

# АНАЛИЗ РАДАРОГРАММ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ГЕОРАДАРА НА МИШЕНЯХ В ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

К. Т. Искаков<sup>1</sup>, С. А. Боранбаев<sup>1</sup>, А. Т. Кусаинова<sup>1</sup>, О. К. Туенбаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, 010008, Астана

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, 050040, Алматы

УДК 550.8

В работе представлены результаты проведения тестовых экспериментов с опытным георадаром [1] для определения максимальной глубины зондирования и разрешающей способности при различных частотах зондирующего импульса на искусственных мишенях в лабораторных условиях [2]. Проведена диагностика глубины зондирования опытного образца георадара на основе известных инженерно-технических приемов [3].

**Ключевые слова:** георадиолокационные исследования, георадар, опытный образец георадара, зондирование.

## 1 Основные узлы опытного образца георадара

На основе разработанного технического задания для опытного образца георадиолокационной системы, получены технические характеристики этой системы. Основные узлы прибора: блок передатчика; блок приемника; блок формирования временных интервалов; блока питания. Проектирование и моделирование принципиальных схем компонентов опытного образца георадара осуществлялось с помощью комплексной системы проектирования высокоскоростных электронных устройств Altium Designer /1/. Используются современные технологии, способные излучать электромагнитные сигналы в среду обследования, принимать и записывать отраженные электромагнитные сигналы, затем строить радарограмму на основе отраженных электромагнитных сигналов. Комплект оборудования интегрирует в себе основные узлы: блок передатчика; блок приемника; блок формирования временных интервалов; блока питания, а также соответствующие программные обеспечения для обработки георадарных данных. Геофизические измерения позволяют определить физические характеристики слоев грунта и сделать выводы об их строении и структуре материала с поверхности земли или воды. В ходе реализации технического задания проводились лабораторные исследования основных узлов георадара. Были созданы собственные экспериментальные образцы основных узлов георадара: блока передатчика; блока приемника; блока формирования временных интервалов; блока питания. Апробированы различные конструктивные решения формирования зондирующего импульса передатчика. Радиолокационный прибор подповерхностного зондирования предназначен для геофизических измерений, позволяющих определить физические характеристики слоев грунта, формировать и передавать зондирующие импульсы и интерпретировать полученные отраженные/поглощенные сигналы. Состав измерителя: блок формирования временных интервалов (БФВИ); блок формирования зондирующих импульсов (БФЗИ); блок приемника (БСП); аналого-цифровой преобразователь (АЦП); блок питания (БП). Управление измерителя осуществляется от ЭВМ. Структурная схема измерителя представлена на рисунке 1.

Георадиолокационная система состоит из следующих узлов: блока передатчика; блока приемника; блока формирования временных интервалов; блока питания. На рисунках 2–3 представлены основные узлы прибора.

*Опишем этапы формирования сигнала.* Импульс формируется на интервале порядка одной наносекунды. Из них порядка 0,6 нс занимает сам импульс (1,0), т.е. излучается импульс порядка 2 МГц, затем сброс —

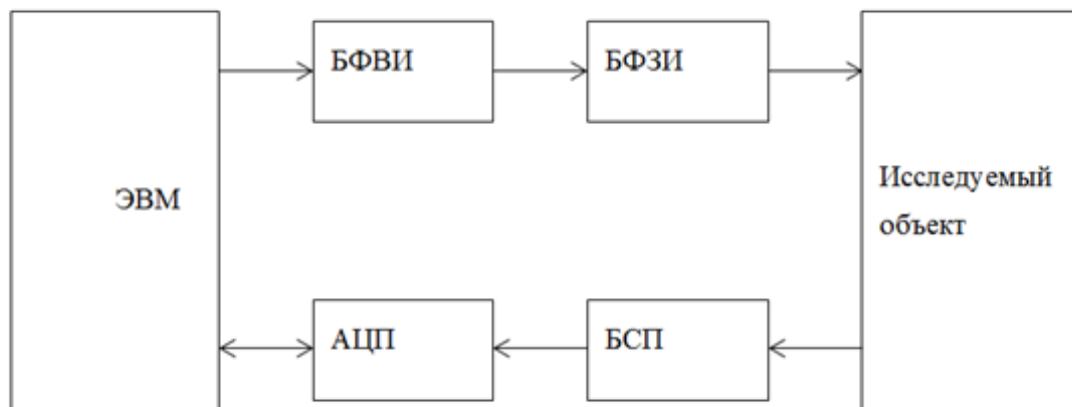


Рис. 1: Структурная схема измерителя

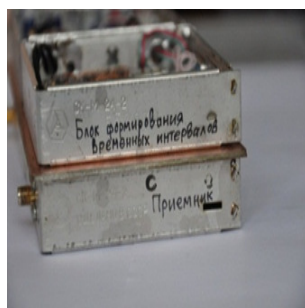


Рис. 2: Основные узлы прибора (вид с торца)

Reset, затем — Start. Перед стартом выставляется Busy, сигнал занятости. За время Busy проводится 16 импульсов с частотой 2 МГц. Между временем на Busy и новым стартом есть интервал времени для записи на АЦП.

*Опишем блок формирования временных интервалов.* Тактовая частота 100 МГц. Первый интервал (временной) — 10 НС. Этот интервал делится на 256 частей, т.е. переход от точки к точке по времени с шагом 0,039 НС. Аппаратно установлен таймер отсчета на сдвиг по шагу. Счетчик таймера сдвига на новый интервал с длиной 10 НС, выполняется автоматически. Максимально количество интервалов с тактовой частотой 100 МГц составляет 15 единиц. Время пробега сигнала (по воздуху, где диэлектрическая проницаемость) составляет — 3 метра с возвратом. Т.е. мощность глубины измерения по воздуху с тактовой частотой 100 МГц составляет 45 метров с возвратом сигнала. В зависимости от диэлектрической проницаемости сред, это величина измениться в сторону уменьшения.

На рисунке 4 представлен результат тестового эксперимента функционирования георадиолокационной системы. Перед антеннами выставлена металлическая поверхность. Справа отчетливо видно изменение сигнала от границы перехода (изменения диэлектрической проницаемости воздух-металлическая пластина). Аналогичный эксперимент приведен на рисунке 5, но с другим объектом - деревянная дощечка. Также изменилась радарограмма на границе раздела сред — воздух-деревянная дощечка.

Проведены тестовые эксперименты с опытным георадаром для определения максимальной глубины зондирования и разрешающей способности при различных частотах зондирующего импульса. Для обработки сигнала использовался цифровой осциллограф с USB входом ZET 302 (20 Мгц), на рисунке 6 представлен полученный результат.



Рис. 3: Принимающая антенна и передающая антенна (фрагмент слева), Полная комплектация основных узлов прибора (фрагмент справа)



Рис. 4: Перед антеннами установлена металлическая отражающая поверхность (фрагмент рисунка — слева). Фрагмент справа — радарограмма

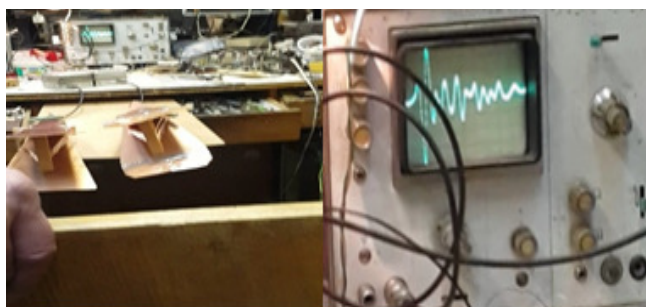


Рис. 5: Перед антеннами установлена деревянная поверхность (фрагмент рисунка — слева). Фрагмент справа — радарограмма.

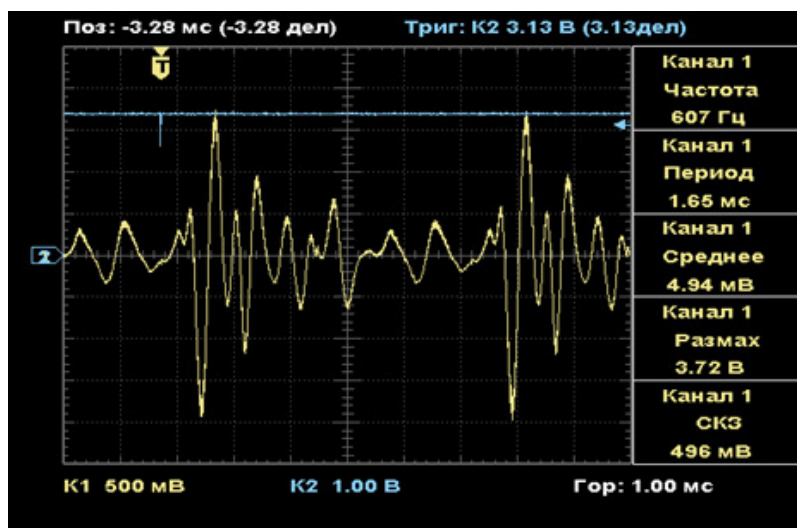


Рис. 6: Результат полученный с помощью цифрового осциллографа

## 2 Лабораторный эксперимент с опытным образцом георадара

Для проведения тестовых экспериментов с опытным образцом георадара, для определения глубины залегания объектов, в лабораторных условиях был смоделирован макет котлована с различными объектами (мишенями). Аквариум с размерами: длина — 40 см., ширина — 25 см., высота — 35 см. На дно аквариума засыпан песок, т.е имитация подстилающая слоя с шириной — 7 см, затем на этот слой помещены три объекта: труба металлическая, труба пластмассовая, фрагмент костных отложений, представленные на



Рис. 7: Подстилающий слой и объекты



Рис. 8: Прибор в полной комплектации

рисунке 7.

Затем «искусственный котлован» засыпан полностью песком. Глубина залегания первого объекта составляет 21 см, глубина залегания второго объекта составляет 19 см, и наконец глубина залегания третьего объекта — 20 см. Расстояние между первым и вторым объектом — 6,5 см, а расстояние между вторым и третьим объектом составляет — 8,8 см.

На рисунке 8, представлен опытный образец георадара в рабочем состоянии.

Передающая и приемная антенна (см. колокола сверху), расположены по осевой симметрии, перпендикулярной расположению объектов.

### 3 Экспериментальных объектов на учебно-лабораторном полигоне

В рамках научного проекта был исследован учебный лабораторный полигон, находящейся в 76 км. от города Астаны в северо-западном направлении. Подобные экспериментальные исследования были проведены и изучены в статье [4], в которой на основе интерпретации радарограмм, полученных с помощью прибора «Зонд-12» были установлены приближенные позиции (по глубине залегания) искусственных «мишеней»: пенка руды, бочка металлическая. Для устранения этих погрешностей различные мишени были помещены в котлован удовлетворяющим следующим требованиям: размеры объектов в четыре раза меньше длины котлована; в два раза меньше ширины котлована, а также по глубине залегания порядка 1,5 раза.

Точная схема размеров котлована приведена на рисунке 9.

Известен факт, что в суглинке сигналы от георадиолокационных систем затухают, либо вовсе теряются, в связи с этим дно котлована засыпано песчаной средой. В котлован имеющую уже песчаную подошву размещены реальные: «Канализационные пластиковые трубы»; «Металлическая труба»; «Фрагменты костных отложений», представленные на рисунке 10.



Рис. 9: Котлован (745/245/190). Почва стенок и днище-суглинка



Рис. 10: Мишени, на днище котлована

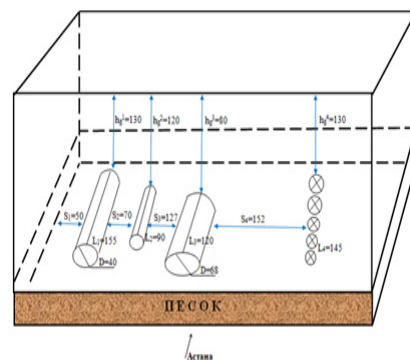


Рис. 11: Реальные параметры расположения объектов

Ниже на рисунке 11, представлены реальные размеры мишени, а также их расположение по глубине, ширине, а также по длине относительно реальных размеров котлована.

Котлован вместе с расположенными объектами, указанных выше, был засыпан песком, и выровнен с поверхностью земляного покрова.

## Список литературы

- [1] Исаков К.Т., Боранбаев С.А., Туенбаев О., Грамыка А., Узаккызы Н. Технические характеристики и основные компоненты опытного образца георадиолокационной системы // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. — 2016. — №6.
- [2] Исаков К.Т., Кусаинова А.Т., Научно-технические основы систем георадиолокации // Материалы международной научной конференции «Информатика и прикладная математика», посвященной 25-летию Независимости Республики Казахстан и 25-летию Института информационных и вычислительных технологий. 21–24 сентября 2016. — г. Алматы 2016. — С. 269–275.
- [3] Турарова М.К., Пархоменко А.В., Оралбекова Ж.О., Жумажанов Б.Ж., Жунусов К.Д. Инженерно-технические приемы определения глубины зондирования опытного образца георадиолокационной системы // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. — 2016. — №6.
- [4] Исаков К.Т., Кусаинова А.Т., Турарова М.К. Экспериментальные исследования георадиолокационными методами. // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. — 2015. №6. —С. 124–128.

*Исаков Казизат Такуадиновна — д.ф.-м.н., профессор кафедры "Вычислительная техника  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева;  
e-mail: kazizat@mail.ru;*

*Боранбаев Самат Акишбаевич — старший преподаватель кафедры "Вычислительная техника  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева;  
e-mail: boranbaevsa@mail.ru;*

*Кусаинова Айнура Токлубековна — докторант Евразийского национального университета  
им. Л.Н. Гумилева;  
e-mail: ainurkussainova89@gmail.com;*

*Туенбаев Озат Кунаньянович — старший преподаватель Казахского национального  
университета им. Аль-Фараби;  
e-mail: ozatt@mail.ru.*

*Дата поступления — 31 мая 2017 г.*