

УДК 681.3

МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС

© И.В. Журбин, В.П. Зверев

Физико-технический институт УрО РАН

Поступила в редакцию 13 января 1997г.

В статье рассмотрен многоэлектродный автоматизированный аппаратно-программный комплекс, предназначенный для поиска в грунте объектов искусственного происхождения. Разработанная методика измерений позволяет восстанавливать пространственные характеристики объектов поиска при сокращении трудоемкости измерений и времени электрометрических исследований.

При исследовании характеристик грунтов и определении пространственных характеристик неоднородностей в них используются геофизические методы зондирования, в частности, метод электрометрии.

Метод электрометрии заключается в определении удельного электрического сопротивления среды на участке, где помещены электроды. При наличии неоднородностей в грунте будут наблюдаться аномальные изменения удельного электрического сопротивления вмещающего грунта [1]. По расположению аномалий удельного сопротивления определяется местоположение неоднородностей в грунте. Аномалии сопротивления могут быть вызваны как природными объектами (геологические слои, грунтовые воды, рудные месторождения), так и искусственными объектами техногенного и антропогенного происхождения (трубопроводы, фундаменты, остатки сооружений, объекты археологии).

При поиске природных объектов измерения по принятым в геофизике методикам проводятся на больших территориях (десятки кв. километров) при значительном расстоянии между измерительными электродами (10–15 м) [2,3]. При этом глубина исследований достигает нескольких десятков метров. Задача таких исследований состоит в обнаружении объекта в грунте. Объекты искусственного происхождения расположены в верхних слоях грунта (в основном, глубина залегания не более 4 м) и характеризуются относительно небольшими размерами. Поиск антропогенных и техногенных объектов производится на локализованных территориях с малым шагом между электродами. Площадь участка исследований обычно не превышает нескольких десятков квадратных метров при шаге измерений 0.5–1.0 м. Важное значение имеет точность восстановления контура и пространственных характеристик расположения объекта поиска.

Различия поисковых задач определяет необходимость разработки специализированной аппаратуры для указанных направлений прикладных

исследований.

Большинство приборов, выпускаемых для исследования грунтов методом электрометрии, ориентированы на "одноканальный" режим работы (в каждый момент времени производится одно измерение) [1,4]. Проведение измерений в следующей точке требует перемещения всей измерительной установки (электродов и измерительной аппаратуры). Ввиду низкого быстродействия и значительной трудоемкости исследований, "одноканальная" аппаратура не может эффективно использоваться при определении пространственных характеристик объектов поиска искусственного происхождения, предполагающих значительное количество измерений.

В настоящее время задачи оперативного исследования значительных площадей при мониторинге среды или поиске природных объектов успешно решаются с использованием многоканальной аппаратуры. В последние десять лет такая аппаратура стала выпускаться во многих странах (например, аппаратура фирм OYO Corp. (Япония), АВЕМ (Швеция), Scintrex (Канада), &Campus и BGŞ (Великобритания) и др. [5,6]. Однако, перечисленные системы не могут эффективно использоваться для определения пространственных характеристик объектов искусственного происхождения, так как в основном реализуют "жесткие" алгоритмы измерений и не позволяют адаптивно в ходе исследований изменять конфигурацию установки, шаг и глубину зондирования. Кроме того, описанные системы достаточно громоздки и недоступны большинству российских потребителей ввиду значительной стоимости.

Поэтому разработка специализированных аппаратно-программных средств и методик измерений, позволяющих определять с высокой точностью местоположение техногенных и антропогенных объектов поиска в грунтах с описанием пространственных характеристик залегания, является важной прикладной задачей. Настоящая статья посвящена варианту разработки указанных аппаратных и программных средств.

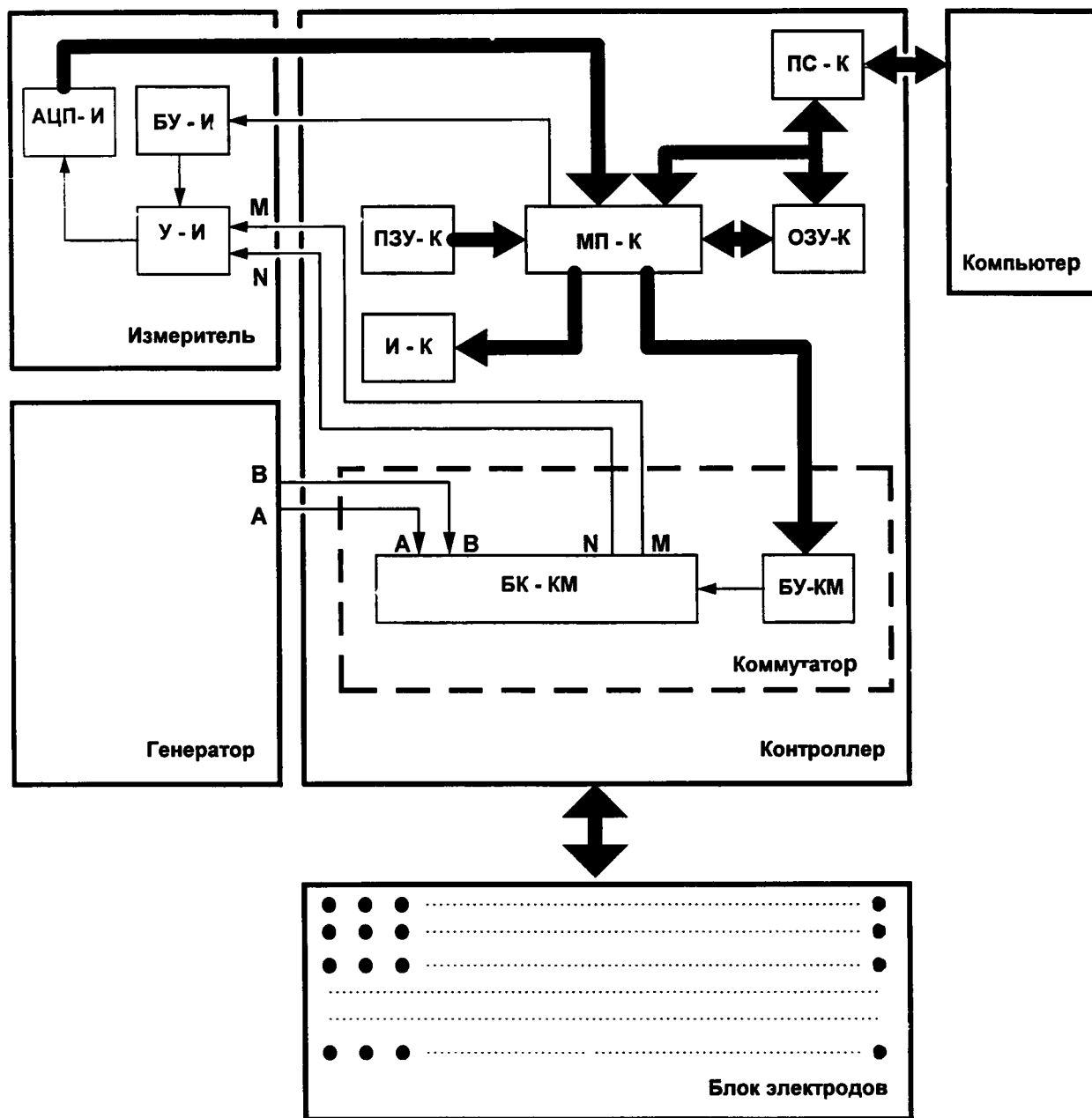


Рис. 1. Структура многоэлектродного автоматизированного электроразведочного комплекса (АЦП-И — аналого-цифровой преобразователь измерителя; БУ-И — блок управления измерителя; У-И — усилитель измерения; МП-К — микропроцессор контроллера; ПЗУ-К — постоянное запоминающее устройство контроллера; ОЗУ-К — оперативное запоминающее устройство контроллера; И-К — индикатор контроллера; ПС-К — порт связи с ЭВМ контроллера; БУ-КМ — блок управления коммутатора; БК-КМ — блок коммутации коммутатора).

В Физико-техническом институте УрО РАН разработан автоматизированный многоэлектродный электроразведочный комплекс "Иднакар", который позволяет определять местоположение неоднородностей и объектов в грунте на глубине до 4 метров [7–9]. В основе комплекса лежит метод многосеточной электротометрии, заключающийся в адаптивном программном выборе измерительной сетки из электродов, установленных по

регулярной сетке на участке исследований. Разработанные адаптивные алгоритмы коммутации метода многосеточной электротометрии и методика измерений позволяют адаптивно изменять глубину исследований [9–11]. Точность восстановления границы объекта поиска определяется задачей исследований и может достигать 0.10–0.15 м. Возможны измерения на глубине более 4 м, но при этом возрастает погрешность восстановления

контура объекта поиска. Технические и эксплуатационные характеристики многоэлектродного электроразведочного комплекса "Иднакар" рассмотрены в работе [7].

Методика электрометрических исследований включает два основных этапа [9–11]:

1. Проведение измерений на всем участке исследований при постоянной глубине зондирования, параметрах и конфигурации измерительной установки электродов. Шаг измерений определяется исходя из минимального размера объекта поиска, а глубина зондирования — из диапазона глубин залегания объекта. На этом этапе определяется местоположение объектов поиска, то есть локализованные участки, в пределах которых расположены интересующие нас объекты.

2. Уточняющие измерения на локализованных участках, содержащих объекты поиска. На данном этапе адаптивно выбирается конфигурация измерительной установки электродов и расположение участка измерений для описания с заданной точностью контура объекта поиска на выбранной глубине. По результатам обработки электрометрических данных по нескольким глубинам зондирования определяются пространственные характеристики объекта (глубина залегания, форма, геометрические размеры).

Для реализации рассмотренной методики изме-

рений в структуру разработанного комплекса введен ряд элементов, отличающих его от существующих многоэлектродных систем. В данной статье мы рассмотрим только основные отличительные особенности многоэлектродного автоматизированного электроразведочного комплекса "Иднакар", которые позволяют использовать его при определении пространственных характеристик объектов поиска.

Автоматизированный многоэлектродный комплекс "Иднакар" включает контроллер, управляющий процессом измерений; модифицированную типовую электроразведочную аппаратуру "ЭРА" (разработка НПП "ЭРА", Санкт-Петербург); персональный компьютер и блок электродов, состоящий из 100 электродов (рис. 1) [7].

Структура и назначение комплекса достаточно подробно рассмотрены в работах [7,8]. В отличие от известных многоэлектродных систем комплекс "Иднакар" содержит программируемый электронный контроллер, который позволяет осуществлять автоматизированную коммутацию электродов в соответствии с методикой измерений, предварительную математическую обработку результатов, обеспечивает автоматическую запись данных и их хранение. Для реализации перечисленных функций в контроллер автоматизированного электро-

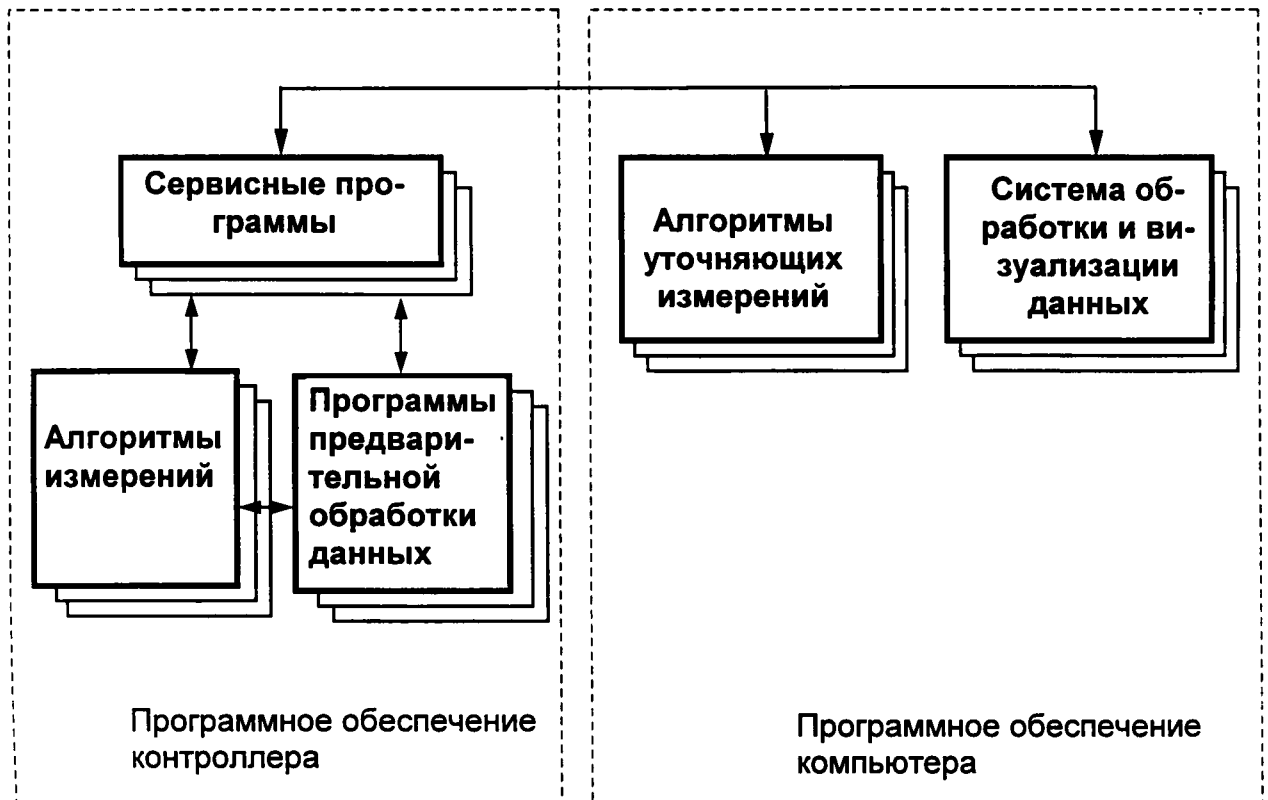


Рис. 2. Структура программного обеспечения комплекса

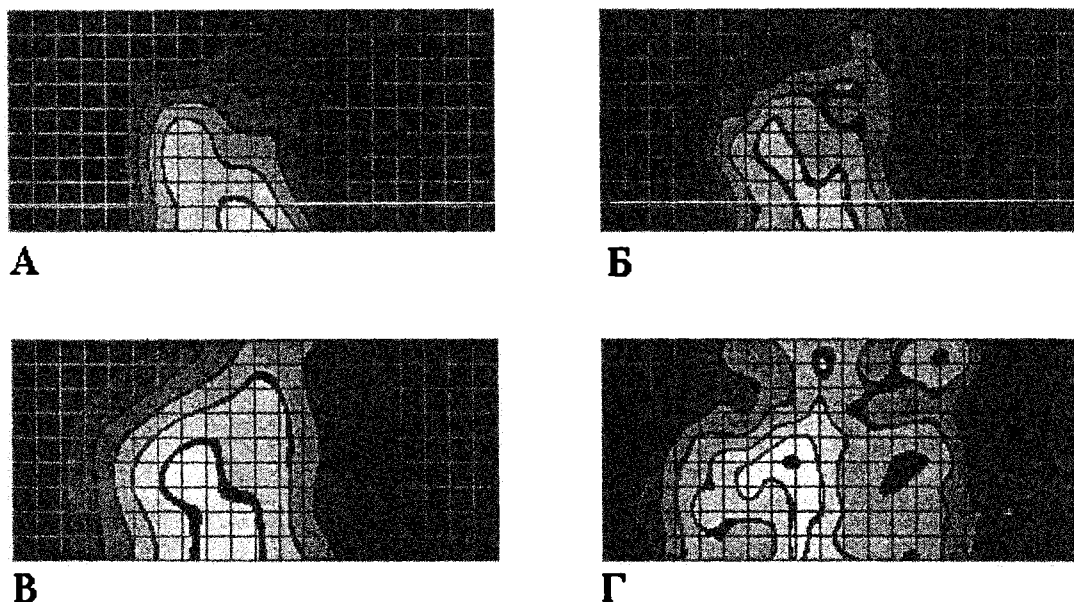


Рис. 3. Фрагмент оборонительного вала при изменении глубины исследований (городище Иднакар) (А — глубина 0.5 м; Б — глубина 1.0 м; В — глубина 1.5 м; Г — глубина 2.0 м).

разведочного комплекса включены следующие элементы:

1. Микропроцессор, который задает выбор из блока электродов группы электродов, участвующих в измерении, а также производит анализ результатов измерений и их предварительную математическую обработку.

2. Оперативное запоминающее устройство контроллера содержит результаты измерений, константы, используемые микропроцессором при их регистрации и предварительной математической обработке.

3. Постоянное запоминающее устройство контроллера содержит сервисные и управляющие программы, а также программы предварительной обработки данных.

Персональный компьютер, в отличие от известных систем, используется для управления измерениями только при уточняющих измерениях, что обеспечивает снижение энергопотребления. На всех этапах исследования основная функция компьютера — математическая обработка результатов измерений и построение карт распределения сопротивления в темпе эксперимента. Это позволяет оперативно проводить интерпретацию данных.

Программное обеспечение контроллера включает следующие модули (рис.2):

1. Сервисные программы, то есть программы, обеспечивающие работу контроллера в различных режимах.

2. Программы алгоритмов измерений для определения местоположения объектов поиска.

3. Программы предварительной обработки данных, которые включают в себя: программы усреднения результатов в каждой точке измерений в зависимости от соотношения удельных сопротивлений грунта и объекта поиска и точности восстановления границы объекта; программы сжатия избыточной измерительной информации.

Программное обеспечение компьютера включает в себя две основные части (рис. 2):

1. Программы алгоритмов уточняющих измерений, позволяющие определять пространственные характеристики объекта поиска в грунте. Эти алгоритмы при их программной реализации осуществляют анализ значительного количества условий, связанных с априорными сведениями об



Рис. 4. Пространственная реконструкция фрагмента оборонительного вала (городище Иднакар)

объекте поиска.

2. Программная система обработки и визуализации результатов измерений, обеспечивающая интерпретацию электрометрических данных [9]. Система обработки предоставляет пользователю возможности математической обработки данных (сглаживание, фильтрация, интерполяция), выбора режима визуализации и построения пространственной модели объектов поиска.

Апробация многоэлектродного автоматизированного электроразведочного комплекса и разработанных алгоритмов измерений проводилась в 1993–1997 гг. при полевых археологических исследованиях на территории нескольких памятников России. Электрометрические исследования позволили определить местоположение, оценить пространственные характеристики и построить трехмерную реконструкцию ряда археологических объектов в грунте [9] (рис 3,4). Средняя производительность работ составила 100–200 м² в день (в зависимости от детальности исследований). При сравнении карты распределения удельного сопротивления, полученной при интерпретации результатов измерений, с картой расположения объектов в грунте, полученной после раскопок, относительная погрешность определения границы объектов в основном не превышала 5%.

По сравнению с методикой измерений, применяемой в настоящее время при исследовании грунтов по методу электротометрии, использование разработанной методики, алгоритмов измерений и автоматизированного электроразведочного комплекса позволяет сократить избыточность измерений в среднем в 4–5 раз. Разработанный многоэлектродный автоматизированный комплекс обеспечивает восстановление пространственных характеристик объектов при сокращении трудоемкости измерений и времени электрометрических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах. Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. Книга первая. 1989. М.: Недра. 438с.
2. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: Справочник геофизика. 1990. М.: Недра. 498 с.
3. *Никитин А.А.* Теоретические основы обработки геофизической информации. 1986. М.: Недра. 342с.
4. *Бобровников Л.З., Орлов Л.И., Попов В.А.* Полевая электроразведочная аппаратура: Справочник. 1986. М.: Недра. 223 с.
5. *Petkov A.T., Georgiev M.* // *Archaeometry: Proc. of the 25-th Intern. Symp.* 1989. Amsterdam: Elsevier. P.365–374.
6. *Бобачев А.А., Модин И.Н., Первиго Е.В. и др.* // *Разведочная геофизика.* 1996. №2.
7. *Алексеев В.А., Евтешин Д.А., Журбин И.В. и др.* // *Приборы и техника эксперимента.* 1995. №4. С. 205–206.
8. *Алексеев В.А., Журбин И.В., Зверев В.П.* Устройство для геоэлектроразведки. Положительное реш. от 29.10.96г. по заявке № 95105723/25 (010480).
9. *Alekseyev V., Zhurbin I. and Malyugin D.* // *Archaeological Prospection.* 1996. Vol. 3., №4. P.219–229.
10. *Алексеев В.А., Журбин И.В.* Патент № 2023191 (RU). Способ геоэлектроразведки // Б.И. 1995. № 9. МКИ G 01 V 3/02.
11. *Алексеев В.А., Журбин И.В.* Патент № 2062488 (RU). Способ геоэлектроразведки // Б.И. 1996. № 17. МКИ G 01 V 3/02.

AUTOMATED MULTIELECTRODE ELECTRICAL PROSPECTING SYSTEM.

I.V. Zhurbin, V.P.Zverev

Institute of Engineering Physics Ural Branch of RAS

A multi-grid automatized hardware/software complex for searching soil objects of artificial origin is considered in the article. The designed measurements method allows us to restore spatial characteristics of searching objects and to reduce labour-consuming nature of measurements and the time for electrometric research.