

На правах рукописи

ПАНИН Григорий Леонидович

**РАЗРАБОТКА
АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА
ДЛЯ НАЗЕМНЫХ МАЛОГЛУБИННЫХ
ИНДУКЦИОННЫХ
ЧАСТОТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ**

25.00.10 — геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



НОВОСИБИРСК
2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте нефтегазовой геологии и геофизики им.
А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

кандидат технических наук

Манштейн Александр Константинович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Могилатов Владимир Сергеевич

кандидат технических наук

Михальцов Эдуард Григорьевич

Ведущая организация:

Институт геофизики УрО РАН (г. Екатеринбург)

Защита состоится **30 апреля 2010 г.** в 9:30 час. на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 при Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, в конференц-зале.

Адрес: пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090

Факс: (383) 333-25-13

Электронный адрес: NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН.

Автореферат разослан 22 марта 2010 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

канд. геол.-минерал. наук



Н.Н. Неведрова

Общая характеристика работы

Объект исследования - аппаратура индукционного частотного зондирования (ИЧЗ) электромагнитный сканер (ЭМС). Исследуется на **предмет** разработки аппаратной части и встраиваемого программного обеспечения с учетом оптимальности программного управления и помехозащищенности аппаратуры, реализующей метод индукционного частотного зондирования трехкатушечным зондом, предназначенной для картирования и построения распределения кажущегося удельного сопротивления верхней части разреза в реальном времени.

Актуальность. Современный этап развития геофизического приборостроения характеризуется появлением геофизической аппаратуры, построенной по принципу цифровой системы регистрации, накопления и предварительной обработки информации в реальном времени. Основным достоинством применения цифровых систем регистрации для целей получения первичной геофизической информации в аппаратуре является применение оптимального (помехоустойчивого) детектирования, которое обеспечивает регистрацию полезного сигнала от среды с минимальными искажениями.

Одним из существенных моментов при проектировании систем, измеряющих переменные электрические или магнитные поля, и, в частности, при проектировании цифровых систем регистрации является учет электромагнитной обстановки вблизи мест проведения предполагаемых работ. При этом, поскольку работы часто выполняются в условиях высоких помех от промышленных объектов, например ТЭЦ, ЛЭП и т.п., существует реальная проблема выделения полезного сигнала на фоне внеполосной помехи, которая может превосходить его в десятки или сотни раз.

В основу метода индукционного частотного зондирования положено использование искусственно создаваемых переменных электромагнитных полей, наводящих в земле вторичное электромагнитное поле последовательно на разных частотах. Источником поля является незаземленная изолированная петля, расположенная на поверхности земли. Поскольку измеряются составляющие вторичного поля, очевидно, что регистратор будет принимать как полезный сигнал, так и помехи.

Таким образом, **актуальность** разработки определяется необходимостью повышения информативности и производительности аппаратуры, которая бы позволяла достоверно выполнять индукционные частот-

ные зондирования в сильно зашумленных городских или промышленных условиях и отображать первичную информацию в реальном времени на основе разработки оптимального алгоритма управления аппаратурой и создания помехозащищенной системы измерений.

Цель исследований: повысить достоверность измерений и полноту извлечения информации о геоэлектрическом строении среды на малых глубинах, увеличить производительность аппаратуры индукционных частотных зондирований ЭМС за счет: использования параллельных измерений комплексных амплитуд тока в генераторе и ЭДС в приемнике; разработки аналогово-цифрового канала с синхронным детектором и применением сигма-дельта аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) в регистраторе аппаратуры ЭМС, а также за счет объединения аппаратуры в беспроводную сеть с терминалом на базе карманного компьютера

Задача исследования: разработать узкополосную помехозащищенную программно-аппаратную часть трехкатушечного зонда аппаратуры индукционных частотных зондирований, работоспособную в условиях высоких промышленных помех.

Задача решалась поэтапно:

1. Обосновать конструктивные параметры аппаратуры.
2. Разработать и изготовить прототип электронных блоков и модулей аппаратуры.
3. Опробовать аппаратуру на различных полевых объектах.

Фактический материал и методы исследований

В работе использованы методы математического моделирования, физическое моделирование, аналитический аппарат электродинамики, численные методы расчета и анализа, полевые испытания. Теоретической основой решения поставленных задач являются уравнения Максвелла. Автор опирался на результаты работ А.А. Кауфмана, Г.М. Морозовой, Л.А. Таборовского, М.И. Эпова, В.С. Могилатова, Ю.А. Дашевского, А.К. Манштейна, И.Н. Ельцова и других широко известных специалистов в области малоглубинной геоэлектрики.

Значительная часть результатов работы получена при использовании вычислительных алгоритмов, реализованных на языках VHDL, C++ и в среде Matlab. В работе выполнен обзор существующих аппаратурных решений и их сравнительный анализ

Для исследования технических характеристик комплекса аппаратуры ЭМС использована метрологическая нормативная база.

Полевые исследования с комплексом аппаратуры проведены при поддержке гранта РФФИ-09-05-011-38-а и интеграционном проекте СО РАН № 109 „Археогеофизика в Западной Сибири и на Алтае“. В качестве результатов полевых исследований приводятся данные экспедиций за 2007-2009 г., в которых автор принимал непосредственное участие, а также результаты полевых работ группы малоглубинной геофизики ИНГГ СО РАН под руководством А. К. Манштейна.

Защищаемые научные результаты:

1. Разработана и применена электрическая схема приемно-усилительного блока в приборе индукционного частотного зондирования ЭМС, реализующая параллельные измерения комплексных амплитуд тока в генераторе и ЭДС в приемнике.
2. Разработан аналого-цифровой канал с синхронным детектором и применением сигма-дельта АЦП в регистраторе аппаратуры ЭМС, который обеспечил необходимый линейный диапазон преобразования комплексных амплитуд переменного сигнала в постоянные составляющие.
3. Создан пакет встраиваемых подпрограмм, который позволил объединить аппаратуру индукционного частотного зондирования ЭМС в беспроводную сеть с терминалом на базе карманного компьютера (КПК) и модулем спутниковой навигации (GPS). Пакет подпрограмм позволяет визуализировать данные частотного зондирования в виде карт и разрезов в масштабе реального времени.

Новизна работы. Личный вклад

Обоснован, разработан и изготовлен аппаратурно-программный комплекс для наземного неразрушающего исследования распределения кажущегося удельного электрического сопротивления с глубиной для объектов верхней части разреза (до 10 м).

Аппаратура ИЧЗ ЭМС позволяет производить неразрушающие исследования распределения кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) с глубиной объектов археологического, экологического, инженерного и другого типов с визуализацией в режиме реального времени

в условиях всепогодной полевой эксплуатации одним человеком.

1. Автором предложен новый принцип одновременной регистрации сигналов от антенн и датчика тока генератора для уменьшения влияния прямого поля на качество измерений.
2. Автором проведен анализ электронных схем и физическое моделирование модулей аппаратуры. Физически обоснована конструкция аппаратуры.
3. С целью увеличения производительности прибора индукционного частотного зондирования ЭМС, автором разработана программно-аппаратная часть, позволяющая реализовать метод регистрации кажущегося удельного сопротивления грунта трехкатушечным зондом в режиме реального времени с объединением его, GPS и КПК в беспроводную сеть.
4. Предложен смешанный помехозащищенный узкополосный аналого-цифровой способ синхронного детектирования с применением сигма-дельта преобразователей.

Практическая значимость работы

1. Разработаны принципиальные схемы и сборочные чертежи электронных модулей и блоков аппаратуры ИЧЗ ЭМС.
2. Разработано описание работы и инструкция по эксплуатации прибора ИЧЗ ЭМС.
3. При непосредственном участии автора создано и отлажено 10 комплектов аппаратуры ИЧЗ ЭМС.
4. Ввиду отсутствия близких многочастотных наземных аналогов ожидаемый экономический эффект при условии внедрения составляет 3-4 млн. рублей в год на 10 комплектов.
5. Прибор обладает высокой помехозащищенностью, он неоднократно использовался в условиях повышенных промышленных помех на различных объектах в городских условиях.
6. Комплексом ИЧЗ ЭМС в период 2005-2009 гг. при непосредственном участии автора выполнены сравнительные полевые работы. Накоплен большой фактический материал. Проведен предварительный сравнительный анализ и интерпретация данных.

7. По результатам полевых работ аппаратурой ИЧЗ ЭМС составлены заключения о распределении кажущегося УЭС исследуемых объектов с относительной глубиной.

Апробация работы и публикации

Работа выполнена в лаборатории электромагнитных полей Учреждения Российской академии наук Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН.

Результаты работы докладывались на международной конференции посвященной 50-летию института геофизики УрО РАН (Екатеринбург 2008 г.), на 1-й межрегиональной научно-практической конференции для молодых ученых, аспирантов и студентов „Актуальные проблемы исследования этно-экологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая“ (Кызыл 2009 г.), на IV симпозиуме по вулканологии и палеовулканологии (Петропавловск - Камчатский 2009 г.), на заседании ученого совета ИНГГ СО РАН (Новосибирск 2009 г.).

Материалы диссертации полностью изложены в трех публикациях, из них одна статья в ведущем рецензируемом журнале, определенном Высшей аттестационной комиссией : „Геология и геофизика“, и две - материалы и труды научных конференций.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю кандидату технических наук А.К. Манштейну за постановку задачи, организацию исследований и постоянную помощь в работе.

В разработке механической части и написании прикладных программ автору оказали помощь Е.В. Балков, Ю.А. Манштейн, А.А. Адайкин, В.А. Белобородов, С.Ю. Тикунов.

Большую помощь автору в организации и проведении научных и практических работ, полевых выездов и экспедиций оказали: М.И. Эпов, А.К. Манштейн, С.Б. Бортникова, Ю.Г. Карин, С.П. Бортникова.

Необходимо отметить неоценимую помощь сотрудников Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: Л.В. Котенко, Т.А. Котенко, Д.Ю. Кузьмина, Г.А. Карпова, Г.М. Гавриленко.

Всем упомянутым выше коллегам автор считает приятным долгом выразить глубокую благодарность.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 115 страниц текста, 45 рисунков и 3 таблицы. Библиография содержит 134 наименования.

Содержание работы

Глава 1. Обоснование конструктивных параметров аппаратуры

Развитию малоглубинных частотных электромагнитных зондирований способствует тот факт, что они часто применяются для решения задач в смежных дисциплинах - археологии [3], экологии, строительстве и т.п. Реализовать такие исследования позволяет аппаратурно-программный комплекс ЭМС [1,2]. Он разработан в лаборатории электромагнитных полей Института геофизики СО РАН (г. Новосибирск) по схеме трехкатушечного зонда и предназначен для круглогодичного исследования подповерхностной части подземного пространства.

Современная индукционная аппаратура на рынке представлена в основном Канадскими и Американскими разработками, это фирмы Geonics (Канада), Geophysics Survey Systems Inc (США) и Geophex Inc (США). Эти аппаратурно-программные комплексы, работающие по методу частотного зондирования, предназначены для построения карт геоэлектрических параметров изучаемой площади и не предназначены или не способны строить разрезы по данным измерения на нескольких частотах. Кроме того, отсутствие компенсации прямого поля во всех перечисленных приборах (за исключением GEM-2 и GEM-300) не добавляет им выигрыша. В приборах GEM-2 и GEM-300, где такая компенсация выполнена методом построения зонда по трехкатушечной схеме, так же есть свои недостатки. Очевидно, что маленькая база прибора не будет способствовать наилучшему приему полезного сигнала на фоне превышающего поля генератора. Виден и очевидный рекламный ход в заявлении производителя о компенсации прибора на частотах около 330 Гц (известно, что даже в самых лучших скважинных приборах такая компенсация достигается до 500-600 раз, а на заявленной нижней частоте GEM-300 равной 330 Гц необходимо достигнуть значения подавления прямого поля в десятки тысяч раз).

Следует так же отметить еще один немаловажный факт - все рассмотренные зарубежные многочастотные приборы не работают с гармоническим источником сигнала. Форма импульса генератора синтезируется программно-аппаратными методами, обогащая гармониками выходной сигнал. Совершенно очевидно, что энергия импульса делится в соответствии с законами разложения токов в ряд между гармониками. Энергетически это не оправдано по сравнению с гармоническим источником.

В этой главе конкретизируется задача по разработке аппаратурно-программного комплекса для малоглубинных ИЧЗ.

Если осуществлять измерения в моменты, когда ток в генераторе максимален, мы получим сигнал, который содержит информацию только о среде. Этот способ измерений называется синхронным фазовым детектированием, а процесс определения моментов измерений - фазировкой. Можно сделать вывод о том, что для обеспечения измерения полезного сигнала уровнем около 1 мкВ требуется построить селективный приемный тракт способный отсеивать внеполосные помехи и помехи от генераторной части, которые являются следствием недокомпенсации.

Резонансное излучение генератором гармонического сигнала на каждой частоте энергетически оправдано так как вся полезная энергия излучается в узком участке спектра. Во время резонанса в генераторной петле прибор потребляет меньше энергии.

Следует учитывать возможные фазово-температурные зависимости емкостей контура генератора для резонанса.

Для обеспечения нормальной работы синхронного детектора вся аппаратура должна иметь синхронизацию, ошибка которой определяется допустимой погрешностью измерения фазы. Это обеспечит сужение полосы приема полезного сигнала до нескольких Гц и поможет исключить влияние внеполосных помех.

На основании использованных в главе расчетов Е.В. Балкова и А.К. Манштейна, можно сделать предварительные выводы об уровнях полезного сигнала от приемных катушек аппаратуры ЭМС для сред с удельными сопротивлениями 1 -100 Ом·м. Уровни сигналов, которые могут возникнуть на входе усилителя, находятся в диапазоне 1- 350 мкВ.

Для оснащения аппаратуры ЭМС беспроводным интерфейсом наиболее подходящей, по результатам анализа всех существующих, является сеть стандарта 802.15.1 (Bluetooth), поскольку она самая распространенная в мобильных устройствах (КПК или смартфоны). Следовательно, разработка управляющей программы ЭМС для КПК может быть решена

усилиями небольшой компании по созданию прикладного программного обеспечения.

Глава 2. Разработка аппаратуры малоглубинных индукционных частотных зондирований

Здесь приведены результаты разработки электронных схем и встраиваемых программ для прибора ЭМС.

Схематически устройство аппаратуры представлено на рис. 1. Аппаратура состоит из приемно-усилительного блока, блока микропроцессорного измерителя и синхронных детекторов, формирователя сигналов, усилителя мощности и интерфейсных модулей.

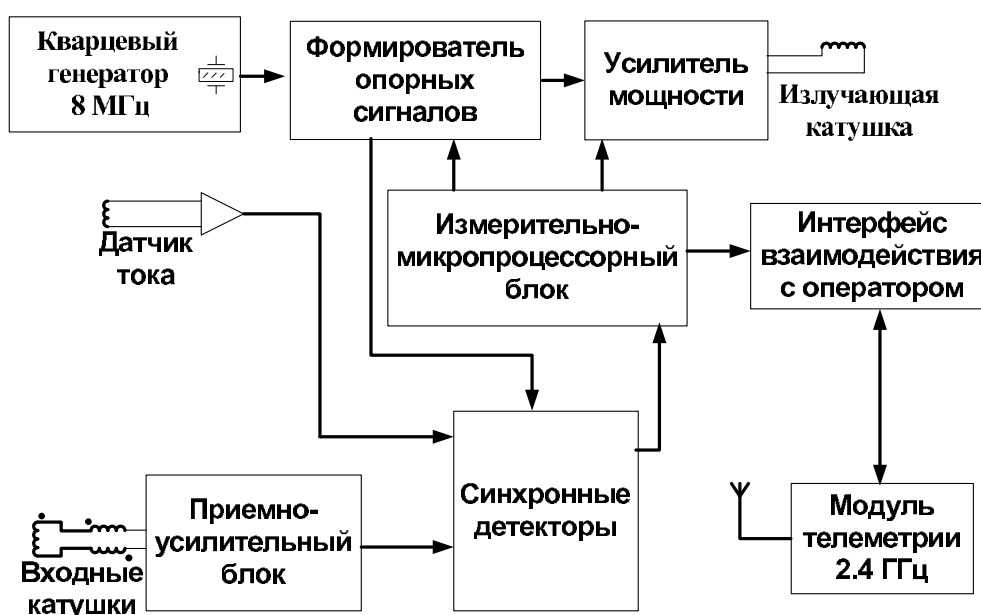


Рис. 1. Структурная схема аппаратуры ЭМС

В генераторную часть входят: задающий кварцевый генератор 8 МГц, формирователь рабочих частот, коммутатор резонансных емкостей и усилитель мощности. По команде, поступающей от микропроцессорного измерительного блока, коммутатор подключает требуемую емкость в контур генератора и подает сигнал соответствующей рабочей частоты на вход усилителя мощности, который нагружен на генераторную катушку прибора.

Приемная часть содержит входной дифференциальный усилитель, фильтр нижних частот (они расположены в приемно-усилительном блоке), согласующий усилитель и синхронный детектор. Во время измерения по команде от микропроцессорного измерительного блока на синхронные

детекторы комплексных составляющих подаются опорные сигналы соответствующей рабочей частоты.

Особенностью работы аппаратуры является измерение амплитуды периодического немодулированного сигнала в двух фазах, сдвинутых на 90° .

Измерение сигнала от приемных катушек или от датчика прямого поля осуществляется в двух одновременно работающих синхронных детекторах. На рис. 2 опорные сигналы прямоугольной формы обозначены как $V_{R1}(t)$ и $V_{R2}(t)$. Далее сигналы подаются на фильтры нижних частот с частотой среза 300 Гц. После фильтров измеряемые сигналы в

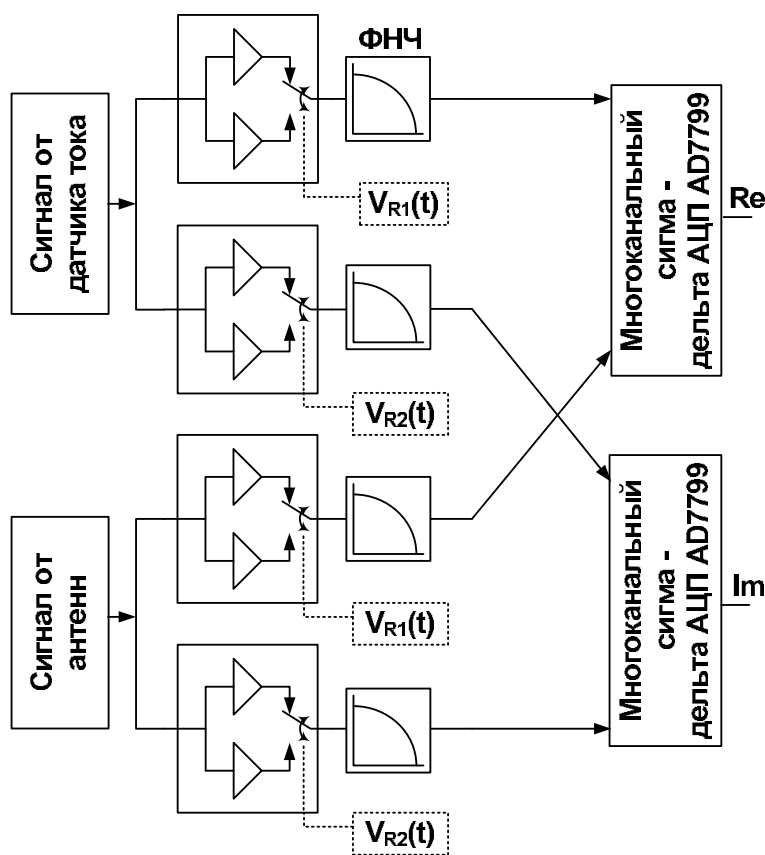


Рис. 2. Синхронные детекторы ЭМС

виде постоянной составляющей с оставшимися помехами поступают на сигма-дельта аналогоцифровой преобразователь (АЦП).

Основным достоинством синхронного детектора является то, что его работу можно сделать почти идеальной в большом диапазоне частот и амплитуд входного сигнала.

Децимирующий фильтр сигма-дельта АЦП помимо цифрового преобразования сигнала, сопровождаемого децимацией частоты (f_d), выполня-

ет эффективную цифровую фильтрацию в полосе пропускания $0 : f_d/2$ с подавлением шумов за ее пределами. Это свойство использовалось в аппаратуре ЭМС. Таким простым способом достигнута узкая полоса регистрации полезного сигнала за счет применения сигма-дельта АЦП. На рис. 3 показана типичная для всех экземпляров аппаратуры полоса пропускания вблизи одной из рабочих частот. Формирователь опор-

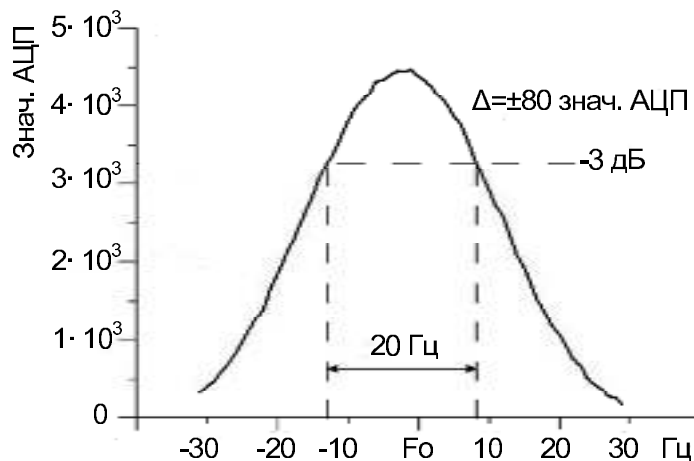


Рис. 3. Полоса пропускания прибора ЭМС около основной частоты $F_0 = 27$ кГц

ных сигналов предназначен для синтеза сигналов накачки генераторной петли (H_1, H_2), парафазных сигналов управления синхронным детектором ($V_{R1}(t), V_{R2}(t)$) и сервисных сигналов (см. рис. 4б). Формирователь реализован на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) и представляет собою делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД), систему управления, делитель постоянного коэффициента деления, логику селекции сигналов управления усилителем мощности (см. рис. 4а). Лабораторные измерения чувствительности измерительного тракта аппаратуры ЭМС дают среднюю величину $0,4$ нВ на единицу шестизначного десятичного представления [1, 2]. Отсчет АЦП, соответствующий максимальному линейному сигналу с приемных катушек равен 624000 . Если определить допустимую наибольшую погрешность величиной $\pm 5\%$, а неопределенность измерений принять равной 50 единиц, то минимальный измеряемый сигнал оценивается $\pm 0,4$ мкВ.

Выполненные в лаборатории многократные измерения температурного коэффициента применяемых в генераторе емкостей типа К73-17 дали среднюю величину $ТКЕ = 5 \cdot 10^{-4}/C^\circ$. Учитывая, что $ТКЕ = \Delta C/C_0 \Delta T$, где ΔT прирост температуры конденсатора, величина $\Delta C/C_0 = 2\%$ бу-

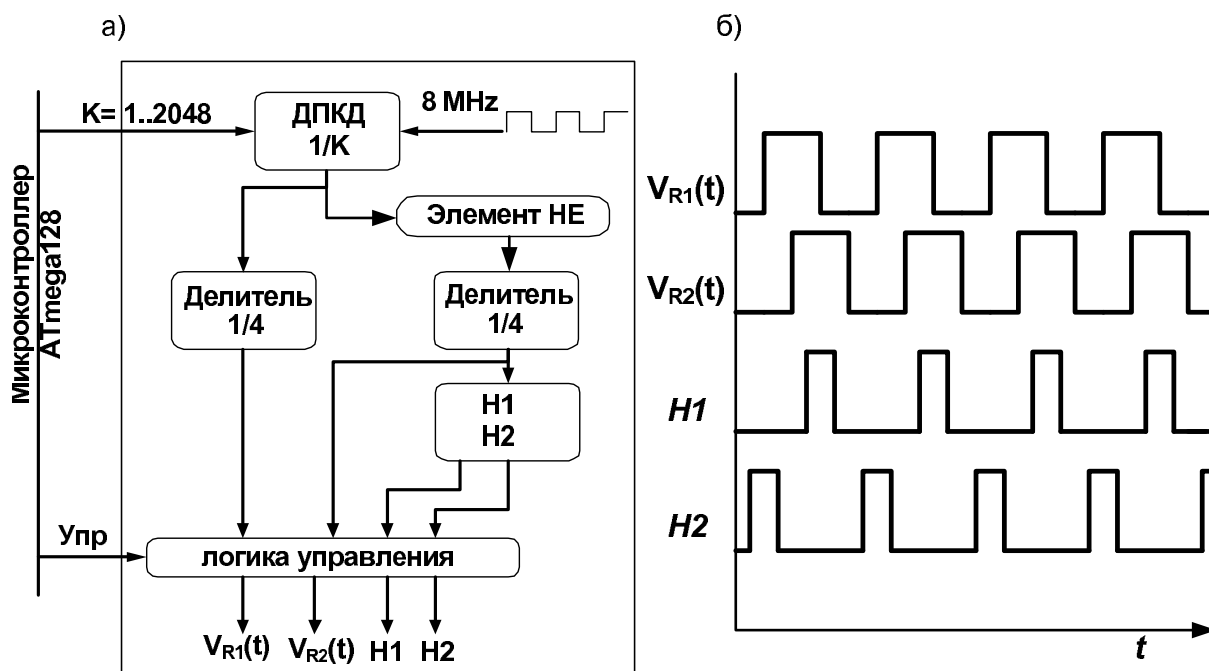


Рис. 4. Формирователь опорных сигналов прибора ЭМС

дет достигаться с приростом температуры на $40C^{\circ}$. Этот факт является доказательством достаточной стабильности фазы излучения генераторного устройства аппаратуры ЭМС, при изменении температуры конденсатора на $\pm 10C^{\circ}$.

Для обеспечения возможности отображения данных в реальном времени в аппаратуре используется модуль связи с операторским терминалом основанный на базе компонент беспроводного доступа стандарта 802.15.1. В ходе разработки проведено оснащение аппаратуры ЭМС модулем Bluetooth **Bluen-iccommIII** или **BlueniccommIV** компании Amber Wireless на базе чипов LMX9820A, потребляемая мощность которых составляет 1мВт. Модуль беспроводной передачи данных обслуживается программой микроконтроллера и располагается на плате микропроцессорного измерительного блока в аппаратуре ИЧЗ ЭМС. В микроконтроллерном блоке был реализован в виде алгоритма машины состояний протокол обслуживания ведущего сетевого устройства. На рис. 5 показан алгоритм протокола обмена при помощи профилей **Generic Access Profile (GAP)** и **Serial Port Profile (SPP)**, важным моментом является то, что прибор ЭМС в сети Bluetooth позиционируется ведущим, а мобильный терминал КПК ведомым.

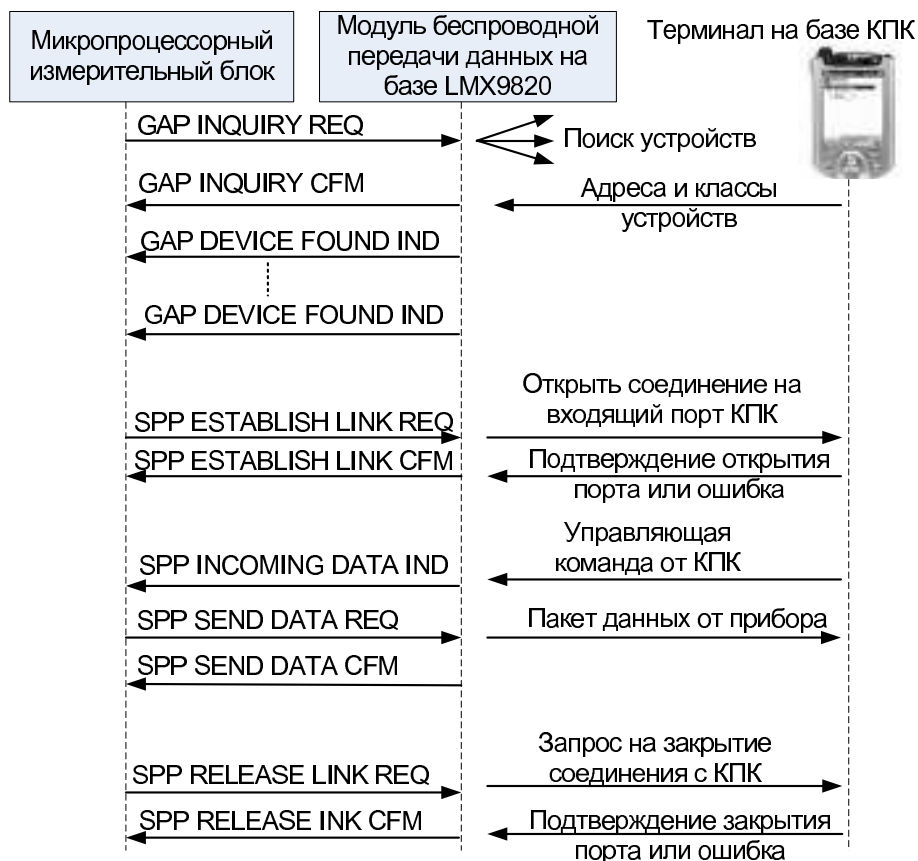


Рис. 5. Протокол обмена между аппаратурой ЭМС и терминалом на базе КПК посредством профилей GAP и SPP

Глава 3. Полевое применение аппаратуры

Сравнительные работы на гидротермальных объектах активных вулканов Курило-Камчатского региона. Комплекс частотного электромагнитного зондирования ЭМС применялся для исследования структуры различных по составу газо-гидротермальных объектов вулканогенного происхождения. Работы проводились с одновременным контролем и в сравнении с методикой электротомографии на постоянном токе.

Решение задачи выявления структуры таких объектов осложнено тем, что исследуемый объект представлен не только твердыми, но и жидкими фазами. В такой ситуации методы разрушающего контроля не смогут дать объективной картины. Одним из методов, который может дать ответ на вопрос о внутреннем строении таких объектов, является метод индукционного частотного зондирования (ИЧЗ).

В качестве объектов исследования были выбраны гидротермы активных вулканов Мутновский и Эбеко, а так же зоны кипящих котлов и

активного рудообразования в кальдере Узон.

Все представленные объекты сложены из пород, удельное электрическое сопротивление которых лежит в пределах от 50 до 1000 Ом·м. Гидротермальные приповерхностные разгрузки в виде высоко минерализованных растворов, напротив, обладают гораздо более низким удельным электрическим сопротивлением (0.5 - 10 Ом·м). Таким образом, все объекты гидротермальных проявлений на активных вулканах имеют высокий контраст в удельных сопротивлениях по отношению к вмещающим породам верхней части разреза и могут быть использованы в первоначальном опробовании разработанного аппаратурно-программного комплекса ЭМС.

Все работы аппаратурой ЭМС выполнялись на площадках с шагом между профилями 1 м и шагом по точкам измерения 1 м. Электротомография проводилась с использованием двух электроразведочных кабелей, общее количество электродов которых равнялось 48. Шаг между электродами для электрических зондирований был выбран 5 м, что связано с конструктивными особенностями кабеля. В основе интерпретации данных частотного зондирования лежала программа ISystem, которая разработана в ИНГГ СОРАН для аппаратуры ЭМС Е.В. Балковым. Для методов сопротивлений использовались пакеты программ Res2Dinv и Res3Dinv (компания Geotomo Software), поставляемые совместно с комплексом аппаратуры от компании Iris Instruments.

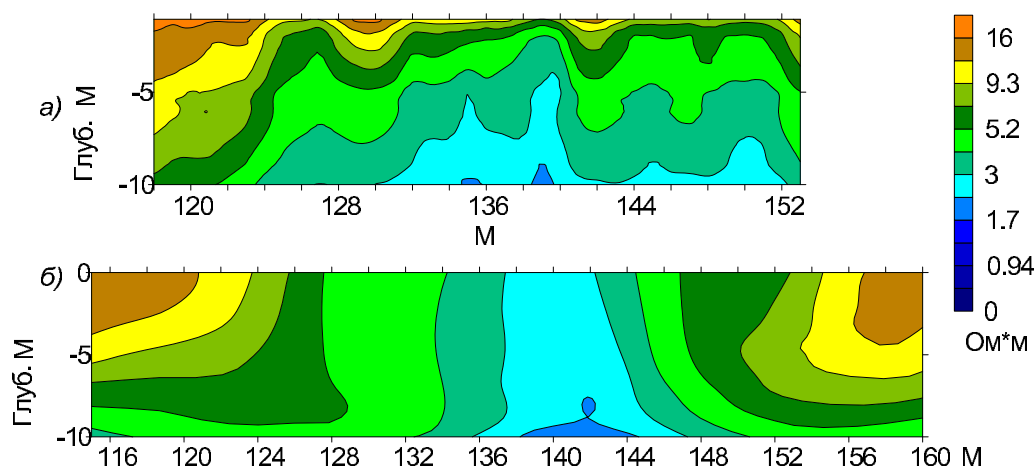


Рис. 6. а) Распределение кажущегося УЭС по одному из профилей частотного зондирования ЭМС и б) распределение УЭС по данным инверсии результатов электротомографии. Площадка на Северо-Восточном поле вулкана Эбеко. (Начало профиля ИЧЗ приходится на отметку 118 м для профиля электротомографии)

Сравнение результатов трансформации данных частотного зондирования и результатов инверсии электротомографии в одинаковом масштабе, общей шкале УЭС и с привязкой по координатам показано на рис. 6. Немаловажным фактом, говорящим о качестве работы аппаратуры ЭМС является то, что распределение кажущегося УЭС по данным трансформации ИЧЗ и распределения УЭС по результатам инверсии электротомографии принципиально совпадают.

Построенные в общей шкале и с привязками относительно друг друга сравнительные результаты инверсии электротомографии и трансформации данных частотного зондирования для Донного Поля вулкана Мутновский представлены на рис. 7. Они отражают принципиальное совпадение кажущихся УЭС для ИЧЗ с результатами инверсии электротомографии, подобно аналогичным результатам для вулкана Эбеко (рис. 6).

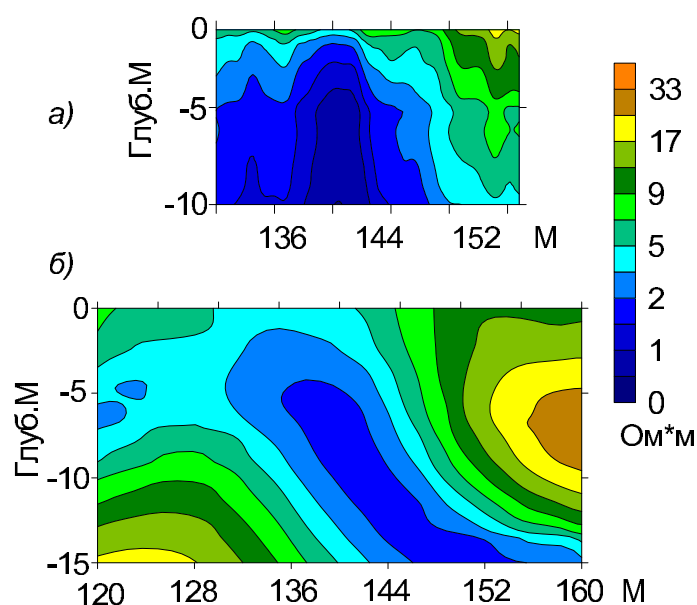


Рис. 7. а) Распределение кажущегося УЭС по профилю частотного зондирования ЭМС и б) распределение УЭС по данным инверсии соответствующего участка профиля электротомографии на площадке Донного Поля вулкана Мутновский

Видимо, низкое удельное сопротивление среды связано с насыщенностью ее высокоминерализованными термальными растворами, а высокое - с наличием вмещающих пород или газовой составляющей.

В сравнении с процессом получения данных инверсии для электротомографии результаты работы аппаратурой ЭМС выводились непосредственно в реальном времени в виде карт или разрезов на экран КПК, что позволяет по ходу движения оператора корректировать шаг съемки для увеличения детализации.

Полевые работы в условиях повышенных электромагнитных помех на ГРЭС пос. Назарово. В мае-июне 2006 года на территории, примыкающей к цеху химической водоочистки Назаровской ГРЭС, были проведены электроразведочные работы методом индукционного частотного зондирования с применением аппаратуры ЭМС.

Задачей полевых исследований являлось изучение распределения воды в грунте. Кроме того, требовалось сделать заключение о работоспособности прибора в условиях высоких внеполосных помех.

Участок полевых работ находится в промышленной зоне, под воздействием многочисленных индустриальных электромагнитных полей (измеренная плотность тока по данным СЭС достигает 40 A/m^2). Поверхность рабочих площадок перекрыта грунтом, местами со щебеночным и асфальтовым покрытием.

Наблюдения проводились профилированием и площадным методом. Профили длиной 10-70 м организовывались «змейкой», располагались вдоль стены здания либо под углом 90° . Интервал точек записи по профилю и интервал между профилями составлял 0.5 - 1 м.

Все работы производились в непосредственной близости от линий высокого напряжения (500 кВ). Однако высокий уровень внеполосных помех промышленной частотой 50 Гц не повлиял на качество полученных данных аппаратуры ИЧЗ ЭМС.

В качестве примера успешной работы на рис. 8 показан разрез по профилю Pr_20, который проложен по оси здания цеха от пожарного

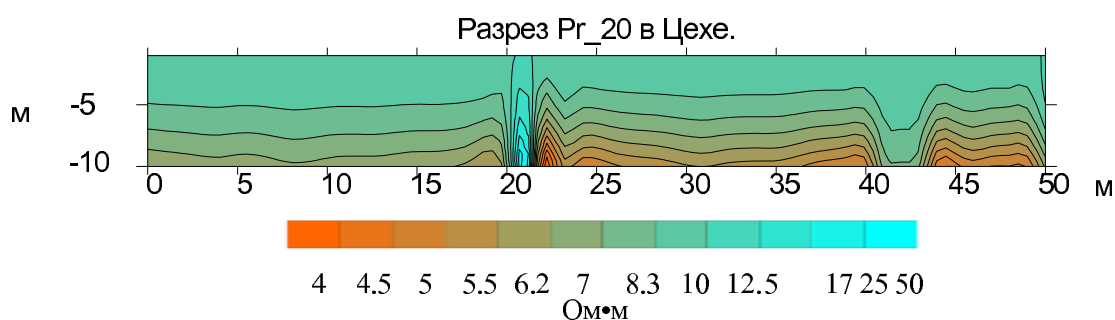


Рис. 8. Профиль внутри цеха химической водоочистки Назаровской ГРЭС

гидранта до стальных трапов. Длина профиля составляет 50 м. Видно влияние двух пересекающих профиль коммуникаций (стальная труба на 22-м метре и поперечный канал на 41-44 метрах). Сильно повлияло на количество бракованных данных наличие массивных металлических предметов вблизи точек наблюдения. Влияния внеполосных помех на

первичных данных в приборе ЭМС зафиксировано не было.

Заключение

В работе обосновано использование в качестве регистрирующего канала для аппаратуры индукционных частотных зондирований канала реализующего синхронное измерение реальной и мнимой составляющих полезного сигнала одновременно. В качестве регистратора автором применен и реализован принцип синхронного приема.

Первая отличительная особенность разработанного автором программно-аппаратного комплекса от существующих решений для малоглубинного ИЧЗ - использование в качестве основного фильтрующего модуля цифровых компонент сигма-дельта преобразователя, характерными особенностями которого являются высокое разрешение (24 бита) и линейность.

Следующее отличие касается примененного типа детектирования. Разработанный автором смешанный аналогово-цифровой детектор обеспечил линейный вид преобразования амплитуды переменного сигнала в постоянную составляющую.

Аналого-цифровая регистрация и узкополосная фильтрация продуктов синхронного детектирования в приборе ИЧЗ ЭМС позволили получить высокую (в 2 раза лучшую по сравнению с аналогами) точность измерения сигнала от антенн величиной менее 1 мкВ и хорошее подавление помех промышленной частоты. Хорошее подавление помех в диапазоне 50-60 Гц дает возможность проводить геофизические работы на объектах городского и промышленного назначения.

Принципиальным отличием прибора ЭМС от его аналогов является введение в функциональную схему прибора модулей радиодоступа и алгоритма работы по беспроводной сети современного и широко доступного стандарта 802.15.1 (Bluetooth) 2.4 ГГц. Это решение обеспечивает возможность применять комплекс ЭМС в задачах экспресс контроля распределения кажущихся УЭС грунтов в реальном времени.

Перспективу развития данного комплекса аппаратуры автор видит в разработке подобного комплекса для оснащения им беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и в усовершенствовании интерпретационного программного обеспечения для наземных малоглубинных ИЧЗ.

Публикации по теме диссертации

1. Манштейн, А.К. Аппаратура частотного электромагнитного зондирования "ЭМС"[Текст] / А.К. Манштейн, **Г.Л. Панин**, С.Ю. Тикунов // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 6. – С. 571 – 579.
2. **Панин, Г.Л.** Аппаратура частотного электромагнитного зондирования [Текст] / **Г.Л. Панин**, А.К. Манштейн // Геофизические исследования рала и сопредельных территорий: материалы Международной конференции Г.Л.Халина 11.03.2010 посвященной 50-летию Института геофизики УрО РАН (г.Екатеринбург, 4-8 февраля). – Екатеринбург, 2008. – С. 195 – 197.
3. **Панин, Г.Л.** Методика и результаты неразрушающего исследования археологических объектов аппаратурой частотного электромагнитного зондирования "ЭМС"[Текст] / **Г. Л. Панин**, Е. В. Балков, Ю. А. Манштейн, А. К. Манштейн // Этноэкологические и этнокультурные проблемы народов Саяно-Алтая: материалы 1-й межрегиональной конференции молодых ученых. – Кызыл, 2009. – С. 102 – 103.

Технический редактор Т.Л.Халина

Подписано к печати 11.03.2010

Бумага 60x84/16. Бумага офсет № 1. Гарнитура "Таймс". Печать офсетная

Печ. л. 0.9. Тираж 120. Заказ 40

ИНГГ СО РАН, ОИТ, 630090, Новосибирск, пр-т. Ак. Коптюга 3.