

АСИММЕТРИЧНАЯ УСТАНОВКА ВЭЗ-А

Б.Г. Сапожников

Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН (СПБО ИГЭ РАН), Санкт-Петербург, (boris@hge.pu.ru). Материалы 5-ой всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли – ЭМЗ-2011. Книга 2.- СПб.: СПбГУ, 2011, 496 с. (с.396-399).

1. Стандартная симметричная установка ВЭЗ имеет ряд недостатков, особенно существенных при больших разносах и при использовании переменного тока: большая длина установки (ограничение на применение в населенной местности), нежелательные индукционные и ёмкостные эффекты, трудоемкость *многократных* заземлений питающих электродов, невозможность использования в условиях плохих заземлений, большой состав бригады – не менее 3-х человек.

2. Для ВЭЗ на малых и средних глубинах (до 300-400 м) предложена и широко опробована новая “асимметричная” установка ВЭЗ-А (рис.1), сочетающая признаки трехэлектродной и дипольно-осевой и свободная от ряда недостатков симметричной [Сапожников, 2005]. Основная рабочая частота установки 4.88 Гц. Программное обеспечение: “IPI2WIN” (Бобачёв А.А.) и “ZOND-IP” (Каминский А.Е.).

3. Установка наиболее эффективна при использовании принципа взаимозаменяемости приемных и питающих линий. В ней применяются: *неподвижные короткие питающие линии “MN”* (с *одноразовым* устройством усиленных питающих заземлений) и *приемная линия “AB” переменной* длины (с подвижным электродом-шпилькой “А” и неподвижным удаленным электродом “В”). Центр “О” установки – центр наибольшей питающей линии “MN”, разнос установки – расстояния “ОА” и “О₁А”. Минимальная длина “AB” составляет 1/5-1/4 максимального разноса “ОА”, длина которого в зависимости от решаемых задач может быть выбрана в диапазоне 50-500 м и более.

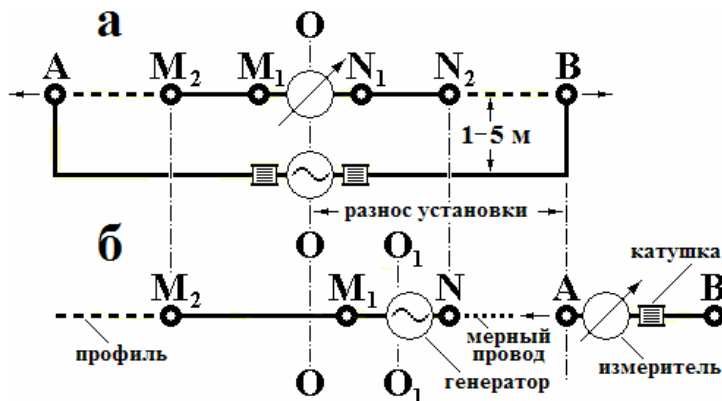


Рис.1. Симметричная (а) и асимметричная (б) установки ВЭЗ.

4. Для проведения работ с новой установкой достаточно одного оператора. Вначале он заземляет питающие линии и устанавливает стабилизированный ток I в длинной линии “M₂N”. Затем накидывает на электрод “N” петлю мерного провода (с метками разносов) и разматывает его с катушки до электрода “В”. Заземляет электрод “В”, закрепляет на нём петлю мерного провода и подключает электрод к проводу приемной линии “AB” на катушке. Разматывая с катушки провод “AB”, перемещает шпильку “А” по меткам разносов “ОА”, выполняя измерения разности потенциалов ΔU . После завершения на “воротах” первой серии измерений, переключает генератор на питающую линию “M₁N” меньшей длины и завершает измерения ΔU по меткам разносов “О₁А”. Далее демонтирует установку и переходит на новую точку ВЭЗ. В табл.1 приведены результаты полевых измерений с установкой ВЭЗ-А (максимальный разнос “ОА”=200 м). Разносы “ОА”, равные 140 и 180 м, добавлены для повышения надежности измерений на больших расстояниях “ОА”.

Таблица 1

Параметры	ОА, О ₁ А, м	ΔU мВ	I мА	K м	ρ_k Ом·м	Метки
ВЭЗ № 27	1.6	380	20	4.90	93.12	желт.-белая-желт.
19.07.2010	2	208	20	9.43	98.02	ж-синяя-ж
пр.1 пк 40	2.5	113	20	16.49	93.20	ж-красная-ж
	3.2	62.2	20	29.03	90.29	ж-белая-ж
ОВ=250 м	4	45.2	20	47.14	106.53	ж-синяя-ж
M ₁ N=2 м	5	28.2	20	75.43	106.36	ж-красная-ж
M ₂ N=20 м	6.3	18.3	20	121.63	111.29	ж-белая-ж
азимут: СВ	8	9.8	20	198.14	97.09	ж-синяя-ж
	10	5.6	20	311.55	87.23	ж-красная-ж
	12.5	2.92	20	489.04	71.40	ж-белая-ж
	16	1.68	20	804.64	67.59	ж-синяя-ж
	20	0.92	20	1262.17	58.06	ж-красная-ж
	23	0.66	20	1673.98	55.24	ж-бел-бел-ж
	31.5	0.26	20	3066.62	39.87	ж-син-син-ж. (31 О ₁ А)
	40.5	0.07	20	5435.09	19.02	ж-красн-красн-ж(41 О ₁ А)
	31.5	20	200	294.65	29.46	ж-бел-бел-ж (32 ОА)
	40.5	8.68	200	482.85	20.96	ж-син-син-ж (40 ОА)
	50	2.76	200	784.14	10.82	ж-красн-красн-ж
	63	0.888	200	1295.83	5.75	ж-белая-ж
	80	0.45	200	2201.47	4.95	ж-синяя-ж
	100	0.38	200	3696.67	7.02	ж-красная-ж
	125	0.55	200	6492.69	17.85	ж-белая-ж
	140	0.61	200	8910.70	27.18	ж-бел-син-ж.
	160	0.75	200	13547.16	50.80	ж-синяя-ж
	180	0.69	200	21036.35	72.58	ж-син-красн-ж
	200	0.725	200	34763.61	126.02	ж-красная-ж

5. Установка ВЭЗ-А по определению является несимметричной. В связи с этим в характеристике параметров установки необходимо указывать ее “полярность” – азимут разносов. По этой же причине при обнаружении на профиле ВЭЗ особенностей геоэлектрического разреза, представляющих практический интерес, исследования на этих участках профиля рекомендуется повторить с противоположным направлением разносов установки (двухстороннее зондирование).

6. Новая установка позволяет выполнять ВЭЗ по методике бесконтактного измерения электрического поля (БИЭП) в условиях плохих заземлений. В 1996 г. при зимних работах на проектных створах плотин Чагоянской ГЭС по льду р. Зеи был успешно испытан на частоте 625 Гц один из вариантов незаземленной асимметричной установки [Сапожников, 2001]. Передвижным приемным электродом “А” являлся сам оператор (“незаземленный емкостной электрод”≈120 пФ), а неподвижные электроды заземлялись в воду через лунки во льду. Для проведения работ в условиях плохих заземлений (“курумы”, мерзлый грунт, снежно-ледовый покров, пески, асфальто-бетонные покрытия) прежде всего может быть рекомендована аппаратура “ЭРА-МАКС” и “ЭРА-В” с высоким (более 200 МОм) входным сопротивлением микровольтметров. В состав аппаратуры включены устройства, специализированные для этой цели (стелющиеся питающие и приемные линии, “активные” приемные электроды, воздушная антенна). Генератор аппаратуры “ЭРА-МАКС” имеет также специальную функцию – измерение сопротивления рабочей линии на заданной частоте. Благодаря этому при измерениях на повышенных частотах возможен контроль проявления ёмкостного эффекта (недопустимых токов ёмкостных утечек соединительных проводов). Критерием малости эффекта можно считать условие $R \leq 0.1 Z_c$, где R – активное сопротивление

заземления, а Z_c – модуль ёмкостного сопротивления подключенного к нему провода. При нарушении этого условия нужно улучшить качество заземлений и, если это окажется невозможным, – перейти на использование других вариантов незаземленных установок ВЭЗ. При контроле утечек вначале на частоте 4.88 Гц методом трех заземлений определяются значения R активных сопротивлений электродов “В”, “N”, “M₁”, “M₂”. Затем на повышенной рабочей частоте измеряется модуль Z_c цепи, составленной из электрода “N” и соединительного провода, отключенного от своего электрода. Например, если ёмкостное сопротивление Z_c провода “AB” длиной 250 м (≈ 20 пФ/м) оказалось равным 50 кОм, то для электрода “В” должно выполняться условие $R \leq 5$ кОм.

7. Для выполнения зондирования ВЭЗ-А по профилю с шагом 25-50 м разработана автоматизированная установка “VEZ-MULTIMAX”, основанная на конвейерном способе перемещения её блоков (НПП “ЭРА”). Схема перемещения блоков и разносы установки с максимальной величиной “OA=142.5 м” и шагом 25 м приведены на рис.2 и в табл.2.

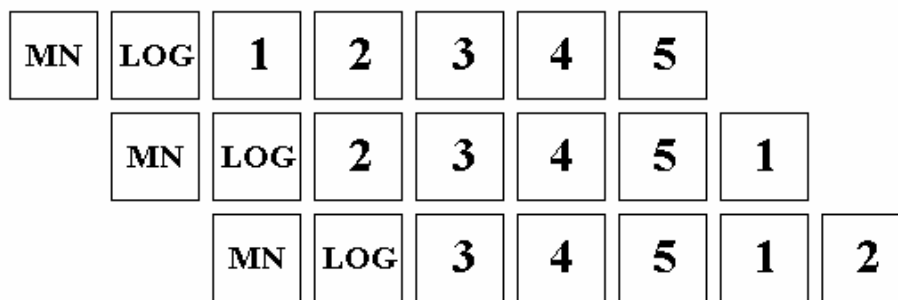


Рис.2. Схема конвейерного способа перемещения блоков установки ВЭЗ-А. MN – блок питающих линий “MN”, LOG – блок приемных электродов “А” с логарифмическим шагом разносов “O₁A”, 1-2-3-4-5 – взаимозаменяемые звенья измерительной косы приёмных электродов.

Таблица 2

Номер измерений	Длина MN, м	Длина NA, м	Разносы O ₁ A, OA, м	Шкала разносов, м
1	2	1	2	2
2	2	1.5	2.5	2.5
3	2	2.2	3.2	3.2
4	2	3	4	4
5	2	4	5	5
6	2	5.3	6.3	6.3
7	2	7	8	8
8	2	9	10	10
9	2	11.5	12.5	12.5
10	2	15	16	16
11	2	20	21	21
12	2	25	26	26
13	2	30	31	31.75
14	2	40	41	41.75
15	25	20	32.5	31.75
16	25	30	42.5	41.75
17	25	40	52.5	52.5
18	25	50	62.5	62.5
19	25	70	82.5	82.5
20	25	90	102.5	102.5
21	25	110	122.5	122.5
22	25	130	142.5	142.5
разнос OB=162.5 м (расстояние NB=150 м), 37 приемных электродов				

Оператор и рабочий заземляют 3 усиленных питающих электрода блока “MN”. Затем оператор заземляет 11 приемных электродов “А” “логарифмического” блока “LOG”, а рабочий – заземляет через 5 м 26 приемных электродов “арифметических” блоков 1-2-3-4-5 и возвращается к блоку “1”. Оператор включает программу измерений разностей потенциалов ΔU , реализующую схему разносов установки в соответствии с табл.2. Затем оператор и рабочий переносят блоки “MN” и “LOG” вперед по ходу установки на один шаг (25 м). После этой операции начинается новый цикл наблюдений, в рамках которого рабочий переносит и заземляет блок “1” впереди блока “5”.

8. Впервые в производственных масштабах установка ВЭЗ-А нашла применение в 2002 г. при гидрогеологических работах СПбО ИГЭ РАН в провинции Альмерия (Испания). Необходимость в использовании новой установки возникла, с одной стороны, из-за большой длины симметричной установки (невозможность “вписать” $AB=1$ км в доступные области огороженных сельхозугодий), с другой – вследствие плохих условий для заземлений (сухая, каменистая почва) и интенсивного индукционного эффекта на частоте 4.88 Гц (рис.3). Задачи ВЭЗ-А: уточнение геологических разрезов водоносных структур для построения гидрогеологических моделей, исследование интрузии морских вод в дельтах рек [Румынин, 2006], определение качества запасов подземных вод (солености), выявленных методом ядерного магнитного резонанса. Весьма положительно проявили себя метод срединного градиента и установка ВЭЗ-А при картировании тектонических нарушений в пределах проектной трассы туннелей высокоскоростной железнодорожной магистрали Мадрид-Вайодолид (2004-2005). Обнаруженные и подтвержденные скважинами обширные тектонические зоны, неотмеченные при геологическом картировании (1:2000), привели к убыткам и существенно задержали ввод трассы в эксплуатацию. Хорошо показала себя установка при обследовании полигона захоронения отходов в провинции Ла Манча (2007), а также при выборе площадок строительства подземных хранилищ радиоактивных отходов в кембрийских и вендских глинах (г. Копорье, г. Сосновый Бор, 2006, 2009-2010).

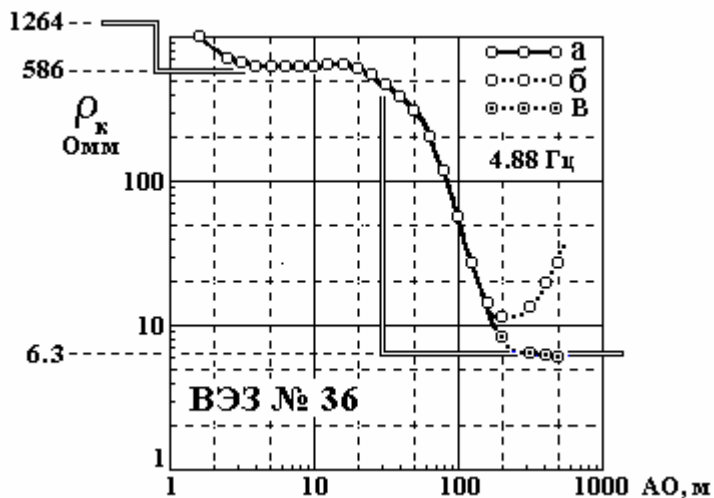


Рис.3. Индукционный эффект при работах с симметричной установкой ВЭЗ.
а – совпадающие части кривых зондирования,
б – кривая установки ВЭЗ,
в – кривая установки ВЭЗ-А.

Список литературы

1. Румынин В.Г., Синдаловский Л.Н. Исследование влияния интрузии морских вод на качество подземных вод в дельте р. Андалакс (провинция Альмерия, Испания) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2006. № 6. С. 1-13.
2. Сапожников Б.Г., Лемец В.И. Электроразведочная аппаратура методов сопротивлений, заряда и естественного поля // Разведка и охрана недр. 2001. № 9. С. 67-71.
3. Сапожников Б.Г. Новая установка ВЭЗ для гидрогеологических исследований на средних глубинах // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2005. № 5. С. 454-462.