

# Система Управления Аппаратурно-Программного Комплекса Малоуглубленного Частотного Электромагнитного Зондирования

А.А. Адайкин, Е.В. Балков, А.К. Манштейн, М.М. Лаврентьев  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,  
Новосибирск, Россия

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия  
[Andrey.Adaikin@gmail.com](mailto:Andrey.Adaikin@gmail.com), [balkov@uiggm.nsc.ru](mailto:balkov@uiggm.nsc.ru), [akm@uiggm.nsc.ru](mailto:akm@uiggm.nsc.ru), [mmlavr@nsu.ru](mailto:mmlavr@nsu.ru)

## Аннотация

В статье представлен опыт создания графического программного приложения на платформе карманного компьютера. Управление аппаратурой частотного электромагнитного зондирования осуществляется при помощи технологии беспроводной радиосвязи Bluetooth™. Визуализация данных зондирования происходит в реальном времени.

**Ключевые слова:** частотное электромагнитное зондирование, визуализация данных.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск) ведется разработка аппаратурно-программного комплекса электромагнитного индукционного частотного зондирования (ЭМС). Наземный переносной аппаратурно-программный комплекс ЭМС предназначен для дистанционного исследования объемного распределения удельной электропроводности верхнего слоя почвы на глубинах до 7 метров.



**Рис. 1.** Аппаратура электромагнитного индукционного частотного зондирования ЭМС

Из основных областей применения аппаратуры ЭМС, помимо всего прочего, можно выделить:

- археологические исследования, поиски объектов культурного наследия;

- экологический мониторинг загрязнения грунтовых вод;
- изучение подземных туннелей и пустот, поиск подземных сооружений и коммуникаций;
- поиск источников соленой и пресной воды;
- обнаружение и локализация захоронений промышленных отходов;
- обнаружение неразорвавшихся боеприпасов.

Все эти и другие задачи аппарата ЭМС позволяет решать с поверхности, т.е. без нарушения поверхностного слоя (например, дорожного покрытия).

На сегодняшний день ЭМС не имеет прямых аналогов на мировом рынке, а по сравнению с самыми близкими аналогами ведущих производителей аппаратуры частотного электромагнитного зондирования (ЧЭЗ) канадских фирм Georhex (комплекс GEM-2 [3, 4]), и Geonics (комплексы EM-31, EM-38) имеет ряд преимуществ. Аппаратура ЭМС, в отличие от продукции Geonics, использует несколько рабочих частот, что позволяет получать информацию об изменении свойств грунта в зависимости от глубины и строить вертикальные разрезы и кривые зондирования. По сравнению с GEM-2 ЭМС имеет более широкий диапазон частот, что значительно увеличивает область применения аппаратуры. Кроме того, благодаря использованию компенсационной схемы измерения, ЭМС имеет большую локальность измерения, что повышает разрешающую способность. К числу преимуществ аппаратуры ЭМС также можно отнести большую устойчивость к электромагнитным помехам.

Следует отметить, что производители аппаратуры ЧЭЗ (в том числе и фирмы Georhex и Geonics) предоставляют возможность только пост-обработки данных зондирования и GPS координат на персональных компьютерах, используя для передачи данных стандартный порт RS-232. И хотя некоторые производители (например, Geonics) позволяют управлять аппаратурой с помощью карманного компьютера через RS-232, на мировом рынке на сегодняшний день отсутствуют портативные аппаратурно-программные комплексы ЧЭЗ, позволяющие визуализировать данные в реальном времени.

## 2. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Аппаратура ЭМС реализует метод электромагнитного индукционного частотного зондирования и представляет

с собой трехкатушечный зонд [1]. Генераторный контур излучает электромагнитное поле на 14 частотах в диапазоне от 2.5 кГц до 250 кГц. Аппаратурой измеряются квадратурная и синфазная составляющие разностной эдс, индуцированной вихревыми токами, текущими в среде.

Аппаратура ЭМС является автономным устройством с внутренним источником питания и постоянным запоминающим устройством. Корпус изготовлен из стеклопластика. Общая длина зонда в рабочем состоянии 2.75 м, в транспортном положении – 1.4 м. Масса не превышает 10 кг. На генераторной части корпуса расположены клавиатура и жидкокристаллический монитор (рис. 1). Среднее время одного зондирования на всех 14 частотах составляет около 3 секунд.

При полевых работах ЭМС программируется непосредственно с помощью клавиатуры, расположенной на корпусе, и, кроме того, может управляться дистанционным пультом, соединенным с аппаратурой. После окончания полевых работ, данные передаются через стандартный последовательный порт в персональный компьютер для последующей обработки, интерпретации и визуализации с помощью созданного программного пакета ISystem [1].

Современные возможности карманных персональных компьютеров (КПК) позволяют ставить новую актуальную задачу создания специализированных программных средств обработки и визуализации данных полевых измерений в реальном времени на этих платформах. Визуализация данных в процессе измерений может существенно повысить эффективность применения целого ряда геофизических приборов.

В связи с этим, была поставлена задача разработки системы управления и обработки данных зондирования аппаратурно-программного комплекса ЭМС в реальном времени на базе платформы карманного компьютера (PocketPC) и технологии беспроводной радиосвязи Bluetooth™.

Программный комплекс для обеспечения работы ЭМС должен включать в себя:

- систему управления всеми режимами работы электроразведочного прибора ЭМС посредством технологии беспроводной радиосвязи Bluetooth™;
- систему взаимодействия с GPS приемником посредством технологии Bluetooth™ для определения абсолютных координат пунктов зондирования;
- систему отображения результатов измерений в графическом виде, удобном пользователю. В частности, программа должна позволять в реальном времени отображать в графическом виде двумерные карты и разрезы местности, кривые зондирования и профильные диаграммы.

Для визуализации двумерных разрезов и карт необходимо реализовать алгоритм аппроксимации двумерных данных, как для регулярных данных (regular data, для измерений на регулярной сетке), так и для нерегулярных данных (scattered data, для измерений на нерегулярной сетке). Для этого требуется провести анализ существующих алгоритмов интерполяции и аппроксимации двумерных данных, оценить их трудоемкость, и, в случае неудовлетворительной производительности на процессорах карманных

компьютеров, оптимизировать их работу под поставленную задачу в ущерб точности представления данных (аппроксимации данных), либо, используя данные измерений на полях специальной формы.

### 3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Разрабатываемое программное обеспечение (ПО) на базе платформы КПК представляет собой оконное приложение диалоговой структуры и предоставляет пользователю удобный интерфейс управления и визуализации данных аппаратуры ЭМС.

#### 3.1 Типы измерений

Текущая версия разрабатываемого программного обеспечения позволяет проводить измерения следующих типов (а также их вариаций):

##### 3.1.1 Профиль

Измерения ведутся вдоль одного профиля. Программе задаются размер шага в метрах вдоль профиля и, опционально, общее количество пикетов (точек измерений). Для этого режима измерения в реальном времени строятся кривые зондирования, профильные диаграммы и двумерный разрез текущего профиля.

##### 3.1.2 Регулярная сетка

Измерения ведутся по размеченной регулярной сетке. На входе задаются размеры сетки и размеры шагов в метрах по обеим осям. Для этого режима измерения, помимо прочего, в реальном времени строится двумерная карта на определенной частоте (т.е. на определенной глубине).

##### 3.1.3 Нерегулярная сетка

Измерения ведутся на поле в произвольных точках, а для определения координат измерений используется GPS приемник, который может быть либо встроен в КПК, либо быть внешним и передавать GPS данные посредством технологии беспроводной радиосвязи Bluetooth™. Для этого режима измерения, помимо прочего, в реальном времени отображается GPS трек. Однако координаты могут быть записаны в GPS навигатор и затем сопоставлены результатам зондирования. Для этого в ПО КПК предусмотрена возможность записи локального времени измерений и реализован алгоритм пересчета данных GPS трека в относительные координаты.

#### 3.2 Визуальное представление данных

Кривые зондирования представляют собой зависимость кажущейся удельной электропроводности от глубины.

Профильные диаграммы представляют собой зависимость кажущейся удельной электропроводности на определенной частоте вдоль профиля.

Двумерный разрез представляет собой распределение кажущейся удельной электропроводности вдоль профиля в зависимости от глубины.

Двумерная карта представляет собой горизонтальное распределение кажущейся удельной электропроводности на определенной частоте.

Текущая версия программного обеспечения для КПК позволяет отображать кривые зондирования, профильные диаграммы, а также двумерные карты и разрезы,

реализованные с помощью алгоритма бикубической интерполяции двумерных данных на регулярной сетке.

#### 4. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АРХЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Программно-аппаратурным комплексом ЭМС в начале февраля 2006 г. были выполнены комплексные исследования на части площади кальдеры вулкана в окрестностях города Латера (провинция Лацио, Италия).



Рис. 2. Эмулятор платформы Pocket PC 2003

Площадь представляет собой ровное пастбище площадью в несколько гектар с изменением поверхности и отсутствием травяного покрова в некоторых местах, вызванными проявлениями геотермальных газов. На части площади была выделена разметкой с шагом 2.5 м тестовая площадка площадью 50x85 м<sup>2</sup>, причем в ее центре располагался участок оголенной почвы диаметром около 6 м. Аппаратурой ЭМС была исследована тестовая площадка по регулярной сетке на 8 частотах (в диапазоне 6.9 - 62.5 кГц), при этом на КПК можно было в реальном времени просматривать получаемые данные в графическом виде (см. рис. 2). Работы по съемке этого участка заняли приблизительно 5 часов. Результаты

пост-обработки на персональном компьютере данных зондирования представлены на рис. 3.

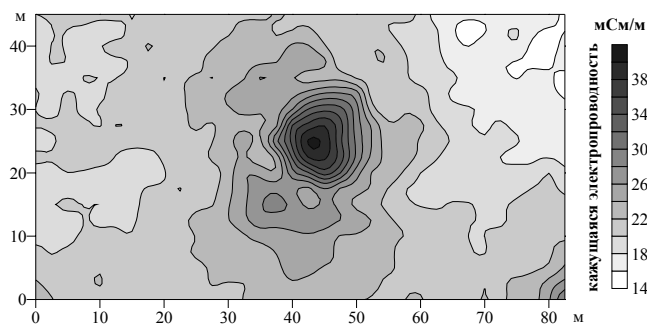


Рис. 3. Карта распределения кажущейся электропроводности на частоте 40 кГц

Следует отметить, что полученные аппаратурой ЭМС количественные данные довольно хорошо коррелируют с данными, полученными двумерной томографией на постоянном токе и аппаратурой EM-31 фирмы Geonics.

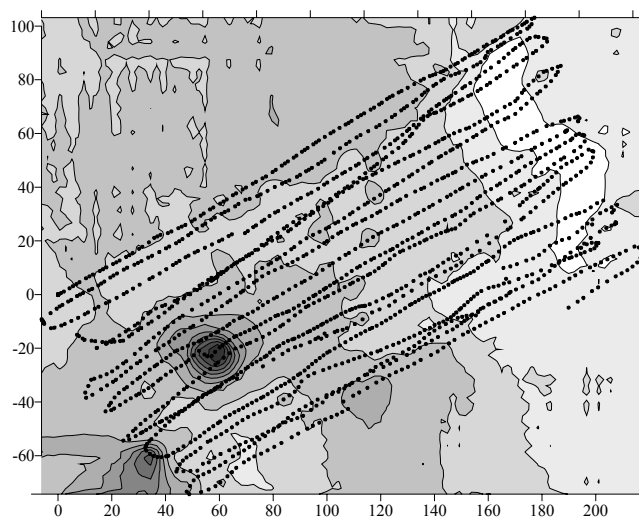


Рис. 4. Карта распределения кажущейся электропроводности по измерениям на нерегулярной сетке (координаты пунктов зондирования получены GPS навигатором и обозначены точками)

Для демонстрации преимуществ предложенной системы управления и интерпретации было проведено зондирование участка, площадь которого в 5 раз превышает площадь предыдущего (рис. 4). Измерения проводилось в постоянном движении на 4 частотах. Координаты точек зондирования записывались в GPS навигатор фирмы Garmin. Такой тип работ аппаратурой ЭМС проводился впервые, общее время работ не превысило одного часа.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана первая версия программного обеспечения на платформе КПК, которая позволяет управлять аппаратурой ЭМС и визуализировать результаты зондирования в режиме реального времени. Данная разработка находится на мировом уровне, а в некоторых аспектах превосходит его.

В перспективе планируется разработать и реализовать на КПК более качественные и эффективные алгоритмы аппроксимации двумерных данных, в том числе и на нерегулярной сетке. Кроме того, поставлена задача реализовать возможность одновременной работы КПК с аппаратурой ЭМС и GPS приемником на основе технологии беспроводной радиосвязи Bluetooth™.

Авторы выражают благодарность Манштейну Ю.А. за предоставленный материал. Исследования выполнены при частичной поддержке РФФИ (проект № 06-06-80295-а) и интеграционного проекта Президиума СО РАН № 109.

## 6. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Балков Е.В., Манштейн А.К., 2001, *Трехкатушечный зонд в индукционном зондировании*, Геофизический вестник, 12, 17 – 20.
- [2] Балков Е.В., Манштейн А.К., Чемякина М.А., Манштейн Ю.А., Эпов М.И., 2006, *Опыт применения электромагнитного частотного зондирования для решения археолого-геофизических задач*, Геофизика, 1, 43 – 50.
- [3] J. Won, A. Keiswetter, G. Fields., L. Sutton, 1996, *Gem-2: A new multi-frequency electromagnetic sensor*, Geophys., 1, 129 – 137.
- [4] J. Won, A. Oren, F. Funak., 2003, *Gem-2A: A programmable broadband helicopter-towed electromagnetic sensor*, Geophysics, Vol. 68, No. 6, p. 1888 – 1895.

### Об авторах

Андрей Анатольевич Адайкин – аспирант физического факультета Новосибирского государственного университета, м.н.с. Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

Адрес: Новосибирск, 630090, ул. Пирогова 2, НГУ.

E-mail: [Andrey.Adaikin@gmail.com](mailto:Andrey.Adaikin@gmail.com)

Евгений Вячеславович Балков – н.с. Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

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

Телефон: (383) 3334-955

E-mail: [balkov@uiggm.nsc.ru](mailto:balkov@uiggm.nsc.ru)

Александр Константинович Манштейн – доцент, кандидат технических наук, с.н.с. Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

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

Телефон: (383) 3304-952

E-mail: [akm@uiggm.nsc.ru](mailto:akm@uiggm.nsc.ru)

Михаил Михайлович Лаврентьев – доцент, доктор физ.-мат. наук, декан факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета.

Адрес: Новосибирск, 630090, ул. Пирогова 2, НГУ.

Телефон: (383) 3399-220

E-mail: [mmlavr@nsu.ru](mailto:mmlavr@nsu.ru)

# Control System of the Shallow Frequency Electromagnetic Sounding Hardware-Software Complex

## Abstract

The paper describes software application (for PocketPC platform) of control and graphic interpretation of measurements, obtained by geophysical equipment. Controlling of the frequency electromagnetic sounding device is implemented through wireless radio communication technology Bluetooth™ as well as the data visualization in real time mode.

**Keywords:** *frequency electromagnetic sounding, data visualization.*

## About the author(s)

Andrey Adaikin is a Ph.D. student at Novosibirsk State University, Department of Physics, junior researcher at Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS. His contact email is [Andrey.Adaikin@gmail.com](mailto:Andrey.Adaikin@gmail.com).

Eugene Balkov is a scientific researcher at Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS. His contact email is [balkov@uiggm.nsc.ru](mailto:balkov@uiggm.nsc.ru).

Alexander Manstein is a senior scientific researcher at Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS. His contact email is [akm@uiggm.nsc.ru](mailto:akm@uiggm.nsc.ru).

Mikhail Lavrentiev is a Faculty dean at the Novosibirsk State University. His contact email is [mmlavr@nsu.ru](mailto:mmlavr@nsu.ru).