

**МГУ им. Ломоносова
ФГУП ВНИИМС**

**Некоторые вопросы
метрологического обеспечения
инженерно-геофизических изысканий.**

**электроразведка
методами сопротивления и ВП**

Марченко М.Н., Станкевич В.И.,
Терещенко А.Ю., Краснополин И. Я.,
Модин И.Н., Селиванов Д.Б., Монахов В.В.

г. Москва, 2013 г.

Авторы:

Марченко М.Н.⁽¹⁾, Станкевич В.И.⁽³⁾,
Терещенко А.Ю.⁽²⁾, Краснополин И. Я.⁽²⁾,
Модин И.Н.⁽¹⁾⁽⁶⁾, Селиванов Д.Б.⁽⁴⁾,
Монахов В.В.⁽⁵⁾

⁽¹⁾ – Кафедра геофизических методов исследования земной коры Геологического ф-та МГУ им. Ломоносова;

⁽²⁾ – ФГУП Всероссийский НИИ метрологической службы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ (ВНИИМС);

⁽³⁾ – «Javad GNSS»;

⁽⁴⁾ – ООО ЭМКО Электромеханическая компания;

⁽⁵⁾ – ООО «НПЦ Геотех»;

⁽⁶⁾ – ООО «НПЦ Геоскан».

Аннотация

В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы стандартизации производства инженерно-геофизических изысканий применительно к электроразведочным работам.

Рассматриваются отдельные организационные и методические вопросы метрологического обеспечения электроразведочной аппаратуры для методов сопротивлений и ВП. Даны рекомендации по методике испытаний аппаратуры для ВП.

Приведены примеры метрологических работ выполненных сотрудниками ФГУП Всероссийский НИИ метрологической службы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ (ВНИИМС), по испытаниям электроразведочного измерителя ЭНИКС-01 (разработка и производство ООО ЭМКО, г. Москва).

В работе приводятся как данные справочного характера, так и практические советы и рекомендации для производителей и пользователей электроразведочной аппаратуры.

СП 11-105-97 СВОД ПРАВИЛ. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть. I. Общие правила производства работ:

4.9. Средства измерений, используемые для производства инженерно-геологических изысканий, на основании закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» должны быть аттестованы и проверены в соответствии с требованиями нормативных документов Госстандарта России ([ГОСТ 8.002-86](#), ГОСТ 8.326-78 и др.).

Организации, выполняющие инженерно-геологические изыскания для строительства, должны вести учет средств измерений, подлежащих поверке в установленном порядке. [1]

СП 11-105-97 СВОД ПРАВИЛ. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований:

4.5. Геофизические методы должны быть обеспечены:
соответствующей аппаратурой, точность которой должна обеспечивать решение поставленной задачи, с полным комплектом необходимого оборудования;
корректными системами наблюдений в различных условиях проведения исследований;
надежными способами интерпретации результатов измерений. [2]

Введение

Выполнение электроразведочных работ регламентируются многими нормативными документами (инструкциями, СНиПами), положения которых требуют унификации технологий проектирования работ, выполнения полевых наблюдений, способов обработки и интерпретации полученных материалов и оформления результатов. Целью стандартизации используемых технических средств является повышение безопасности проектируемых зданий и сооружений.

Основные задачи процесса стандартизации производства инженерно-геофизических изысканий включают в себя:

- определение критериев выбора технологий решения для каждого класса задач, качественное проектирование работ,
- определение критериев выбора аппаратуры,
- контроль соблюдения технологии проведения работ.

Не последнее место занимает борьба с грубыми нарушениями технологии работ, использования непроверенной, иногда неработающей аппаратуры, попытками внедрения научно необоснованных технологий.

Большую работу по стандартизации геофизических методов, методик полевых наблюдений, алгоритмов интерпретации выполняют общественные геофизические организации. Например, в Евро-Азиатском геофизическом обществе (ЕАГО) сформирован экспертный совет, дающий заключения по корректности работы аппаратуры, методик наблюдений, способов обработки данных. Обращения производителей и пользователей за экспертными заключениями являются сугубо добровольными.

Метрологический контроль геофизических средств измерений является важной составной частью системы стандартизации такой технически сложной отрасли производства как инженерно-геологические изыскания.

Настоящая статья написана по материалам, полученным при испытаниях нового электроразведочного измерителя ЭНИКС-01 выполненных в марте-апреле 2013 г.

В работе рассматриваются некоторые организационные и методические вопросы метрологического обеспечения электроразведочных инженерно-геофизических изысканий методами сопротивлений и вызванной поляризации.

Часть 1.

Общие вопросы стандартизации и метрологического обеспечения электроразведочных работ

Нормативно-правовая база стандартизации и метрологии электроразведочной аппаратуры

Полевая геофизическая аппаратура внесена в общероссийский каталог продукции (ОКП) и относится к разделу 4314 «аппаратура и оборудование для полевых геофизических исследований».

На сегодняшний день в Российской Федерации отсутствуют утвержденные государственные стандарты, нормативы и требования к электроразведочной аппаратуре. В связи с этим для разработчиков и пользователей существует избыточное пространство для маневра при разработке и выборе приборов.

Законодательством предусматривается только добровольная метрологическая сертификация электроразведочной аппаратуры, которая, как правило, выполняется только при жестких требованиях со стороны Заказчика инженерно-геофизических работ.

Кроме этого, для электроразведочных генераторов необходимы являются технические испытания на соответствие требований электробезопасности и экологической безопасности.

Основные виды испытаний электроразведочных средств измерений (СИ)

Существует несколько путей метрологического обеспечения какого-либо типа или экземпляра приборов.

Наиболее адекватным и надежным можно назвать проведение испытаний в целях утверждения типа средств измерений (СИ). В этом случае испытания выполняются специализированными организациями по заявке производителя на основе конструкторской и рабочей документации на прибор (в частности, ТУ). По результатам успешных испытаний аппаратура утверждается как новый тип СИ. Этот тип вносится в государственный реестр средств измерений, создается и утверждается единая методика поверки, утверждается

межповерочный интервал. Аппаратура, сертифицированная подобным образом, поверяется любым аккредитованным метрологическим учреждением на территории РФ.

Если испытаний в целях утверждения типа не проводилось, тогда каждый экземпляр прибора по мере необходимости должен проходить процедуру калибровки. Калибровку при этом может выполнять только аккредитованное метрологическое учреждение. По результатам процедуры выдается сертификат калибровки с указанием параметров аппаратуры и полученных значений неопределенности измерений (погрешностей). Поскольку общих требований к электроразведочной аппаратуре нет, то значения погрешностей могут быть разными. Ограничивающим фактором здесь является контроль со стороны супервайзеров и лиц, проводящих экспертную оценку результатов. Именно они могут указать, например, что с генератором и измерителем, которые имеют приборные погрешности в 3 и 2,5 %, соответственно, нельзя получить требуемую погрешность полевых наблюдений не более 5 %.

На 1 апреля 2013 г. в Госреестр РФ средств измерений был внесен только один тип аппаратуры для электроразведки методом сопротивлений – «комплексы электроизмерительные низкочастотные для полевых геофизических исследований ЭРП-1». В настоящее время выполняются работы по сертификации еще 1-2 приборов этого класса.

В марте 2013 г. в ФГУП «ВНИИМС» выполнены испытания в целях утверждения типа средств измерений «Измерители электроразведочные низкочастотные ЭНИКС-01» (производство ООО ЭМКО, г. Москва). Внесение прибора ЭНИКС-01 в Госреестр СИ РФ и получение сертификата запланировано на лето 2013 г.

Типовые средства испытаний

Для выполнения метрологических операций применяется специальное оборудование.

Для работы с электроразведочными приборами наиболее часто метрологами используются следующие виды эталонных средств измерений и мер:

- магазины электрических сопротивлений типа Р4834;

- магазины емкостей типа P5025;
- калибраторы универсальные типа Fluke 5720A, 5520A, 9100;
- генераторы сигналов произвольной формы типа 33220A;
- мультиметры типа 3458A,
- осциллографы цифровые (погрешность коэффициента отклонения $\pm 1,5 \%$),
- частотомеры электронно-счетные вычислительные ЧЗ-64,
- аттенюаторы.

Все используемое оборудование должно быть поверено (калибровано) в установленном порядке.

При выборе испытательной аппаратуры необходимо внимательно следить за паспортными значениями погрешностей в рабочей полосе частот. Многие эталонные приборы отвечают требуемой точности только для частот более 10 Гц, что не подходит для решения рассматриваемых задач.

Метрологические параметры электроразведочной аппаратуры, подлежащие контролю

Согласно требованиям, все применяемые в электроразведке средства измерений (СИ) должны подвергаться контролю [1]. Электроразведочная аппаратура, как правило, подразделяется на генераторные и измерительные устройства. Зачастую генераторы и измерители объединяют в виде единого аппаратного комплекса. В последние десятилетия трудно представить аппаратуру без участия микропроцессоров. В силу чего речь уже идет об аппаратно-программных комплексах.

Для контроля работоспособности аппаратуры необходимо сформулировать требования к ней, а именно:

1. дать определение параметров, подлежащих контролю,
2. указать допустимые пределы изменений параметров,
3. указать типы и допустимые пределы погрешностей измерения параметров.

Для испытаний и поверки приборов применяются утвержденные меры или эталонные СИ.

Для электроразведочных методов, регламентированных для применения при инженерно-геофизических изысканиях, список измеряемых параметров весьма внушителен.

Основные метрологически значимые параметры электроразведочных генераторов следующие: рабочие частоты; сила выходного тока; диапазоны допустимых нагрузок; требования к форме сигнала – крутизна фронтов, коэффициенты соотношения гармоник и некоторые другие.

Для электроразведочных измерителей список основных метрологически значимых параметров значительно шире:

- чувствительность, полоса пропускания первичных преобразователей;
- входное сопротивление;
- рабочие частоты и полоса пропускания измерительного тракта;
- напряжение переменного тока; напряжение постоянного тока;
- фазовый сдвиг между током генератора и напряжением переменного тока на входе измерителя;
- фазовый сдвиг между отдельными гармониками напряжения переменного тока на входе измерителя;
- углы наклона эллипса измеряемого электромагнитного поля;
- реальные и мнимые компоненты электромагнитного поля или их отношение;
- времена стробирования.

В приведенном разнообразии параметров аппаратуры, имеющих непосредственное влияние на конечный результат геофизических работ, выбор корректных методов метрологических испытаний приборов является задачей нетривиальной.

Осложняющим фактором метрологического обеспечения электроразведочной аппаратуры является отсутствие утвержденных в РФ государственных стандартов к этим видам средств измерений (СИ). Основным критерием выбора производителями пределов погрешностей измеряемых параметров являются нормативы на максимальную погрешность полевых наблюдений [3, 4] – как правило, это 5 % для кажущегося сопротивления. Отсюда, принято считать, что суммарная погрешность генератора и измерителя для методов

сопротивлений не должна превышать 2-3 % (оставляя запас на методические погрешности полевых работ).

Разные производители аппаратуры заявляют пределы погрешностей основных параметров как в 4%, так и менее 1%. Причем заявленные значения точностей не всегда подтверждаются документально, а зачастую объявляются «расчетными».

Метрологически значимое программное обеспечение

Как правило, в состав испытываемой аппаратуры входят микроконтроллеры, управляемые встроенным программным обеспечением (ПО) или используется внешнее ПО для регистрации и выполнения измерений. Такое программное обеспечение также требует регистрации и контроля. Процедура сертификации ПО трудна и громоздка. По возможности, производители избегают этих сложностей.

На практике, считается, что ПО отдельной регистрации и контролю не подлежит если:

- ПО реализовано аппаратно, заносится в программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) приборов предприятием-изготовителем,
- ПО не доступно для изменения пользователем, а увидеть наименование встроенного ПО, его версию или номер не представляется возможным.

Часть 2.

Методические аспекты испытаний аппаратуры для методов сопротивлений и ВП

Методические аспекты испытаний аппаратуры для метода сопротивлений

Стандартным для метрологов способом при испытании комплекта электроразведочной аппаратуры является разделение комплекта отдельно на генератор и измеритель. Испытания генератора выполняют по стандартным методикам для генераторов тока, а испытания измерителя делают как для микровольтметра (низкочастотного или постоянного тока). Метод испытаний – метод прямых измерений или метод непосредственного сличения. Используются калибраторы, генераторы сигналов, частотомеры и высокоточные эталонные вольтметры. Такой подход является методически наиболее простым, но требует от производителей достижения сравнительно высоких точностей и стабильности в работе генератора и измерителя по отдельности.

Некоторую сложность представляет выполнение испытаний приборов для амплитуд эталонных сигналов менее 10 мВ. Такие амплитуды недоступны для большинства калибраторов на частотах менее 10 Гц. В этом случае могут применяться аттенюаторы или делители напряжения на магазинах сопротивлений.

Некоторые разработчики заявляют в качестве контролируемого параметра отношение измеренного измерителем напряжения к силе выходного тока генератора. В этом случае испытания выполняют на **эталонных резисторах** (магазинах сопротивлений). Недостатком такого способа поверки является необходимость работы только поверенной парой генератор-измеритель. Совместное использование генераторов и измерителей от разных производителей или из разных комплектов аппаратуры метрологически некорректно.

В некоторых видах аппаратуры разработчики уходят от некоторых требований к генераторам путем автоматического непрерыв-

ного измерения выходного тока. Обычно такие схемы применяют при использовании многоканальных измерителей. В этом случае, метрологически значимыми являются только измерительные части комплекса. Примером аппаратуры описанного класса является станции электротомографии (Syscal, Омега-48 и др.).

Методические аспекты испытаний аппаратуры для ВП.

Измерения вызванной поляризации обычно выполняют одним из трех способов:

- измерение кривой спада (или заряда) во временной области;
- измерение фазового сдвига $\Delta\phi_{ВП}$ между первыми гармониками выходного тока генератора и напряжения переменного тока на входе измерителя (ИНФАЗ-ВП);
- амплитудно-частотный способ - измерение напряжения переменного тока на разных частотах :

$$PFE = \frac{A\omega_1 - A\omega_3}{A\omega_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

- фазово-частотный способ - измерение дифференциального фазового параметра (ДФП) напряжения переменного тока на входе измерителя

$$ДФП = \frac{\omega_3 \cdot \varphi_1 - \omega_1 \cdot \varphi_3}{\omega_3 - \omega_1} = \frac{3\omega_1 \cdot \varphi_1 - \omega_1 \cdot \varphi_3}{3\omega_1 - \omega_1} = \frac{3 \cdot \varphi_1 - \varphi_3}{2}, \quad [\text{градусы}] \quad (2)$$

где ω_1, ω_3 – циклические частоты первой и третьей гармоник, а φ_1, φ_3 – фазы первой и третьей гармоник напряжения переменного тока на входе измерителя.

Для выполнения испытаний измерительной аппаратуры ВП во временной области и в варианте ИНФАЗ-ВП необходимо создать установку-схему, имитирующую процесс ВП. Для этой цели можно применять

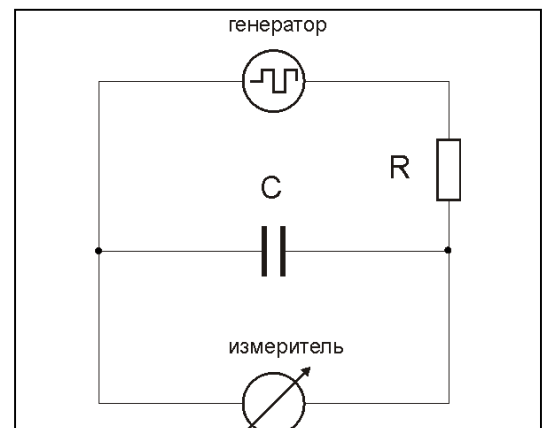


Рис. 1. Вариант схемы эксперимента для имитации процесса ВП с применением функционального генератора.

интегрирующую RC цепь с известной постоянной времени кривой спада. Один из возможных вариантов схемы представлен на рис. 1. Возбуждение схемы выполняется функциональным генератором переменного напряжения в форме однополярных прямоугольных импульсов (меандр с постоянной компонентой) или синусоидальной формы.

Для получения значимых значений сдвига фаз необходимо выполнить условие: постоянная времени цепи должна быть сравнима с периодом входного меандра.

Сложность работы с описанной установкой заключается в обеспечении высоких точностей и стабильности описанного «эталона», минимизации влияния паразитных емкостей и индуктивностей соединительных линий и проводов.

Одним из возможных приемов для борьбы с нестабильностью параметров RC цепи является сравнение показаний испытуемого прибора, подключенного к описанной схеме, с показаниями эталонного СИ. Также можно порекомендовать выполнять измерения значений R и C используемых элементов высокоточными RLC-измерителями.



Рис. 2. Осциллограммы напряжений на выходе генератора (сверху) и на входе измерителя (снизу) для RC цепи, изображенной на Рис. 1.

ВП во временной области

Испытания аппаратуры для ВП во временной области могут выполняться почти аналогично аппаратуре для метода сопротивлений. Единственное отличие – необходимо дополнительно поверять временные задержки и интервалы, используемые при измерениях кривой спада и значения напряжения ВП.

Кривая спада получается с помощью схемы, представленной на рис. 1. и возбуждаемой генератором напряжения в форме однополярных прямоугольных импульсов (меандр с постоянной компонентой). В этом случае кривая спада описывается выражением:

$$\Delta U_{ВП}(t) = U_{генератора} \cdot e^{-t/RC}, [В] \quad (3)$$

Результаты измерений испытуемой аппаратуры сравниваются с данными эталонного осциллографа или с результатами, полученными по формуле (3).

Используются магазины электрических сопротивлений и емкостей, генераторы напряжения прямоугольной формы и высокоточные цифровые осциллографы.

ВП в модификации ИНФАЗ-ВП

Испытания аппаратуры для ВП в модификации ИНФАЗ-ВП можно выполнять с помощью эталонных средств измерения сдвига фаз. В данном случае измерению подлежит сдвиг фаз между током генератора и сигналом измерителя.

Сдвиг фаз получается с помощью схемы, представленной на рис. 1. и возбуждаемой генератором переменного напряжения гармонической формы. В этом случае, фазовый сдвиг $\Delta\phi_{ВП}$ между первыми гармониками выходного тока генератора и напряжением переменного тока на входе измерителя (технология ИНФАЗ-ВП) зависит от частоты меандра и описывается выражением:

$$\Delta\phi_{ВП} = -\arctg(\omega RC) \cdot 360/2\pi, [\text{град.}] \quad (4)$$

Результаты измерений испытуемой аппаратуры сравниваются с данными эталонного осциллографа или фазометра или с результатами, полученными по формуле (4).

Используются магазины электрических сопротивлений и емкостей, генераторы напряжения прямоугольной формы и высокоточные фазометры или двухканальные цифровые осциллографы.

ВП в модификации амплитудно-частотных измерений

Испытания аппаратуры для ВП в модификации амплитудно-частотных измерений выполняются различными способами для разных технологий выполнения измерений.

Для технологии с отдельным измерением напряжения переменного тока на разных частотах и последующим вычислением PFE испытания выполняются полностью аналогично аппаратуре для метода сопротивлений.

При технологии измерения PFE на многочастотном сигнале (типа меандр) с анализом различных гармоник, в качестве эталона можно использовать сигнал в форме высокоточного меандра, задаваемого прецизионным генератором или калибратором. Для такого сигнала известен спектральный состав и значения амплитуд разных гармоник.

ВП в модификации фазово-частотных измерений

Для испытания аппаратуры для ВП в модификации фазово-частотных измерений можно применять высокоточные генераторы сигналов специальной (произвольной) формы. Таким генератором можно сформировать сигнал, содержащий первую и третью гармоники и задать сдвиг фаз этих гармоник. Результаты измерений испытываемой аппаратурой сравниваются с эталонным (заданным в генераторе) сдвигом фаз. Пример таких испытаний для измерителя ЭНИКС-01 приведен в разделе 3.

Другим способом является получение сдвига фаз между гармониками с помощью схемы, представленной на рис. 1. и возбуждаемой генератором напряжения в форме однополярных прямоугольных импульсов (меандр с постоянной компонентой). В этом случае дифференциальный фазовый параметр согласно уравнениям (2) и (4) описывается выражением:

$$ДФП = \frac{\arctg(3\omega RC) - 3 \cdot \arctg(\omega RC)}{2} \cdot \frac{360}{2\pi} \quad (5)$$

Результаты измерений испытываемой аппаратуры сравниваются с результатами вычислений по формуле (5).

Используются магазины электрических сопротивлений и емкостей, генераторы напряжения прямоугольной формы.

Пример результатов измерений дифференциального фазового параметра на RC цепи с измерителем ЭНИКС-01 приведен в таблице 1.

Таблица 1

Пример опытных измерений ДФП на RC цепи измерителем ЭНИКС-01

С, мкФ	Р, Ом	Рабочая частота, Гц	расчетные значения ДФП, градусы	результаты изме- рений ДФП аппа- ратурой ЭНИКС-01, градусы	расхождение, градусы
4,7 ± 5%	3900 ±5%	9,77	-35,79 ± 3,5	-36,0	+0, 21
		4,88	-14,35 ± 2,4	-14,6	+0,25
		2,44	-3,48 ± 0,8	-3,8	+0,32
		1,22	-0,57 ± 0,2	-0,7	+0,13

Расхождения расчетных и измеренных значений ДФП, полученные для измерителя ЭНИКС-01 и приведенные в таблице 2, носят систематический характер и связаны с погрешностями номиналов R и C схемы.

Прим. В приведенных выражениях используются следующие обозначения: $U_{\text{генератора}}$ – амплитуда переменного выходного напряжения источника в форме меандр, t – время задержки, ω – циклическая рабочая частота генератора, R, C – номиналы резисторов и емкостей схемы на рис. 1.

Часть 3.

Пример испытаний аппаратуры для метода сопротивлений и ВП

В качестве иллюстрации изложенных положений, приведем фрагменты испытаний Измерителя электроразведочного низкочастотного ЭНИКС-01.

Измеритель ЭНИКС-01 позволяет выполнять измерения:

- напряжения постоянного тока,
- напряжения переменного тока,
- дифференциального фазового параметра напряжения переменного тока.

Прим. - под напряжением переменного тока понимается сигнал прямоугольной формы типа «меандр».

Испытания выполнены в марте-апреле 2013 г. ФГУП Всероссийский НИИ метрологической службы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ (ВНИИМС). Испытания выполняли начальник сектора отдела 206.1 Терещенко А.Ю и начальник лаборатории 206.3 Краснополин И. Я.

Определение погрешности измерения напряжения переменного тока на частотах менее 10 Гц.

Определение пределов относительной погрешности измерения напряжения переменного тока на частотах менее 10 Гц для измерителя ЭНИКС-01 выполнялись с помощью генератора сигналов специальной формы 33220А. Использование калибраторов для этих целей невозможно, поскольку рабочая полоса частот калибраторов начинается от 10 Гц.

Паспортные данные генератора 33220А не позволяют использовать его в качестве источника эталонных сигналов. Для контроля, выходное напряжение переменного тока генератора измерялось одновременно мультиметром 3458А и измерителем ЭНИКС. Измерительные приборы соединялись параллельно. За эталонные значения принимались результаты измерений мультиметром 3458А. Форма сигнала генератора – меандр.

Погрешность определялась по формуле:

$$\delta U = \frac{U_x - U_0}{U_0} \times 100\% \quad (5)$$

где: U_x – показания поверяемого прибора, В;

U_0 – эталонные значения, В.

Таблица 2

Фрагмент протокола испытаний измерителя ЭНИКС-01
определение погрешности измерения напряжения переменного тока
на частотах менее 10 Гц

рабочая частота, Гц	эталонная амплитуда переменного напряжения, мВ	измеренная амплитуда переменного напряжения, мВ	относительная погрешность, %
4,88	1000,0	1002,0	0,20
	299,56	300,3	0,25
	99,94	100,2	0,26
	30,02	30,08	0,20
	10,009	10,03	0,21

Определение погрешности измерения

напряжения переменного тока на частотах более 10 Гц.

Определение пределов относительной погрешности измерения напряжения переменного тока на частотах 19,53 Гц для измерителя ЭНИКС-01 выполнялись с помощью калибратора универсального

Таблица 3

Фрагмент протокола испытаний измерителя ЭНИКС-01
определение погрешности измерения напряжения переменного тока
на частотах более 10 Гц

рабочая частота, Гц	эффективное значение переменного напряжения калибратора, мВ	амплитуда переменного напряжения калибратора, приведенная к амплитуде меандра, мВ	измеренная амплитуда переменного напряжения, мВ	относительная погрешность, %
19,56	1000,00	1110,72	1112,0	0,12
	300,00	333,22	333,6	0,12
	100,00	111,07	111,2	0,12
	30,00	33,322	33,36	0,12
	10,000	11,107	11,12	0,12
	3,00	3,332	3,33	0,06
	1,00	1,1107	1,11	0,06
	0,30	0,3332	0,333	0,06

Fluke 5720A.

Форма сигнала генератора – синус (гармонический сигнал). Выход калибратора соединяется с входом измерителя ЭНИКС-01.

Номинальным значением выходного напряжения калибратора является эффективное значение. Поэтому, для оценки результатов наблюдений измерителем ЭНИКС-01 в номиналы выходных напряжений калибратора необходимо ввести поправочный коэффициент $\sqrt{2} \cdot \frac{\pi}{4}$, равный, приблизительно 1,1107.

Определение погрешности измерения дифференциального фазового параметра.

Определение пределов абсолютной погрешности измерения дифференциального фазового параметра для измерителя ЭНИКС-01 выполнялись с помощью генератора сигналов специальной формы 33220A (частота дискретизации 50 МГц).

Таблица 4.

**Фрагмент протокола испытаний измерителя ЭНИКС-01
определение погрешности измерения нДФП**

рабочая частота ,Гц	Амплитуда 1-ой гармоники, В	Амплитуда 3-ей гармоники, В	Фаза 1-ой гармоники, градусы	Фаза 3-ей гармоники, градусы	ДФП эталонный, градусы	ДФП измеренный, градусы	Абс. погрешность, градусы
4,88	1	0,3	0	-30	15,0	15,0	0,0
				-20	10,0	10,0	0,0
				-10	5,0	5,0	0,0
				0	0,0	0,0	0,0
				10	-5,0	-4,9	0,1
				20	-10,0	-10,0	0,0
				30	-15,0	-14,9	0,1

Генератором формировался сигнал, содержащий первую и третью гармоники (соотношения амплитуд 3:1, соответственно). Задавались сдвиги фаз этих гармоник (-30, -20, -10, 0, +10, +20, +30 градусов). Выход генератора соединялся с входом измерителя ЭНИКС-01.

Результаты испытаний

Испытания измерителя ЭНИКС-01 показали, что:

- относительная погрешность измерения напряжения переменного тока не превышает 0,26 %;
- абсолютная погрешность измерения дифференциального фазового параметра не превышает 0,1 градуса.

По результатам испытаний, в документацию (в т.ч. ТУ, описание типа) для измерителя ЭНИКС-01 внесены следующие значения параметров:

- предел относительной погрешности измерения напряжения переменного тока - 0,5 %;
- предел абсолютной погрешности измерения дифференциального фазового параметра - 0,2 градуса.

Часть 4.

Метрологические критерии при сравнении электроразведочной аппаратуры

При выборе приборов одного класса возникает задача технического сравнения моделей аппаратуры. Оставляя в стороне ценовой критерий, рассмотрим некоторые метрологические аспекты проблемы.

Для решения таких вопросов проводятся сравнительные испытания приборов. Обычно такие исследования выполняются на геофизических полигонах, эталонных разрезах. Сравнению подвергаются такие характеристики, как погрешности определения кажущегося сопротивления и ВП, точность установки выходного тока генераторов, стабильность выходного тока генераторов и др. Такие сравнительные испытания выполняются не часто и, как правило, не для всей номенклатуры приборов. Сложной проблемой является соблюдение идентичности условий проведения испытаний.

Иногда похожие испытания выполняются в полевых условиях под руководством супервайзеров. Тесты производятся для аппаратуры (комплектов аппаратуры), используемой различными организациями (отрядами или бригадами), в рамках работ по одному проекту. Основная задача такого рода испытаний – определение величины расхождения результатов измерений для всех используемых приборов. Результаты сравнительных испытаний ложатся в основу внутренних документов контроля.

По мнению авторов, для сравнения электроразведочных измерителей для метода сопротивлений можно использовать параметры, характеризующие:

- помехозащищенность устройств;
- возможность выполнения измерений малых сигналов;
- возможность выполнения измерений в условиях низких значений отношения *сигнал/шум*.

В числе прочих критериев сравнения можно использовать такую характеристику измерителей как **зависимость погрешности**

измерения напряжения переменного тока от величины напряжения переменного тока.

Пример сравнения электроразведочной аппаратуры

Авторами выполнено сравнительное исследование измерителя ЭНИКС-01 и аналогичного прибора.

Эксперимент выполнен в условиях высокого уровня промышленных помех. Для минимизации влияния сторонних факторов, все используемые электроды забивались заранее и во время измерений не двигались. Измерения выполнялись с помощью дипольной осевой установки с разносами OO' от 1 до 22 метров. Возбуждение поля выполнялось генератором АСТРА-100 на частоте 4.88 Гц.

В ходе полевого эксперимента выполнялось две серии измерений.

На первом этапе выполнялись измерения кривой зондирования на большом токе в питающей линии. Результаты наблюдений обоими приборами расходились менее чем на 1%, в силу чего, результаты наблюдений в виде dU/I принимались за «эталон» (см. Рис. 3.).

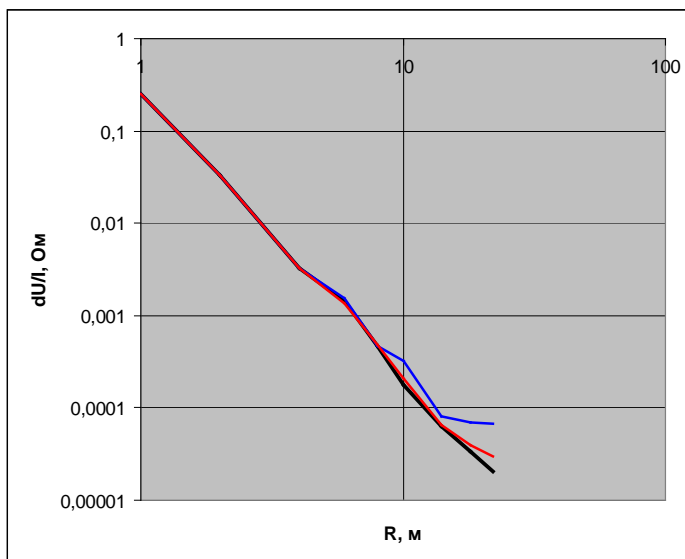


Рис. 3. Графики зависимостей dU/I от разноса.

Черная линия – результаты измерений на больших токах в АВ.

Красная и синяя линии - результаты измерений с малыми токами в АВ измерителем ЭНИКС-01 (красная линия) и аналогичным измерителем (синяя линия).

На втором этапе выполнялись повторные измерения при малом токе генератора. На больших разностях и при малом токе, амплитуда полезного сигнала становилась малой и появлялась возможность оценить качество работы сравниваемых приборов при низком отношении сигнал/шум. Вычислялось отклонение результатов измерений dU/I от «эталона». Результаты наблюдений приведены на Рис. 4.

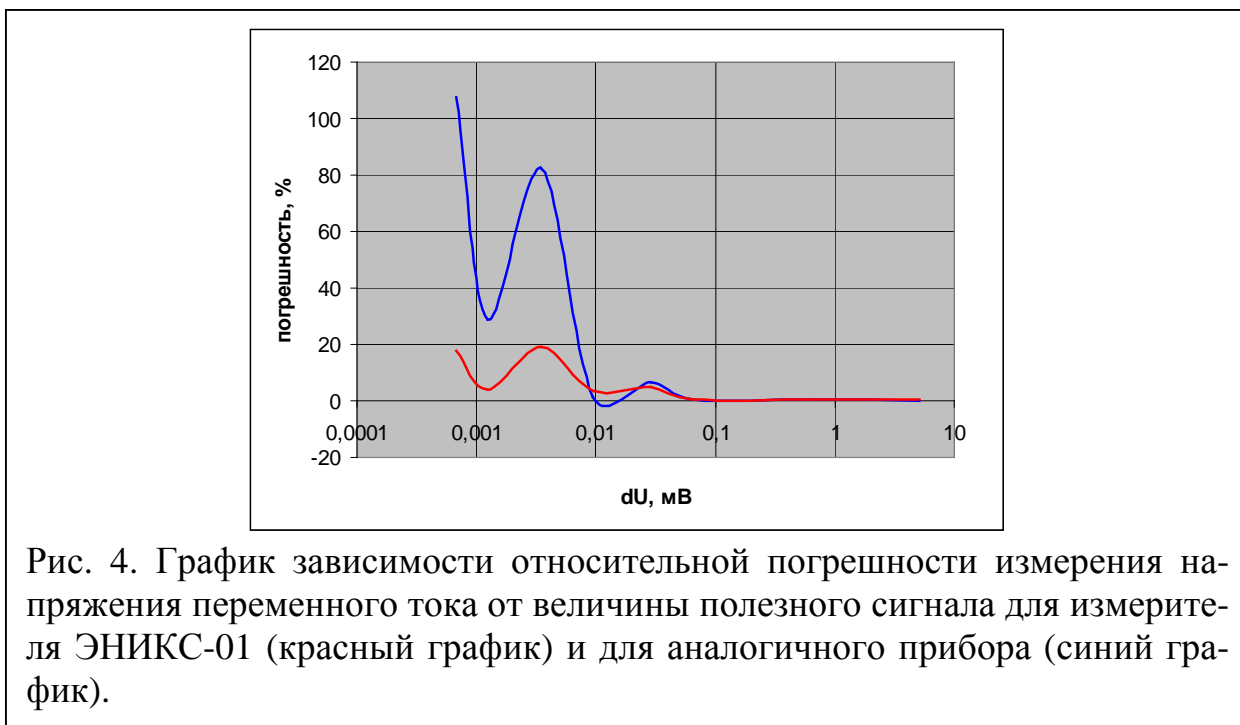


Рис. 4. График зависимости относительной погрешности измерения напряжения переменного тока от величины полезного сигнала для измерителя ЭНИКС-01 (красный график) и для аналогичного прибора (синий график).

На рисунке 4 видно, что на сигналах более 10 мкВ оба прибора ведут себя идентично. Различия наблюдаются на меньших амплитудах. Значительный рост погрешностей для измерителя ЭНИКС-01 наблюдается на сигналах, приблизительно, менее 3 мкВ, а для аналогичного прибора на сигналах менее 8 мкВ.

Результаты сравнительных исследований позволяют утверждать, что измеритель ЭНИКС-01 обладает более высокой помехозащищенностью и чувствительностью по сравнению с используемым аналогичным прибором.

Заключение

Не смотря на то, что электроразведочная аппаратура не подлежит обязательной сертификации в РФ, на практике приходится прилагать значительные усилия, как для контроля работы приборов, так и для контроля результатов геофизических наблюдений.

Вследствие серьезного усложнения электроразведочных приборов, как аппаратурной части, так и программного обеспечения, методы контроля работы аппаратуры усложняются.

Наличие аттестованной аппаратуры позволяет, в некоторой степени, избежать проблем с эксплуатацией приборов. А также, с меньшими усилиями удовлетворять требования и устранять замечания Заказчиков и контролирующих организаций при выполнении работ.

Наличие аттестованной аппаратуры не снимает с эксплуатирующих организаций обязанностей по контролю состояния используемых геофизических приборов и оборудования. Для контроля работоспособности приборов в полевых условиях персонал геофизических отрядов должен обладать специальными знаниями и навыками и владеть приемами оценки и экспресс диагностики состояния аппаратуры.

Список литературы

1. СП 11-105-97 СВОД ПРАВИЛ. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть. I. Общие правила производства работ.
2. СП 11-105-97 СВОД ПРАВИЛ. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований.
3. Инструкция по электроразведке: Наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка/М-во геологии СССР.-Л.:1984.
4. РСН 64-87 Республиканские строительные нормы. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка.
5. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» (№ 102-ФЗ от 26 июня 2008 г.).



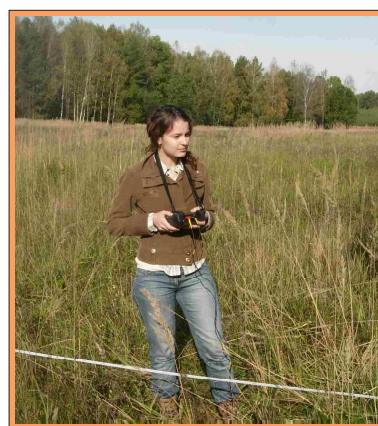
ЭНИКС-01



Измеритель электроразведочный низкочастотный

Измеритель ЭНИКС-01
предназначен для выполнения
электроразведочных работ :

- методом сопротивлений
на переменном токе;
- методом ВП;
- методом ЕП;
- методом блуждающих токов.



Производитель

ООО ЭМКО

www.emco.ru

телефон: +7 (495) 287-81-00

факс: +7 (495) 287-84-00

электронная почта: emco.sale@bk.ru
emco@bk.ru

Генеральный дилер

ООО “НИЦ ГЕОТЕХ”

www.geotech.ru

Тел./факс: (+7 495) 641-2-641 (многоканальный)

e-mail: info@geotech.ru