

Пути повышения качества современной скважинной сейсмической аппаратуры

■ Багмут В.А., Рюмин В.А., Багмут А.В., ООО «Геофизприбор», г. Симферополь

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих публикациях [5, 6] мы пришли к выводу о том, что результаты записей цифровыми зондами РФ не в полной мере соответствуют требованиям метода ВСП. В качестве аргументов, подтверждающих это утверждение, приведены низкая пропускная способность геофизического кабеля при высокоскоростной передаче данных, а также недостатки самих зондов: узкий динамический диапазон применяемых АЦП, отсутствие систем контроля и т.д.

Несмотря на то, что за 20 лет со времени выполнения сравнительных испытаний нескольких образцов цифровых зондов РФ (1994 г.) разработан целый ряд модификаций метода ВСП, подтверждаемость прогнозов неуклонно снижается. Одна из причин этого явления, по нашему мнению, низкое качество первичного полевого материала.

Проблема низкого качества результатов записей цифровыми зондами рассматривалась и другими авторами. В частности, авторы статьи [7] констатируют:

1. Основная проблема современной скважинной сейсморазведки – низкое качество полевых записей.

2. В методе ВСП отсутствуют пакеты программ, позволяющие объективно и своевременно оценивать качество первичных сейсмограмм.

Ранее нами и другими авторами высказывалось мнение о том, что оптимальным на современном уровне развития техники было бы применение в цифровых зондах АЦП с числом разрядов 24. В работе [7] авторы приводят данные о том, что такие АЦП применяются в зондах фирмы SerceI, которые, кроме

того, обладают целым рядом достоинств, например - многоканальность, работа в реальном времени и т.д. Но наряду с этим отмечают "низкое качество полевых записей, которое ... все больше становится правилом", правда, не указывая, относится ли эта оценка ко всем или только некоторым конкретным зондам.

Опираясь на данные этой статьи, других публикаций и наш опыт разработки и применения сейсмической скважинной аппаратуры, в данной статье мы более подробно рассмотрим параметры зондов и их влияние на качество регистрируемых данных, а именно:

1. Степень соответствия характеристик современных цифровых зондов требованиям многоволновой сейсморазведки. Зависимость характеристик, определяющих качество регистрируемого сигнала, и точности определения полного вектора волнового поля от числа разрядов АЦП.

2. Возможные причины низкого качества первичных сейсмограмм, получаемых с помощью применяемых современных цифровых зондов.

3. Меры, которые необходимо и возможно принять для исключения причин низкого качества полевых записей и обеспечения их объективной оценки.

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА РЕГИСТРИРУЕМЫХ ДАННЫХ ОТ ЧИСЛА РАЗРЯДОВ АЦП

Для анализа выберем следующие зонды.

1. АМК-ВСП-3-48 (далее АМК). По результатам сравнительных испытаний в 1994 году цифровых зондов, разработанных различными фирмами РФ, он был признан наиболее "продвинутым",

поскольку по данным отчета, приведенным в [7], "обладал целым рядом несомненных достоинств (малая масса, высокая чувствительность каналов, большой динамический диапазон цифровых преобразователей сигналов, помехоустойчивость)". Видимо, на основании именно этого заключения,, он был использован как прототип при разработке цифровых зондов РФ.

2. АМЦ-ВСП-3-48 (далее АМЦ). Разработан в РФ на базе АМК. Наиболее широко применяется в СНГ.

3. Зонды фирмы Sercel. Они также достаточно широко применяются в СНГ.

В качестве критериев при оценке качества зондов используем требования "Методических рекомендаций по применению ПМ ВСП..." [1, 9] (далее "Рекомендации"), а также опыт авторов по построению и применению зондов с уплотнением ВИМ: АПМЗ-ЗМ и АПМ4-ЗМ (далее АПМ). С помощью прототипа этих зондов, которые успешно применяются и в настоящее время, отработывались положения "Рекомендаций".

Основные требования к характеристикам сейсмической скважинной аппаратуры, изложенные в "Рекомендациях", следующие:

1. При трехкомпонентных наблюдениях применяют установки с сейсмоприемниками, имеющими неидентичность по амплитуде $\pm 5\%$ и по фазе $\pm 4\%$ видимого периода [1]; ошибка измерения амплитуд должна быть не более 5% [9].

2. Наземная аппаратура должна обеспечивать регистрацию сейсмических сигналов с динамическим диапазоном до 120 дБ [9].

3. Паразитные колебания скважинных приборов должны быть исключены или снижены до пренебрежимо низкого уровня [1, 9].

Очевидно, что требования по идентич-

ности АЧХ сейсмоприемников, приведенные в п.1, в данном случае относятся к зондам с прямой передачей информации.

В зондах АПМ требование амплитудной неидентичности $\pm 5\%$ и фазы $\pm 4\%$, применяется к сквозным трактам, то есть, начиная с сейсмоприемников, усилителей, модуляторов и далее по цепочке и заканчивая демодуляторами, каналами сейсмостанции и памятью компьютера. Причем на практике при настройке добиваются как можно более жестких (примерно вдвое меньших) значений.

С внедрением в практику ВСП цифровых зондов у многих специалистов появилось предубеждение, заключающееся в том, что все процессы получения, преобразования в цифровой код и передачи информации по кабелю не составляют проблемы. Возможно, исходя из этих соображений, в рекламе зондов отсутствуют требования к техническим характеристикам (ТХ), в том числе по идентичности каналов. То, что это заблуждение распространено достаточно широко, подтверждает, например, тот факт, что авторам отчета об испытаниях АМК, приведенного в [7], вторит А.Д. Чигрин в статье [2]: революция в скважинной сейсморазведке заключалась в том, что "в цифровых зондах были исключены искажения сигнала при прохождении его по каротажному кабелю", "...это радикально, на несколько порядков, повысило качество (точность, динамический диапазон) регистрируемого сигнала".

Ошибочность заявления об отсутствии искажений в кабеле мы показали в работе [5]. К тому же, и справедливость тезиса о расширении динамического диапазона воспринимается неоднозначно. С одной стороны, за счет переноса спектра сигнала

ла в область высоких частот исключаются наводки питающей сети, хотя для их подавления или исключения успешно применялся и целый ряд других способов. С другой стороны, динамический диапазон регистрирующего устройства сократился со 168 дБ сейсмостанции, используемой в зондах с прямой передачей, до 54 дБ в АМК.

Вероятно, под термином "точность" в [2] автор имеет в виду "помехоустойчивость". Мы же под термином "точность", будем подразумевать точность оцифровки сигнала и ее влияние на идентичность АЧХ каналов, а в конечном итоге – на точность определения полного вектора волнового поля.

В Таблице 2 [7] мгновенный динамический диапазон систем передачи зондов фирмы Sercel указан в пределах 122-123 дБ, при этом диапазон сейсмоприемника совпадает с разрядной сеткой АЦП.

Этот диапазон обеспечивается:

$$122 \text{ дБ} : 6 \text{ дБ} = 21 \text{ разрядом АЦП.}$$

Отсюда, на уровень шума остается $24 - 1 - 21 = 2$ разряда.

Согласно [10] относительная погрешность оцифровки определяется числом разрядов АЦП, участвующих в преобразовании "n". Таким образом, для сигналов на уровне шума относительная погрешность составит:

$$1 \cdot 2^{-n} = 1 \cdot 2^{-2} = 0,25 \cdot 100\% = 25\%.$$

Но если считать, что нижняя часть диапазона регистрации этого зонда определяется визуально по амплитуде сигнала, вдвое превышающей напряжение шума [8], то $n=3$ и для него погрешность преобразования составит 12,5%.

Для обеспечения возможности преобразования, а затем суммирования кодов сигналов, поступающих на вход АЦП с неидентичностью в пределах $\pm 5\%$, погрешность оцифровки должна быть на

порядок ниже, то есть не больше 1%. Отсюда следует, что в преобразовании шума должно участвовать не менее семи разрядов АЦП [11, 13].

Относительная погрешность при этом составит:

$$1:2^7 = 1:128 \cdot 100\% = 0,78\%.$$

Для этого коэффициент усиления должен быть увеличен до значения:

$$16 \cdot (2^7:2^2) = 16 \cdot 2^5 = 16 \cdot 32 = 512.$$

При этом появится вероятность переполнения разрядной сетки АЦП, а

мгновенный динамический диапазон преобразования 24-разрядным АЦП без знакового разряда и семи разрядов, участвующих в преобразовании шума, составит:

$$(24-1) \cdot 6 \text{ дБ} - 7 \cdot 6 \text{ дБ} = 138 \text{ дБ} - 42 \text{ дБ} = 96 \text{ дБ},$$

т.е. будет близким к мгновенному динамическому диапазону АПМ (80-90 дБ).

В системах регистрации зондов, рассматриваемых в данной статье, в том случае, если самый большой сигнал одной установки сейсмоприемников оцифровывается меньше чем семью разрядами АЦП, погрешность превышает допустимую и определение вектора поляризации для нее теряет смысл. Более того, в зависимости от угла подхода волны к оси симметрии установки с сейсмоприемниками, сигналы одного или двух каналов установки могут быть оцифрованы числом разрядов меньше семи (например, при записи с ближнего пункта взрыва в каналах X,Y ортогональных установок X,Y,Z). При вычислении значения модуля и направления полного вектора они вносят свою погрешность, превышающую допустимую во всем диапазоне преобразования АЦП, т.е. для сигнала любой величины. И в этом случае обнаруживается мертвая зона в направлениях приема, поскольку определение вектора поляризации для этих

установок и при этих углах подхода волны также теряет смысл.

В рекламе АМЦ приведено значение общего динамического диапазона, равное 150 дБ и динамический диапазон преобразования "в пределах одной трассы" – 90 дБ. Напомним, что понятие "мгновенный динамический диапазон" (то есть при записи одной выборки) было введено для систем с МАРУ, а в исследуемых зондах "динамический диапазон преобразования на протяжении одной трассы" подразумевает одно положение переключателя ПРУ. Для АМЦ и зондов фирмы Sercel эти понятия тождественны.

Очевидно, что "90 дБ" это динамический диапазон 16 разрядного АЦП, которым оснащен зонд:

$$(16-1) \times 6 \text{ дБ} = 90 \text{ дБ}.$$

Общий диапазон в данном случае определяется набором коэффициентов ПРУ от 0 дБ до 60 дБ, определяющих несколько поддиапазонов. Логично предположить, что если в преобразовании участвует весь диапазон АЦП, то максимальный коэффициент усиления выбран таким, что напряжение шума попадает на младший его разряд. Как уже было показано выше, сигналы канала, которые оцифровываются числом разрядов меньше семи, т.е. почти половина его диапазона на каждом усилении – очевидный брак. И этот брак может вноситься в значение любой суммы в диапазоне АЦП и не может быть обнаружен визуально. В этом случае стыковка сигналов разных поддиапазонов при определении вектора поляризации должна представлять значительную трудность, если вообще имеет смысл.

Если предположить, что коэффициент усиления будет увеличен так, чтобы шум оцифровывался семью разрядами АЦП, то мгновенный динамический диапазон АМЦ составит:

$$90 \text{ дБ} - 42 \text{ дБ} = 48 \text{ дБ}$$

Утверждение о том, что у 10 разрядного АЦП, которым оснащен АМК, одновременно "высокая чувствительность и большой динамический диапазон цифровых преобразователей сигнала", не выдерживает критики. Динамический диапазон его АЦП составляет всего $(10-1) \times 6 \text{ дБ} = 54 \text{ дБ}$, а значит, выбирать между точностью, чувствительностью и мгновенным динамическим диапазоном просто не из чего.

Выводы

Увеличение числа разрядов АЦП до 24 привело к расширению динамического диапазона записи до 122-123 дБ, но оставило нерешенными проблемы, существовавшие ранее и присущие, например АМЦ:

1. Стремление разработчиков рассматриваемых зондов задействовать в преобразовании сигнала всю разрядную сетку АЦП привело к появлению мертвых зон при приеме слабых сигналов и в некоторых направлениях подхода волны. Это приводит к тому, что первичная информация для решения задачи построения вектора поляризации оказывается непригодной. Обнаруживается это только в результате обработки.

2. В цифровых зондах различие в пороговой чувствительности за счет свойств сейсмоприемников незначительно. Как следует из анализа данных Таблицы 1 [7], оно составляет меньше 6 дБ.

3. Решающее значение для обеспечения пороговой чувствительности цифрового зонда имеет соотношение числа разрядов АЦП и коэффициент усиления усилителей, который определяет не только порог, при котором минимальный сигнал попадет в разрядную сетку АЦП, но и точность его оцифровки, т.е. разрешающую способность с одной стороны и

мгновенный динамический диапазон преобразования с другой.

4. Число разрядов АЦП, участвующих в преобразовании напряжения шума, должно быть не менее семи при условии, что это собственные (тепловые) шумы сейсмоприемника и усилителя или усилителей.

ВЛИЯНИЕ ТХ СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ НА КАЧЕСТВО РЕГИСТРИРУЕМЫХ ДАННЫХ

Допустим, что обеспечена необходимая точность оцифровки сигнала и решена проблема передачи цифрового кода по кабелю. Тогда имеет смысл говорить о ТХ сквозных трактов, величина и идентичность характеристик которых будет определяться свойствами сейсмоприемников.

Рассмотрим, как решается или как решена эта проблема в зондах фирмы Sercel, оснащенных сейсмоприемниками SMC-1850.

В рекламном проспекте фирмы OYO GEOSPACE [12], содержащего значительно больше сведений, чем в проспекте на сайте компании Sercel в Интернете, указано, что их неидентичность по коэффициенту преобразования без шунта составляет $\pm 5\%$, а при оптимальном затухании, от которого также зависит фазовая характеристика, $\pm 10\%$, то есть превышает требования «Рекомендаций» в два раза.

В таком случае, если не применяется специальный отбор, то неидентичность может в 3 раза превысить допустимую. Допуск по резонансной частоте в «Рекомендациях» составляет $\pm 4\%$, а в SMC-1850 $\pm 5\%$. Очевидно, что в данном случае величины обоих параметров превышают требования «Рекомендаций».

В приведенном в [12] графике зависимости коэффициентов затухания и преобразования от температуры указа-

но, что указанные в таблице параметры измерены при 20°C после прогрева до 200°C . А из анализа рисунка следует, что при изменении температуры от 25°C до 100°C затухание уменьшается почти на 20 %. При этом, видимо, предполагается, что АЧХ и градиенты изменения параметров вертикального и горизонтальных (или вертикальных, установленных, как в АМЦ, горизонтально) сейсмоприемников идеально совпадают, что вызывает сомнения и, очевидно, требует подтверждения.

Выводы

1. ТХ сейсмоприемников SMC-1850 не отвечают в полной мере требованиям метода, поскольку допуск по идентичности АЧХ и ФЧХ выходит за пределы требований «Рекомендаций».

2. Для того, чтобы ТХ сейсмоприемников отвечали требованиям "Рекомендаций", их необходимо подбирать по параметрам при сборке установок и контролировать в процессе эксплуатации.

Мы проанализировали параметры аппаратуры, влияние которых на качество сигнала может быть обнаружено в результате обработки или с помощью инструмента - системы контроля, т.е. должно обеспечиваться разработчиком. Но возникает вопрос: как оценить качество полевых записей, которое зачастую определяется визуально, и избавиться от брака?

КАЧЕСТВО ПОЛЕВЫХ ЗАПИСЕЙ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАНАЛОВ. СУПЕРВАЙЗЕРСТВО.

По мнению авторов статьи [7]: «операторы, оценивающие качество записей в процессе проведения работ на скважине, принимают в учет лишь записи, зарегистрированные вертикальными приборами. Имеются примеры того, как

на этапе приемки материалов с оценкой «отлично» принимаются записи горизонтальных компонент, которые следовало бы оценить как брак». Вполне возможно, что наличие «брака» на горизонтальных составляющих в сейсмограммах связано с наличием мертвых зон в направлениях подхода волны.

В статье [3] авторы пишут: «часто в исходных записях присутствуют шумы, связанные с ошибками кодирования сигнала и перегрузками АЦП». В статье [4] для исправления сейсмограмм, полученных с помощью цифровых зондов и подвергшихся искажению, обработчики вынуждены предлагать метод «Интеллектуальной редакции...» с применением статистических данных. Анализ рисунков, приведенных в [3,4] показывает, что некоторые шумы и помехи могут иметь схожую форму на экране, но различные причины возникновения. Бороться с этими явлениями должен, прежде всего, специалист по электронике, знающий зонд, а затем уже оператор.

Авторы статьи [7] для обеспечения приемлемого качества сейсмограмм предлагают «шире внедрять супервайзерство». Но, по нашему мнению, поскольку визуально качество первичных сейсмограмм с соблюдением требований "Рекомендаций" оценить практически невозможно, то без применения системы контроля это вряд ли приведет к желаемому результату.

Таким образом, возможными причинами низкого качества полевых записей являются:

- применение ортогональной системы расстановки сейсμοприемников, которая в сочетании с заниженным коэффициентом усиления предполагает наличие мертвых зон в направлениях подхода волны;

- отсутствие эффективной системы контроля;
- паразитные колебания скважинных приборов;
- превышение ТХ сейсμοприемников допуска по неидентичности и резонансной частоте;
- ошибки операторов.

Автоматическая приемка первичных сейсмограмм по интенсивности записи, примененная в зондах с ортогональной расстановкой сейсμοприемников (по сигналу вертикального канала), не оправдывает себя [7].

В качестве альтернативного варианта приведем пример решения данной проблемы в КГФЭ [1]. Программа автоматической приемки, реализованная в АПМ [1], использует принцип избыточной информации за счет применения четвертого, вертикального сейсμοприемника. В состав системы входит.

1. Симметричная 1,2,3,Z установка сейсμοприемников.
2. Система электрического или аппаратного контроля.
3. Система сейсмического контроля.

Оператор до начала или в процессе работы выполняет электрический контроль АЧХ каналов и сквозных трактов с целью убедиться в том, что система преобразования и передачи работоспособна, а ее параметры, прежде всего - неидентичность каналов, в пределах допуска. В процессе регистрации оператор по экрану монитора, а также программно контролирует степень совпадения сигнала вертикального и суммы сигналов наклонных СП. При необходимости отбраковываются трассы, в которых сумма сигналов наклонных сейсμοприемников отличается от сигнала вертикального более чем на 10%.

ПАЗАРИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Настоятельная необходимость борьбы с паразитными колебаниями скважинных приборов возникла с самого начала разработки метода ВСП, но возможность успешно бороться с ними появилась после внедрения в практику исследований электромеханических прижимных устройств.

Крымская ГФЭ к середине 70-х годов прошлого столетия располагала одноприборными зондами, которые были оборудованы управляемыми электромеханическими прижимными устройствами, разработанными ВНИИГИС: АСПУ-3-48 и СППУ-2м. При этом попытка борьбы с паразитными колебаниями приборов с наружным диаметром 48 мм (в настоящее время - 50 мм), применяемых в АСПУ-3-48, АСПУ ТЗ-48, АМК, АМЦ, а также целым рядом разработчиков электроники для своих зондов, путем увеличения усилия прижима желаемого результата не дала.

Поэтому в качестве базовой для разработки скважинных приборов АПМ была использована конструкция скважинных приборов СППУ-2м (наружный диаметр 82 мм). От влияния паразитных колебаний на полезный сигнал разработчикам удалось избавиться путем усовершенствования конструкции, увеличения мощности и изменения алгоритма работы прижимного устройства, а также применением ряда других мер. При этом диаметр скважинного прибора был увеличен с 82 мм до 90 мм, масса - до 37 кг.

Возникает вопрос. О недостатке конструкции скважинных приборов ВНИИГИС: АСПУ-3-48, АМК, АМЦ, предположенной к паразитным колебаниям, было известно еще в середине 70х. Вероятно, эта же проблема возникала при разработке АСПУ-ТЗ-48 (ВИМ) и

поднималась пользователями в середине 90-х. Тогда почему она остается нерешенной до сих пор, тем более, что имеется пример ее положительного решения?

Ознакомление с первичной информацией, полученной зондом фирмы Sercel, позволяет сделать вывод о том, что путем применения башмаков в скважинных приборах от паразитных колебаний полностью избавиться не удалось.

Выводы

Низкое качество информации, получаемое с помощью наиболее широко применяемых в СНГ зондов, обусловлено тем, что ТХ образцов сейсмической скважинной аппаратуры зондов фирмы Sercel и АМЦ не в полной мере отвечают требованиям многоволновой сейсморазведки, изложенным в "Рекомендациях", разработанных основателями метода.

- использование в исследуемых зонах всей разрядной сетки применяемых АЦП не обеспечивает требуемой разрешающей способности формируемых цифровых кодов во всем необходимом диапазоне.

- допуски по амплитудной и фазовой неидентичности сейсμοприемников SMC-1850, применяемых в зондах, превышают требования метода, изложенные в "Рекомендациях".

- низкий коэффициент усиления в сочетании с ортогональной установкой сейсμοприемников приводит к появлению мертвых зон при регистрации слабых сигналов и для всего диапазона преобразования при некоторых углах похода волны к установке с сейсμοприемниками.

- предположение или даже убежденность некоторых специалистов в том, что симметричная и ортогональная системы расстановки сейсμοприемни-

ков равнозначны, справедливо частично. Они равнозначны только с точки зрения математики, при обработке.

- отсутствуют системы электрического контроля параметров.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Поскольку направление развития аппаратуры для скважинной сейсморазведки в РФ, заданное АМК и продолженное АМЦ, завело в тупик, то для исправления создавшегося положения в отечественной скважинной сейсморазведке следует вернуться к изначальному направлению разработок, в частности, необходимо:

1. Выполнить постановку задачи: определить перечень исследований, их цели и условия применения аппаратуры, на основе чего выработать требования, предъявляемые к зонду или зондам, в зависимости от условий применения.

2. Следовать при разработке и приемке зондов требованиям "Рекомендаций" и, если понадобится, провести их ревизию.

3. Применять симметричную расстановку сейсмоприемников, а точнее, сравнить симметричную и ортогональную установки в полевых условиях.

4. Оснастить зонды системами аппаратного и сейсмического контроля, а также разработать или внедрить программы автоматической приемки.

5. Заменить корпус скважинного прибора или доработать с целью исключения паразитных колебаний.

6. В масштабах отрасли провести испытания отечественных систем передачи на соответствие требованиям метода или провести НИР и конкурс на разработку такой системы. Пример реализации в зондах Sercel цифровой системы передачи сигналов от 30 кана-

лов с 24-разрядным кодированием в реальном времени, при высокой температуре в скважине, подтверждает реальность выполнения такой задачи.

7. Утверждение авторов статьи [7] о том, что долгожительство аппаратуры АПМ объясняется в первую очередь отсутствием высокотемпературной элементной базы для цифровых зондов, и только потом качеством регистрируемой информации, следовало бы, по нашему мнению, уточнить. АМЦ уступает АПМ, по нашим данным, в пределах своей рабочей температуры (до 110°C) практически по всем параметрам, определяющим качество регистрируемой информации. Обоснование - сравнение первичных сейсмограмм и результаты анализа, приведенные выше. И поэтому АПМ следовало бы использовать в качестве эталона при проведении сравнительных испытаний.

8. До и после выполнения предложенных мер провести сравнительные испытания образцов-претендентов.

9. И в заключение. Еще одна из возможных причин низкого качества первичных сейсмограмм – организационная.

В 80-х годах прошлого века из «Инструкции по сейсморазведке» был изъят раздел о требованиях к ТХ и контроле параметров сейсмической скважинной аппаратуры. Контроль передан "на усмотрение" разработчика. Требования из «Рекомендаций» приводились в прошлые годы в рекламе некоторых зондов, но на практике почти никем не выполнялись и не выполняются. Или выполняются формально в виде контроля работоспособности. Нужно обязать исполнителей при сдаче материалов в обработку или обработанного материала заказчику предъявлять результаты контроля.

Литература

1. Амиров А.Н., Герасимов М.Е., Алиев О.Г., 1984г. "Временные методические рекомендации по проведению сейсморазведочных работ ПМ ВСП с целью изучения околоскважинного пространства". МГ УССР ГГП "Крымгеология" г. Симферополь.

2. А.Д.Чигрин «К вопросу о динамическом диапазоне и использовании время-импульсной модуляции в методе ВСП». Технологии сейсморазведки № 4, 2010г.

3. А.Ю. Барков, В.Н.Ференци, К.В. Баранов, А.К. Душутин, А.А.Табаков. "Редактирование сейсмических волновых полей, основанное на комплексировании методов распознавания и коррекции". Технологии сейсморазведки № 1, 2004г.

4. А.Ю. Барков, В.Н.Ференци, К.В. Баранов, А.К. Душутин, А.А.Табаков. "Усовершенствование алгоритмов редактирования импульсных и гармонических помех в записях ВСП". Гальперинские чтения 2002. Тезисы докладов. Москва 2002г.

5. Багмут В.А., Багмут А.В., Рюмин В.А. "О реальных и мнимых преимуществах цифровых зондов для вертикального сейсмического профилирования". Технологии сейсморазведки № 4. 2011г.

6. Багмут В.А., Багмут А.В., Рюмин В.А. «О чувствительности, динамическом диапазоне и глубине применения сейсмической

скважинной аппаратуры ПМ ВСП». Технологии сейсморазведки № 1. 2008г.

7. В.М.Кузнецов, Г.А.Шехтман, А.В.Череповский. Технические средства в многоволновой сейсморазведке. Технологии сейсморазведки № 1. 2013г.

8. Л.Г. Козлов «О динамических диапазонах сейсмических волн и аппаратурных средств». Геофизическая аппаратура № 82, стр. 95-100, Недра 1981г. УДК 550.834. .

9. «Методические рекомендации по применению поляризационного метода сейсмической разведки» Научные редакторы: Гальперин Е.И., Певзнер Л.А. КазВИРГ, г. Алма-Ата 1984г., стр. 37-37.

10. Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. Справочник. Издательство "ДОДЭКА" Москва, 1996г.

11. О.К.Кондратьев. «Теоретические основы цифровой записи сейсмических колебаний» М.:ВНИИГЕОФИЗИКА. 1992г.

12. Сейсмоприемник SMC-1850, технические характеристики, рекламный листок.

13. Сейсморазведка, Справочник геофизика. Под редакцией И.И. Гурвича, В.П. Номоконова, - Москва, Недра 1981г., стр 165-169.

Подробнее об авторах



Багмут
Виталий Алексеевич

директор,
ООО «Геофизприбор»



Рюмин
Виктор Анатольевич

главный геофизик,
ООО «Геофизприбор»



Багмут
Александр Витальевич

главный инженер,
ООО «Геофизприбор»