

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА «**Vector-Geo**»

© 2018 г. А.К. Матевосян\*, Г.А. Бабаян\*\*

*\*Институт геологических наук НАН РА  
0019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения,  
E-mail: arshak.matevosyan@yandex.com,*

*\*\* Nairi-Tech ООО, E-mail: babayan.grigor@gmail.com.  
Поступила в редакцию 08.11.2017г.*

В статье представлены область применения и основные технические характеристики, а также преимущественные особенности разработанного многоцелевого аппаратно-программного измерителя «**Vector-Geo**». Благодаря своим функциональным особенностям, представляется его широкое применение при проведении научно-исследовательских электроразведочных работ. Предлагаемый комплекс может быть полезен для эффективного освоения учебно-практического материала по лабораторному курсу «**Петроэлектрические исследования образцов и моделей горных пород и руд**» и «**Физическое моделирование – Электроразведочный практикум**».

В настоящее время достаточно широко применяются десятки электроразведочных методов и их модификаций, разработано много способов геоэлектроразведки, предназначенных для решения узкоспециализированных геологических задач в конкретных геолого-геофизических условиях. На практике все эти методы и способы реализуются с помощью особых специализированных комплексов аппаратуры. Узкая специализация позволяет создать относительно простую, легкую, достаточно надежную и дешевую аппаратуру, пригодную для эксплуатации (*высокопроизводительную*) в сложных полевых условиях. Однако зачастую для решения поставленной задачи (*особенно при изучении сложных геоэлектрических сред в рудных областях*) требуется проведение исследований несколькими электроразведочными методами и их модификациями (*применение рационального электроразведочного комплекса с целью получения более достоверного и полноценного исходного материала*). При этом приходится преодолевать значительные трудности на разных стадиях работ, связанные с особенностями конкретно применяемых узкоспециализированных методик (*при полевых измерениях в результате использования разной аппаратуры со специфическим оборудованием, обработки данных конкретно встроенным программным обеспечением и совместной интерпретации зачастую трудно сопоставимых результатов*).

Традиционно сложилось так, что и сегодня почти все виды серийно-выпускаемой электроразведочной аппаратуры можно объединить в пять основных классов (*по признакам близости определяемых параметров, принимаемых и измеряемых сигналов и общности структурных и функциональных схем*) (Бобровников и др., 1985; Электроразведка, 1989), поз-

воляющих выполнять электроразведочные исследования с использованием:

- постоянных и очень медленно изменяющихся электрических полей искусственного и естественного происхождения,
- нестационарных искусственных электромагнитных полей,
- электромагнитных полей звуковых и инфразвуковых частот,
- полей радиочастот,
- естественных электромагнитных полей Земли, изменяющихся по случайным законам.

Следует обратить внимание, что в этой классификации отсутствуют способы исследований методом блуждающих токов, основанные на изучении геоэлектрической среды в промышленно развитых регионах по особенностям пространственно-временного распределения нестационарного **техногенного электромагнитного поля (ТЭМП)**. Теоретическим основам, методике измерений, обработки и интерпретации данных посвящено немало работ (Инструкция ..., 1984; Скважинная ..., 1989; Электроразведка, 1989; Матевосян, 2003), и несмотря на непрерывно возрастающую актуальность таких электроразведочных работ, ввиду сложного особо-изменчивого характера проявления техногенного электрического поля (*изменяющегося непредсказуемым (случайным) образом*) в реальной геоэлектрической среде и отсутствия современной многофункциональной измерительной аппаратуры с соответствующим программным обеспечением, указанный метод никак не находит своего должного применения.

Теоретические основы единой (*оптимизированной*) методики электроразведочных исследований гальваническим (*контактным*) способом векторных измерений приведены в (Матевосян, 2003), где на большом конкретном материале (*путем математического моделирования и численных расчетов, физического моделирования и опытно-методических полевых исследований*) показана высокая эффективность таких изысканий. Кроме этого следует подчеркнуть, что выполнение рационального электроразведочного комплекса (*внутриметодное комплексирование*), в итоге позволяет получить высокоинформативный интерпретируемый материал, пригодный для продуктивного сопоставления с данными, полученными другими геолого-геофизическими методами.

В связи с этим разработка и создание более универсальной научно-исследовательской аппаратуры, позволяющей выполнять экспериментальные (*полевые и лабораторные*) комплексные опытно-методические и производственные электроразведочные работы многими методами и их модификациями, и сегодня не потеряла свою актуальность.

Очевидно, что решение поставленной задачи должно быть основано на применении системного подхода исследований. Основным звеном таких работ является регистрация полного (*суммарного*) электрического поля (*минимизацией ограничений и без фильтраций*) в широком динамическом и частотно-временном диапазоне, высокая скорость измерений и извлечение требуемой информации на стадии обработки данных с приме-

нением разнообразных специальных программ при выполнении исследований каждым электроразведочным методом. Кстати, следует отметить, что общепринятое подавление гармонической помехи промышленной частоты непосредственно в процессе измерений электрических полей в итоге понижает информативность, а зачастую, и объективность (*эффективность*) электроразведочных исследований.

При решении многих геофизических задач нет необходимости использования самых чувствительных и высокоточных современных измерителей. С другой стороны в задачах электроразведки часто необходимы длительные серии измерений нестационарных электромагнитных полей естественного, искусственного и техногенного происхождения. В связи с этим к приборам предъявляются жесткие требования по стабильности и длительности автономных измерений с возможностью запоминания длинных непрерывных рядов данных (*надежность измерительной аппаратуры*) и максимальной визуализацией всего процесса регистрации в интерактивном режиме измерений.

Неоспоримым достоинством универсального системного подхода измерений также является получение полноценного более объективного высокоинформативного исходного материала, применимого и в дальнейшем при последующем изучении конкретной данной геоэлектрической среды с использованием новых и совершенствованных компьютерных программ обработки и интерпретации данных без каких-либо ограничений. Разработка такого многоцелевого научно-исследовательского измерительного комплекса выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН Армении в рамках научного проекта № 15Т-1Е418.

Многофункциональная электроразведочная многоканальная измерительная аппаратура «*Vector-Geo*» предназначена для полноценных лабораторных электрометрических исследований (*петрофизика – изучение удельного электрического сопротивления, поляризуемости образцов горных пород, руд и моделей; физическое моделирование с использованием встроенного маломощного универсального генератора прямоугольных импульсов, работающего в разных временных режимах измерений*). Разработанный комплекс может быть применен при полевых геофизических работах (*электроразведка – методами сопротивлений в различных модификациях, вызванной поляризации в широком частотно-временном диапазоне с применением основных и специфических временных режимов измерений, заряда – с использованием практически любого серийно выпускаемого электроразведочного генератора постоянного или низкочастотного тока; блуждающих токов, естественного поля, теллурических токов и др.*).

«*Vector-Geo*» является компьютеризированным контрольноизмерительным комплексом на базе реконфигурируемой модульной платформы *CompactRIO* компании *National Instruments* (США). В состав комплекса

также входят различные модули ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов.

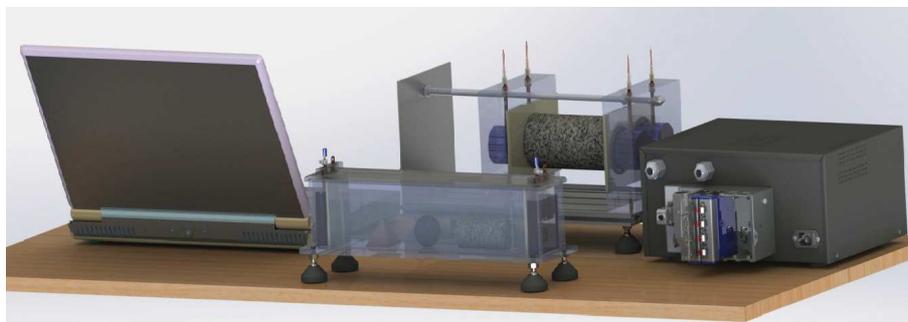


Рис.1. Внешний вид лабораторного комплекса при исследовании петроэлектрических характеристик образцов и моделей горных пород и руд.

*National Instruments* является одним из мировых лидеров в технологии виртуальных приборов и в разработке и изготовлении аппаратного и программного обеспечения для систем автоматизированного тестирования (<http://www.ni.com/company>).

Основные технические характеристики измерителя «*Vector-Geo*»:

- наличие программируемых логических интегральных схем (ПЛИС),
- частота оцифровки – 500, 50 кГц/канал,
- разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) – 16, 24 бит,
- количество каналов – 4, 8, + ...,
- входной диапазон напряжения –  $\pm 10$  В,  $\pm 0.5$  В,
- тип каналов – полностью изолированные, дифференциальные (*межканальная электрическая изоляция – 1000 В*),
- операционная система реального времени,
- тип датчиков – электрические диполи MN,
- входное сопротивление – не менее 1 ГОм,
- диапазон внешнего питающего напряжения –  $9 \div 30$  В,
- диапазон рабочих температур –  $(-10 \div +45)^\circ\text{C}$ .

Аппаратура «*Vector-Geo*» может использоваться с персональным компьютером (ноутбуком), связь с которым осуществляется по интерфейсу USB или Ethernet.

Для регистрации управления всем контрольноизмерительным комплексом разработано специальное программное обеспечение, написанное в графической среде программирования *LabVIEW* (Евдокимов Ю.К. и др., 2007; Федосов В.П., и др., 2007; Bitter R., 2016).

**LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)** — это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы **National Instruments**. **LabVIEW** используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами.

Программное обеспечение позволяет оперативно настраивать параметры генерации прямоугольных импульсов и каналов сбора данных, производить измерения и выполнять предварительную обработку с выводом результатов на различные графические и цифровые индикаторы в реальном масштабе времени, а также записывать данные в *TDMS*-файлы (при необходимости для непрерывного просмотра \прокрутки частично или всего процесса измерений с использованием программного пакета *NI Diadem*), графические \*.png-файлы в требуемые моменты регистрации электрических полей в реальном масштабе времени и *Excel*-файлы для

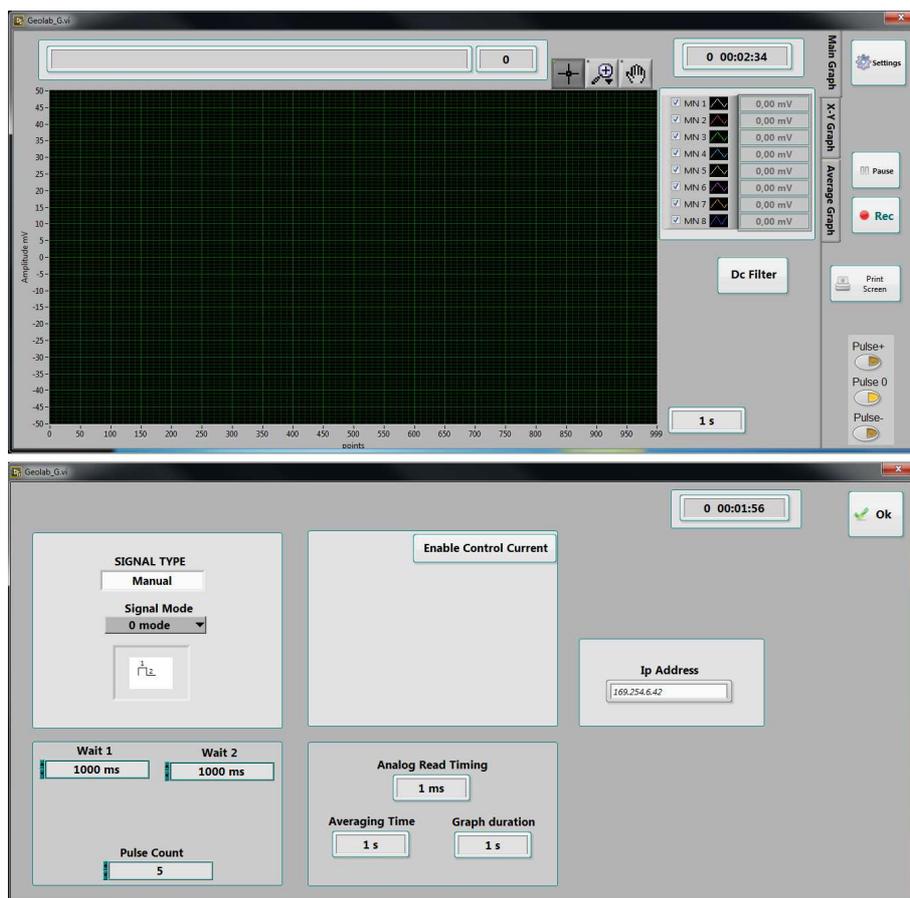


Рис. 2. Основные панели программного обеспечения для управления процессом измерений в интерактивном режиме.

дальнейшей многосторонней обработки и интерпретации данных (рис.2). Программное обеспечение также позволяет применять различные фильтры, настраивать их параметры, строить спектральные графики и т.д. Предусмотрены стандартные наборы настроек оптимальные для производства геофизических работ тем или иным методом, а также возможность установления практически любых настроек, выбор которых осуществляется с помощью главного меню программного обеспечения.

Представленный комплекс снабжен:

- 8-канальным электротехническим эквивалентным имитатором неоднородной геоэлектрической среды, используемым как для контроля и калибровки измерительной аппаратуры, так и оперативного наглядного освоения аппаратуры и прилагаемого программного обеспечения,
- внешним питанием для продолжительной работы ноутбука в автономном режиме.

К нему предусмотрено также подключение дополнительного большого монитора, с целью:

- оперативного и продуктивного наблюдения за всем процессом измерений,
- интерактивного регулирования и контроля различных измеряемых параметров,
- подбора и корректировки вычисляемых и представляемых наиболее информативных зависимостей в реальном масштабе времени.

Гибкая структура и возможность программным образом определить функциональность аппаратуры позволяет легко изменять ее конфигурацию (*количество и тип каналов добавлением и заменой стандартных модулей*) при минимальных материальных затратах, что в целом кардинально повысит эффективность многоцелевых научно-исследовательских работ.

Комплекс снабжен взаимозаменяемым и совместимым полевым и лабораторным вспомогательным оборудованием, позволяющим практически выполнять научно-исследовательские работы большинством электроразведочных методов (*кроме высокочастотных*) и их модификациями. К примеру, в состав лабораторного комплекса для изучения петроэлектрических характеристик входят аппаратно-программный измеритель «*Vector-Geo*», лабораторные электролитические установки и компьютер (рис.1). Кстати отметим, что прототип стенда «**Лабораторные исследования электрических свойств горных пород и руд**» был представлен на ежегодной выставке высоких технологий *Digitec (Yerevan EXPO-2016)*, а в 2017 году данная концепция в качестве учебно-исследовательского стенда была представлена на ежегодной выставке *NI Week* компании *National Instruments* в городе Остин (США), где также вызвала большой интерес у исследователей в данной области, представителей компании и посетителей.

Универсальность созданной аппаратуры послужит основой для разработки конкретных опытных промышленных образцов узкоспециализированной (*специфической*) относительно недорогой электроразведочной аппаратуры при работах разными методами и их модификациями в лабораторных (*при физическом моделировании и петроэлектрических исследованиях*) и полевых условиях.

Разработанный комплекс также позволит оптимизировать проводимые исследования ранее предложенными способами геоэлектроразведки и изучения электрических свойств образцов горных пород и руд, петроэлектрических характеристик и зависимостей геоэлектрических моделей (*авторские свидетельства СССР №№ 1179243, 1249607, 1193619, 1350640, 1704120 и 1300369*).

Авторы выражают глубокую благодарность Гегаму Бабяну и Геворку Касарджяну (Nairi-Tech) за неоценимую помощь на всем протяжении разработки представленного аппаратно-программного комплекса, а также признательность сотрудницам ИГН Нуне Авакян и Нарине Гюрджян, принявших активное участие в лабораторных испытаниях опытного образца измерительной аппаратуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бобровников Л.З., Кадыров И.Н., Попов В.А.** Электроразведочная аппаратура и оборудование. М., Недра, 1985, 332 с.
- Евдокимов Ю.К. Линдваль В.Р. Щербаков Г.И.** LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. М., МДК Пресс, 2007, 400с.
- Инструкция по электроразведке.** Л., Недра, 1984, 352с.
- Матевосян А.К.** Разработка теоретических основ методики векторной съемки. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора физ.-мат. наук, Ереван. ИГН НАН РА, 2003.
- Скважинная и шахтная рудная геофизика.** Справочник геофизика. М., Недра, 1989, в двух книгах 320 и 440с.
- Федосов В.П., Нестеренко А.К.** Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. М., ДМК Пресс, 2007, 456с.
- Электроразведка.** Справочник геофизика. М., Недра, 1989, в двух книгах – 438с, 378с.
- Bitter R., Mohiuddin T., Nawrocki M.** LabVIEW Advanced Programming Techniques, Second Edition. ISBN 0-8493-3325-3, 2016, 505p.

*Рецензент А.Галстян*

#### ԲԱԶՄԱՏՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ԷԼԵԿՏՐԱԶՎԵՏԱԽՈՒԶԱԿԱՆ ՀԱՓՄԱՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ «Vector-Geo»

**Ա.Վ. Մաթևոսյան, Գ.Ա. Բարսյան**

Ամփոփում

Հողվածում ներկայացված է մշակված բազմաֆունկցիոնալ բազմա-ալիք չափման սարքավորման «Vector-Geo» կիրառման ոլորտն ու բերված են նրա հիմնական տեխնիկական բնութագրերն և մրցակցային

առավելությունները: Իր ֆունկցիոնալ առանձնահատկությունների շնորհիվ, այն կարող է լայնորեն օգտագործվել էլեկտրահետախուզական գիտահետազոտական աշխատանքներում:

Առաջարկվող համալիրը նաև կարող է օգտակար լինել ուսումնական և գործնական նյութերի արդյունավետ յուրացման ժամանակ «*Լեռնային ապարների և հանքաքարի նմուշների ու մոդելների էլեկտրական հատկությունների ուսումնասիրություն*» և «*Ֆիզիկական մոդելավորում՝ էլեկտրահետախուզության գործնական աշխատանքներ*» լաբորատոր դասընթացներում:

### **MULTIFUNCTIONAL MEASURING EQUIPMENT «*Vector-Geo*» FOR ELECTRICAL PROSPECTING**

**A.K. Matevosyan, G.A. Babayan**

#### Abstract

The article presents the field of application and gives the main technical characteristics and the main features of the developed multi-purpose hardware-software measuring device "*Vector-Geo*". Due to its functional features, it can be widely used in research electrical survey. The proposed complex can be useful for effective mastering of educational and practical material on the laboratory courses "*Petroelectric studies of samples and models of rocks and ores*" and "*Physical modeling - Electrical prospecting workshop*".