применения.

Одной из важных проблемам мониторинга окружающей среды является изучение свойств почвогрунтов, подверженных эрозии, загрязнению промышленными отходами, техногенному воздействию, например мелиорацией, приводящей к увеличению уровня засоленности.

Оперативный неразрушающий контроль возможен при использовании радиофизических дистанционных методов, позволяющих получать информацию с больших площадей почвогрунтов. В настоящее время интенсивно развиваются методы сверхширокополосного подповерхностного зондирования, контролируемыми параметрами при этом являются диэлектрическая проницаемость почвогрунтов (ε) и тангенс диэлектрических потерь ($\mathrm{tg}\ \delta$), зависящие от влажности, засоленности, температуры и других факторов. Величина ε может быть использована для определения толщины слоев, а величина $\mathrm{tg}\ \delta$ - для определения уровня засоленности почвогрунтов. При этом наблюдается существенное изменение величины $\mathrm{tg}\ \delta$ почвогрунтов в частотном диапазоне в зависимости от уровня их загрязненности.

Радиолокационные системы дистанционного контроля, использующие сверхширокополосные (СШП) зондирующие сигналы, с реализацией векторного анализа структуры рассеянной волны, дают возможность получать высокоинформативные данные о контролируемой среде. Постановка задачи для таких систем определяется операторным уравнением [1]:

$$\mathbf{Az} = \mathbf{u}\,, \tag{1}$$

где z - искомые количественные характеристики среды, u - косвенная информация об этих характеристиках, полученная посредством инструментальных измерений, которые описываются оператором A.

Получение радиолокационного изображения контролируемой среды включает в себя следующие этапы:

1) определение инструментального оператора A;
2) численное решение уравнения (1);
3) визуализацию результатов реконструкции [1].

На рис. 1 представлена схема, реализующая способ радиолокационного дистанционного контроля состояния среды.

Для аппаратурной реализации вышеописанного способа был разработан сверхширокополосный георадиолокатор. В качестве зондирующих импульсов использованы видеоимпульсы наносекундной длительности. Георадиолокатор имеет два независимых канала на излучение и приём, функционально состоит из трех самостоятельных частей:

передающей части, приемной части и блока микропроцессорного управления. Двухканальность аппаратуры позволяет применять алгоритмы определения поляризационных параметров матрицы рассеяния, что значительно повышает информативность, разрешающую способность, помехоустойчивость проводимого контроля.

Передающий тракт выполнен в виде единой конструкции и включает в себя: генератор импульсов [7], излучающую антенну и контроллер управления режимами работы системы. Генератор видеоимпульсов позволяет формировать видеоимпульсы амплитудой (40…200) В на нагрузке 10 Ом, длительностью от 0.5 до 5 наносекунд и частотой повторения 100 кГц. Такие параметры генератора позволяют производить контроль состояния среды на глубину до сотен метров, в сухом однородном грунте и во льду.

Приёмный двухканальный тракт состоит из приёмной антенны и стробоскопического приёмника с программно-управляемым аттенюатором. Управление коэффициентом передачи осуществляется с шагом 6 Дб в диапазоне 60 Дб, коэффициент усиления в полосе частот (100…2000) Мгц составляет 66 Дб. Блок микропроцессорного управления расположен в приёмнике и обеспечивает: управление режимами работы приёмника, диагностику приёмника, сбор и подготовку данных, предварительную обработку информации, передачу результатов работы по каналу связи в центральное устройство обработки.

Центральное устройство обработки выполнено на базе компьютера типа "Note book". Оно обеспечивает управление, ввод и обработку данных, а также отображение информации и ее запись на носители. Разработаны программные средства, позволяющие интерпретировать данные о контролируемых параметрах среды и обнаруживаемых подповерхностных объектах.

Определяющее влияние на результаты диагностики среди множества факторов оказывают влажность, температура и пористость зондируемой среды. Учет этих факторов связан с решением на ЭВМ тепловлажностной и электродинамической пространственно-временных задач [2], [3].

В основу построения аппаратуры положен модульный принцип, позволяющий создать систему дистанционного контроля любой конфигурации и обеспечить требуемые технические характеристики, как по частотному диапазону, так и по форме зондирующего импульса (Рис. 2).

Подходы к выбору как излучающих, так и принимающих антенн, предназначенных для работы со сверхширокополосными сигналами, состоят в том, что анализируются параметры известных антенн, созданные для работы с монохроматическими сигналами, и характеризующиеся достаточно большой широкополосностью, и в результате выбирается антенна, способная наиболее полно удовлетворить заданным требованиям. Для работы в системах дистанционного контроля подповерхностных сред находят применение сигналы с прямоугольной, треугольной, трапецеидальной, колоколообразной формами, и длительностью $10^{-11}...10^{-8}$ с.

Подповерхностная радиолокация имеет специфические отличия от традиционных применений радиолокации для наблюдения за объектами. Передающая и приемная антенны радиолокационной аппаратуры дистанционного контроля находятся в среде с параметрами отличными от тех, где находится предмет наблюдения. Причем эти среды имеют существенное по сравнению с воздухом затухание. Так влажная глина дает затухание сигнала на частоте 1 ГГц около 100 Дб/м. Эти обстоятельства оказывают основное влияние на дальность действия радиолокатора.

Основным вопросом, решаемым в процессе синтеза и изготовления антенн, является согласование их со средой, в которую происходит излучение сигнала. Реальное сопротивление среды в системах подповерхностной радиолокации в зависимости от влажности, содержания солей и минералов составляет от 150 до 240 Ом (резистивная составляющая).

Результат визуализации данных, полученных при зондировании подповерхносных сред, показан на рис. 3.

Созданный комплекс аппаратуры также может быть использован для обнаружения и идентификации объектов в различных подповерхностных средах, в том числе в воде и в строительных конструкциях:

- контроль и диагностика состояния строительных конструкций, взлетно-посадочных полос, дорожных покрытий, геологических объектов;
- обнаружение и картирование участков утечки жидких компонентов из подземных трубопроводов, разведка подземных коммуникационных сетей (трубопроводов, кабелей), пустот, проходов и т.д.;
- обнаружение малоконтрастных объектов и закладок определенного класса в неметаллических контейнерах, почвогрунтах и строительных изделиях;
- проведение археологических исследований;
- проведение поисковых работ при чрезвычайных ситуациях;
- проведение геологических изысканий

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянов С.П., Семенчук В.Е., Карауш А.С., Потемин Р.В. Реконструктивная интерпретация данных подповерхностного зондирования/ Материалы IV международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь», Воронеж: 1998
2. Загоскин В.В., Лукьянов С.П., Семенчук В.Е., Карауш А.С., Потемин Р.В. Радиоволновые параметры подстилающих сред в диапазоне частот зондирования сверхширокополосного радиолокатора/ Материалы международного симпозиума «Сибконверс-99», ТУСУР, Томск.: 1999
3. Загоскин В.В., Лукьянов С.П., Семенчук В.Е., Ильюшенко В.Н., Карауш А.С., Потемин Р.В. Повышение информативности радиолокационного зондирования сверхширокополосными радиоимпульсами с учетом моделирования подповерхностной среды при воздействии реальных климатических факторов/ Материалы международного симпозиума «Сибконверс-99», ТУСУР, Томск.: 1999
4. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. - М.: Недра, 1986. - 128 с.
5. Строителев В.Г. // Зарубежная радиоэлектроника. - 1991. - № 1. - С. 95.
6. Астанин Л.Ю., Костылев А.А. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. - М.: Радио и связь, 1989. - 192 с.
7. Карауш А.С., Лукьянов С.П. Генератор наносекундных импульсов на GaAs диоде / Материалы международного симпозиума «Сибконверс-97», ТУСУР, 1997.

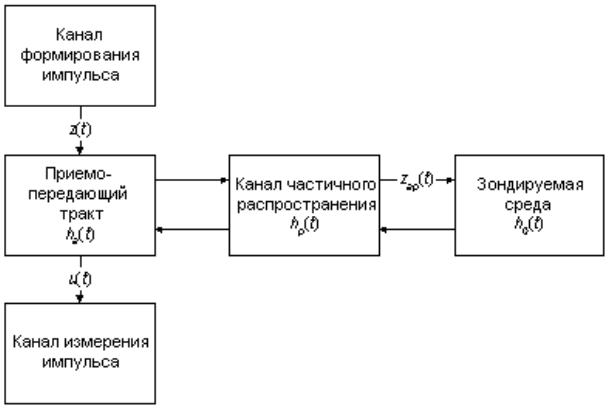

Рис. 1. Схема, реализующая способ радиолокационного дистанционного контроля состояния среды.

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ ГЕОРАДИОЛОКАТОР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СРЕД.

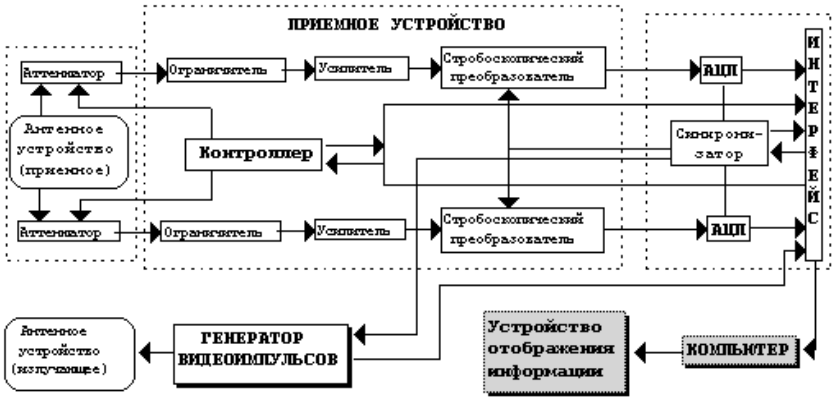

Рис. 2.

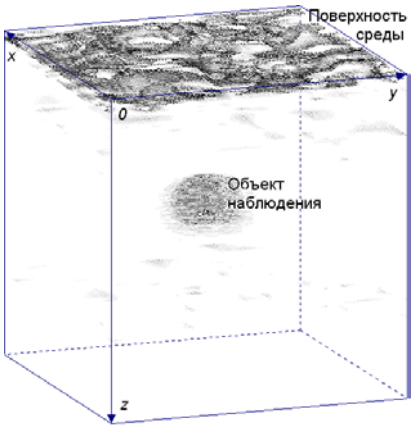

Рис. 3 Вид пластмассового зондируемого объекта круглой формы (глубина 1 м.)