Записки Ленинградского ордена Ленина Горного института
Том XVII—XVIII, 1948

Некоторые вопросы техники электроразведки переменным током низкой частоты

Проф. *Л. Я. Нестеров*

В предвоенные годы в лабораториях кафедры геофизических методов разведки ЛОЛГИ проводилась разработка новых методов и новой техники электроразведки токами низкой и высокой частоты.

Был разработан ряд новых методов электроразведки: метод измерения аномальных полей на высокой частоте, метод измерения полей асинфазных полю генератора, электропрофилирование на переменном токе с компенсацией нормального поля и др. Все они базируются на измерении только аномальных частей поля, что приводит к большей чувствительности методов и их необычайной портативности. Одновременно разрабатывалась техника и методика уже существующих методов электроразведки и, например, для метода интенсивности сконструирована такая аппаратура, которая делает этот модернизированный метод совершенно непохожим на старый метод.

Ниже приводятся некоторые результаты части проведенных больших работ.

I. Новая техника метода интенсивности

Метод интенсивности, применяющийся в СССР с 1928 г., получил довольно широкое развитие, и с его помощью обнаружен ряд месторождений.

Аппаратура этого метода была сконструирована и изготовлена в 1930—1931 гг. и с тех пор сохраняется неизменной. В качестве генератора применяется мотор-генератор ОП-0,5, приводящийся в действие от динамомашины с буферной батареей аккумуляторов НКН-10 на 110—120 V Динамомашина вращается от двигателя внутреннего сгорания типа Л-3. Вся

генераторная установка весит около 700—800 кг, в поле требует специальной моторной палатки и механика для ухода за нею.

В качестве усилительно-приемного устройства применяется прибор АД-500, работающий на лампах СТ-6 (снятых давно с производства), дающий коэфициент усиления около 12 000 и требующий для питания батарей НКН-10 на 20 V В качестве приемной рамки используется двухосная рамка образца 1931 г. Вся эта аппаратура технически устарела, заводами больше не производится, очень громоздка и требует много сил при эксплоатации.

С целью модернизации метода интенсивности в начале 1940 г. был сконструирован и изготовлен в ЛГИ генератор, к лету было готово приемное устройство, и весь комплект опробовался в летних, осенних и даже зимних условиях 1940—1941 гг., а затем и летом 1941 г. Осенью 1941 г. был предложен метод непрерывной регистрации наблюдений, принимаемых на «трехкомпонентную рамку».

Таким образом вся аппаратура старого метода интенсивности была подвергнута коренному пересмотру.

Ниже кратко описываются новые схемы и аппараты.

1. Ламповый генератор

Из различных схем генераторов мы остановились на тиратронных генераторах.

Был сконструирован и изготовлен тиратронный генератор на двух лампах ТГ-116 со стабилизацией частоты по схеме Абрагама. Габарит прибора $40 \times 25 \times 30$ см.

Неоднократные осциллографические исследования стабильности частоты показали полное отсутствие отклонений от заданных 500 Hz. Устойчивость работы также неоднократно проверялась. Генератор работал на нагрузку любое время (до 8—10 часов подряд) без всякого присмотра. За все время многомесячной работы он ни одного раза не отказал в работе, коль скоро аккумуляторы давали нормальное напряжение и ток. Правда, при работе в зимних условиях, так как тиратроны работают в сравнительно узком диапазоне температур (+15° С — +40° С), пришлось генератор помещать в ящик с теплоизоляционными стенками, и в этом случае он также работал безотказно. (Испытания проводились до температуры —20° С.)

Температур более +40° С нам не приходилось наблюдать, но при работе летом при температурах +20° С и более генератор приходится открывать, чтобы он не нагрелся до недопустимых пределов. Максимальный ток, который можно отбирать от генератора, — 1 А, напряжение можно иметь любое, если на выходе поставить понижающе-повышающий трансформатор.

Генератор не любит работы без нагрузки, и для предотвращения его порчи от могущих происходить в полевых условиях разрывов питающей цепи полезно поставить минимальное реле.

Таким образом новая генераторная установка во много раз устойчивее старой, во много раз легче и меньше по габаритам и при эксплоатации не требует почти никакого ухода.

2. Приемное устройство

При расчете приемного устройства исходили из следующих соображений. Усиление должно быть большим, так как мы стремились вводить в землю малые токи (десятые доли ампера) от лампового генератора и иметь как можно меньше площадь приемной рамки без увеличения числа витков на ней, чтобы сделать рамку компактнее. Мы считали, что на вход усилителя будет подаваться напряжение не более 10 μV

Для различных условий работы и целей использования приемного устройства может понадобиться различная методика фиксации усиленного напряжения (прием на телефон, наблюдение на гальванометре после детектирования, запись на фотопленку с помощью шлейф-гальванометров и т. д.). Поэтому объединение в одном приборе усилителя и фиксирующего приспособления мы сочли нерациональным. Напряжение и токи электрического питания должны быть как можно меньше с тем, чтобы по возможности облегчить вес всего приемного устройства.

Мы остановились на лампах металлической серии, как удовлетворяющих всем требованиям большого усиления. Первую лампу берем триод 6Ф5, чтобы получить меньший уровень шумов, так как начальный сигнал мал. Оконечную лампу принимаем 6Ф6, дающей около 0,25 W на выходе при сравнительно низком анодном напряжении U 100 V Для нее $U_д$ =—6,5 V и общее усиление должно быть 6,5/10.10^{6} 6,5.10^{5}.

Вторую и третью лампы примем 6Ж7 с U 90 V и тогда усиление k k_1 k_2 k_3 46 × 140 × 140 ≈ 9 10

СХЕМА УСИЛИТЕЛЯ

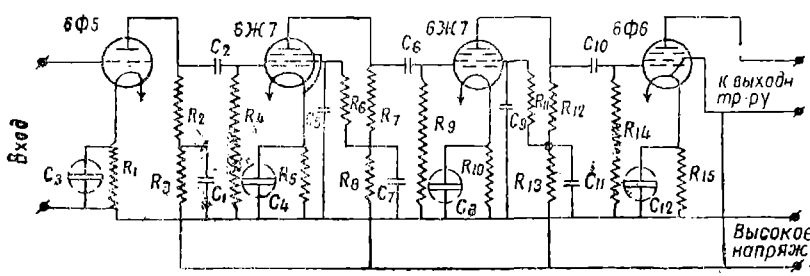


Рис. 1.

На рис. 1 приведена схема усилителя. Питание анодных цепей — от 120-V батарей, ток до 10 mA. Питание накала от 6-V батареи.

Данные схемы

$R_1 = 13500\ \Omega$
$R_2 = 0{,}5\ M\Omega$
$R_3 = 0{,}63\ M\Omega$
$R_4 = 1{,}0\ M\Omega$
$R_5 = 6500\ \Omega$
$R_6 = 2{,}7\ M\Omega$
$R_7 = 0{,}5\ M\Omega$
$R_8 = 0{,}3\ M\Omega$
$R_9 = 2\ M\Omega$
$R_{10} = 5500\ \Omega$
$R_{11} = 2{,}7\ M\Omega$
$R_{12} = 0{,}5\ M\Omega$
$R_{13} = 0{,}3\ \Omega$
$R_{14} = 2\ M\Omega$
$R_{15} = 670\ \Omega$

$c_1 = 0{,}5\ \mu F$
$c_2 = 0{,}01\ \mu F$
$c_3 = 3 \div 10\ \mu F$
$c_4 = 3 \div 10\ \mu F$
$c_5 = 0{,}02\ \mu F$
$c_6 = 0{,}005\ \mu F$
$c_7 = 0{,}5\ \mu F$
$c_8 = 3 \div 10 \mu F$
$c_9 = 0{,}02\ \mu F$
$c_{10} = 0{,}005\ \mu F$
$c_{11} = 0{,}3\ \mu F$
$c_{12} = 10 \quad 50\ \mu F$

При фоторегистрации наблюдений, усиленное напряжение по-
ется на шлейфгальванометр.

При измерениях на гальванометр усиленное напряжение
дается на детекторную лампу. Мы ее помещали внутрь гальва-
метра и питали от тех же источников, что и усилитель, но,
нечно, ее можно смонтировать отдельно и даже ввести внутрь
илителя.

Габариты усилителя $40 \times 15 \times 25$ см, вес меньше 1 кг. Устойчи-
сть работы при батареях, дающих нормальное напряжение
ток, вполне удовлетворительная.

Данным усилительным устройством с измерением на гальва-
метр можно пользоваться при работе со старыми рамками
тода интенсивности и по старой методике.

3. Непрерывная регистрация компонент поля

Особенно комплект метода интенсивности и методика работ
игрывают, если вести наблюдения с помощью предложенной
ми приемной рамки, состоящей из 3 взаимноперпендикулярных
мок, и осуществлять фоторегистрацию наблюдений.

Рамка для измерения сразу всех трех компонент поля
a_y, a — назовем ее «трехкомпонентная рамка» — устраи-
ется следующим образом. Три диска, диаметром 25—30 см каж-
ый, с пазами для укладки в них проволоки, врезаются друг
друга так, чтобы создать три взаимноперпендикулярных рамки.
тем они закрепляются наглухо. Некоторое возможное отклоне-
ie от взаимной перпендикулярности не существенно, важно чтобы
менялось взаимное расположение рамок. Затем производится
мотка рамок поочередно; достаточно наложить по сотне витков.
ак как диаметр витков несколько различен, следует затем про-

извести более точную подгонку, используя воздействие на рамки одинаковых по величине полей. На гальванометре следует добиться одинаковых отклонений при этом. Система трех взаимноперпендикулярных рамок приделывается к легкой ручке длиной 50—60 см. Вес трехкомпонентной рамки может быть доведен до 1 кг.

Напряжение, возникшее в одной из рамок, подается на усилитель, а затем на шлейфгальванометр и регистрируется на фотоленте, длительность этой операции 3—4 секунды. Затем происходит переключение на другую рамку и соответственно луч начинает чертить в другом месте фотоленты. Это опять длится 3—4 секунды и вновь происходит переключение на третью рамку; луч чертит на новом месте ленты и т. д. Все это происходит во время перемещения оператора вдоль по профилю.

Примерный вид фотозаписи приводится на рис. 2.



Рис. 2.

Все три шлейфгальванометра должны быть идентичны, этому могут удовлетворить гальванометры от школьных осциллоскопов («Шос»). Освещение их производится от одной лампочки карманного фонаря. Батарея для питания лампочки помещается внутри этого прибора, который может быть назван регистриром. (Можно, конечно, сконструировать регистрир с одним шлейфгальванометром и с перемещением бумаги для регистрации каждой компоненты поля, но так как шоссовские гальванометры весьма компактны, дешевы и удобны, — эта конструкция вряд ли будет проще, удобнее и легче описанной выше.)

Механизмом, ведущим фотобумагу, может быть часовой механизм или, проще, механизм от патефонов с замедленным движением. Одного завода вполне достаточно для регистрации a_x, a_y, a_z вдоль полного профиля. Ширина фотоленты 12 см. Вверху прибора имеется отверстие со шторками и матовым стеклом, в него можно наблюдать за исправностью работы прибора и даже величиной компонент поля. В регистрире должно быть приспособление, с помощью которого в верхней части ленты отмечаются моменты прохода оператора мимо пикетов. Это необходимо, так как движение оператора может быть неравномерным. Некоторая разномасштабность фотограмм по оси абсцисс не играет роли, так как при небольшом опыте легко достигнуть точности в 2—3 м внутри отрезков (расстояний между пикетами), а такая точность более чем достаточна для полевой практики.

Размещение всего оборудования намечается такое. Оператор несет в правой руке трехкомпонентную рамку, держа ее отвесно и направляя одну из вертикальных рамок вдоль по профилю. На

груди у него плотно закреплен регистрир и оператор левой рукой производит переключения с одной рамки на другую через 3—4 шага.

Сзади оператора идет рабочий, на груди у него укреплен усилитель, а за спиной, в заплечном ящике, — питание усилителя. Соединение рамок с усилителем и усилителя с регистриром — резиновый шланг, длиной 3—4 м, внутри которого проложены все провода. Шланг закрепляется у оператора на спине и у рабочего на груди, чтобы случайно не оборвать провод.

Быстрота перемещения по профилю 3—4 км в час. Таким образом планшет размером 1 км^2, имеющий 19 профилей длиной по 1 км, может быть снят в 5—6 часов одним комплектом.

Так как генераторная установка требует при работе лишь охраны, бригада, снимающая планшет в 5—6 часов, состоит из оператора, рабочего и сторожа. Оператор успеет проявить ленту и, таким образом, вечером можно иметь совершенно законченный целый планшет. Очевидно, что вся вычислительно-чертежная работа, столь громоздкая в методе интенсивности, исчезнет совершенно. Весь модернизированный метод интенсивности, собственно, почти ничего общего со старым методом интенсивности не имеет и можно рассчитывать на широкое его использование там, где его применение целесообразно.

Технико-экономические результаты подобной модернизации метода могут быть охарактеризованы таблицей:

Характеристика	Старая техника	Новая техника
Вес технического оборудования	700—800 кг	100 кг
Состав партии	ИТР—13, раб.—18	ИТР—3, раб.—5
Продолж. съемки 1 к.	2—3 дня	6—7 часов
Стоимость планшета	100	8—12
Вид обработки материалов	Вычисление, черчение	Фоторегистрация

II. Электропрофилирование на переменном токе с компенсацией нормального поля

Основным недостатком существующих методов электроразведки переменным током, по нашему мнению, является необходимость выделения небольших аномалий на фоне обычно больших значений нормального поля. Поэтому, несомненно, рационально создание таких методов работы, при которых действие нормального поля на приемное устройство было бы сведено к минимуму или уничтожено совсем. Можно ожидать, что тогда метод будет более чувствительным и можно будет вести поиски, например, более глубоко залегающих проводников. В этом направлении мы работали с 1940 г разработав и предложив ряд методов как для

высокочастотных, так и для низкочастотных токов. Одни из них дошли до стадии полевого опробования, другие — до стадии лабораторного исследования, третьи были только в принципе подтверждены на макетах или вытекали из других методов, предназначавшихся для работ в других (не геолого-разведочных) направлениях. К последней категории принадлежат и те методы, сущность которых излагается в данном параграфе.

Прямолинейный провод заземлен по концам (рис. 3), вблизи переднего (по движению) конца находится звуковой генератор (Г) с питанием, дающий ток в провод.

В средней части помещена приемная рамка (Р) диаметром 30—40 см и с числом витков порядка 200—300, так чтобы ток, текущий по проводу и нормально в среде, не действовал на приемный контур. Для этого провод, на протяжении 2—3 метров заключенный в жесткую металлическую трубку, должен проходить строго посредине рамки и это должно быть закреплено наглухо.

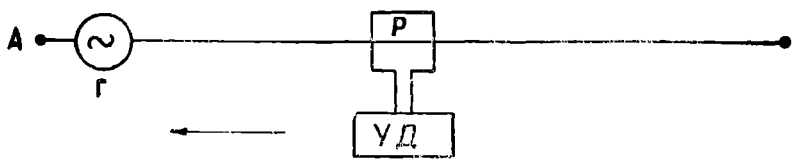


Рис. 3.

(Практически, правда, очень трудно добиться только геометрическим путем отсутствия воздействия нормального поля на приемный контур. Приходится для полного уничтожения действия последовательно с витками рамки включать еще 1—2 витка провода диаметром 3—4 см ввиде особой катушечки, могущей вращаться вокруг оси. Эта катушечка устанавливается на рамке и путем ее вращения можно добиться полного уничтожения воздействия нормального поля. В таком положении катушечка закрепляется наглухо.)

На выход рамки включается усилитель с телефоном и детектор с гальванометром (У.Д.), описанные выше. В нормальном поле телефон и гальванометр не должны отмечать наличия токов в рамке.

Вся эта установка перемещается по некоторым профилям, разбиваемым на местности по простиранию искомых проводников. При попадании проводника в зону действия установки на гальванометре можно отсчитать величину этого действия. Для количественных суждений необходимо соблюдение постоянства режима генераторного и усилительно-детекторного устройства, что требует надежных батарей питания.

Количество занятого персонала: один оператор у приема и 4 рабочих — 2 впереди, один в центре и 1 сзади. Передние рабочие переносят генератор и тянут по земле провод, рабочий в центре несет рамку и помогает тянуть провод, задний рабочий

устраивает заднее заземление. Оператор переносит усилитель — детектор с питанием.

Включение генератора в центре вблизи приемной рамки и усилителя производить не следует, чтобы не осложнять дела прямыми наводками.

Предлагаемый метод нами назван «Электропрофилирование на переменном токе с компенсацией нормального поля».

Можно использовать и вариации этого метода. Если электрод В вынести в бесконечность, можно иметь «несимметричное профилирование на переменном токе с компенсацией нормального поля».

ПОЛНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

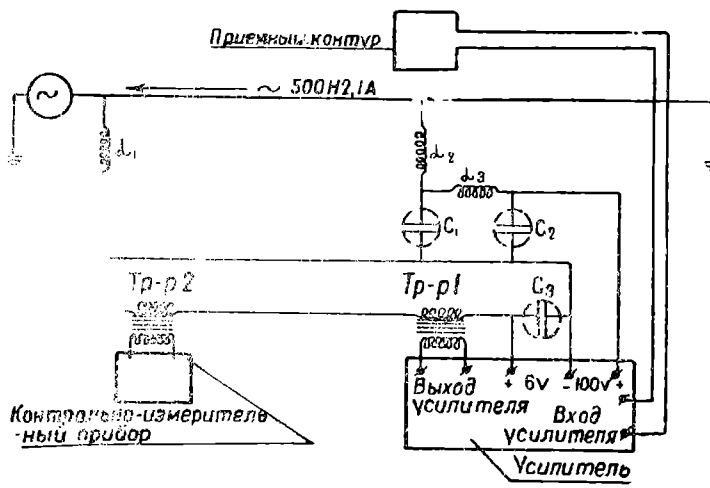


Рис. 4.

Как видим, эти методы предусматривают наблюдения на отдельных точках, но в принципе можно мыслить подобный метод и с непрерывной фоторегистрацией наблюдений с помощью аппаратуры, описанной выше.

Электроды А и В можно разнести далеко, а по средней части провода перемещать рамку, продвигая провод с небольшим трением через упомянутую выше металлическую трубку. Конечно, нужно стремиться не изменять прямолинейности провода и не качать рамку вокруг провода. Тогда можно вести фотозапись вдоль по профилям. И в этом и в предшествующих методах выявление месторасположения проводника должно производиться путем сопоставления нескольких параллельных профилей и построения по ним профилей вкрест простирания проводников.

Разработана и такая схема размещения аппаратуры, которая позволяет концентрировать управление у переднего электрода. Эта схема изображена на рис. 4. У переднего электрода находится генераторная установка и управление приемной и регистрационная часть. В центре находятся рамка и усилительное устрой-

ство. Желание использовать трехжильный кароттажный кабель (например, КТШ—0,3) привело к некоторому усложнению — по одним и тем же проводам подается постоянный ток для питания усилителя переменные токи в землю усиленный ток из рамки.

При такой схеме основная аппаратура может быть помещена в легковой машине, на телеге или на носилках, в центре, один рабочий переносит рамку и усилитель, твердо связанные между собой, и на заднем конце один рабочий устраивает заземление. Рамка и усилитель могут быть помещены в герметическую оболочку и тогда с помощью такой аппаратуры можно проводить профилирование по морскому дну и дну озера или реки. В этом случае передняя часть установки находится или на берегу, или на движущемся судне (катере, лодке).

Ниже приводятся некоторые данные схемы.

Фильтрация частоты 500 Hz может быть осуществлена двумя ячейками фильтра 1) $z_1 + z_2$, C_1 и 2) z_3, C_2 $z_1 + z_2$ 1ОН; $z_1 = z_2$; $C_1 = 10\,\mu F$ z_3 1Н; $C_2 = 10\,\mu F$ Падение напряжения постоянного тока на дросселях фильтров 20 V (120 V 100 V). Сопротивление дросселей 2000 Ω. Сопротивление цепи накала $R_н = 3,7$; $C_3 = 1000\,\mu F$, $R_c = 0,32$ Ω (сопротивление переменному току 500 Hz).

Выходной трансформатор: сопротивление 1-й обмотки 10500 Ω, сопротивление 2-й обмотки 30 Ω, коэфициент трансформации $n = 59$; $z = 8,3$Н. Железо Ш — 19×20, число витков первичной обмотки 3300, проволока ПЭ; число витков вторичной обмотки 56, проволока ПЭ; $d_1 = 0,1$ мм; $d_2 = 1,5$ мм.

Трансформатор Т-2 должен быть рассчитан в зависимости от измерительной аппаратуры, примененной в данном комплекте.

Повторяем, что в данных схемах доказана в лаборатории и на опытном поле возможность полного уничтожения нормального поля, но опытов по профилированию над какими-либо объектами выполнено не было, тем более не было выполнено работ по сравнению эффективности этого метода с другими методами электроразведки, предназначенными для поисков электропроводных рудных тел.

Возможно, что подобная же схема аппаратуры могла бы быть использована для операций, напоминающих электрозондирование, однако нам этим вопросом не удалось пока заняться.