

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ОКТАБРЬ-ДЕКАБРЬ

04/2007

ТЕМА НОМЕРА:

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Мобильный спутниковый терминал ИНМАРСАТ BGAN
Программа для обработки и контроля качества сейсмических данных

НОВЫЕ

ГОРИЗОНТЫ

ГЕОРАЗВЕДКИ

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
ИСТОЧНИКИ
СЕЙСМИЧЕСКИХ
КОЛЕБАНИЙ
„ЕНИСЕЙ“**



660074, г. Красноярск, ул. Ленинградская, 66,
тел./факс (3912) 98-56-75, 95-63-14,
e-mail: common@e-geo.ru
WWW: <http://www.e-geo.ru>



■ Колонка редактора

С новым годом!
П.А. Турлов

● Тема номера: Импульсная невзрывная сейсморедакция

■ Теория

Частотно-импульсный режим возбуждения сейсмических волн группой импульсных невзрывных источников

В.А. Детков, Г.Я. Шайдуров

О возможностях адаптивного управления импульсными невзрывными источниками

В.А. Детков, Г.Я. Шайдуров

■ Приборы и системы

Импульсные электромагнитные источники «Енисей». Обзор моделей и опыт практического применения.

В.А. Детков

Земноводный электромагнитный источник сейсмических колебаний для транзитных зон и водоемов (ЗЭИ – СК – ТЗВ)

В.П. Смирнов

«Система синхронизации, управления и контроля SGD-SP для электромагнитных импульсных источников сейсмических колебаний – пять лет в поле»

А.А. Будченко, С.А. Злобин, А.И. Паули, А.Б. Ревунов, В.П. Черепанов, С.А. Шпильман

Газодинамический источник сейсмических колебаний (ГИСК)

Г.В. Крылов, А.А. Болотов

Импульсные электромагнитные сейсмоисточники «Енисей»: особенности технического решения и применения.

В.А. Детков, П.Ю. Шадин, В.В. Ивашихин

О целесообразности разработки современного кодоимпульсного сейсмического излучателя и комплекса требований, обеспечивающий его эффективность

Ю.П. Кострыгин

Многоэлементный импульсный генератор сейсмических волн двойного назначения МИГ СВ.

Ю.П. Бевзенко, С.И. Шулик

■ Геофизические технологии

Контроль качества и полевая обработка сейсмических данных в программе RadExPro Plus

С.В. Буряк, Р.Л. Певзнер, А.И. Понимаскин, А.Е. Харитонов

Результаты работ по обработке и интерпретации сейсморедакции 3D-3С в районе скважины Камовская -1

В.А. Пухарев, А.А. Беженцев, Ю.Г. Ухалов, В.А. Детков, В.Г. Худорожков, А.А. Дека

■ Приборы и системы

Технологии передачи геолого-разведочных данных из района разведки в центр обработки с использованием мобильных спутниковых терминалов Инмарсат BGAN

Я.В. Баранов

Возможности прогнозирования залежей бишофита по материалам сейсморедакции

А.В. Иванкин, А.М. Голиченко, Г.Н. Андреев, Ф. Вальххофф, В.А. Ермаков

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор
Турлов П.А.

Выпускающий редактор
Пимштейн И.Г.

Менеджер проекта
Мокроусова Е.И.

Верстка
Тарасов В.Н.

Обложка, оформление
Мокроусов Д.В.

Адрес редакции:
Россия, 410019, г. Саратов,
ул. Крайняя, 129

E-mail: turlov@skbss.ru

Тел. (845-2) 64-14-32
Fax (845-2) 64-14-52

Тираж отпечатан
в типографии ООО "Формат"
тел.: (8452) 48-99-21
Тираж: 500 экз.
Подписано в печать 13.12.07
Дата выпуска 25.12.07
Зак. № 1204

Издание зарегистрировано
в Министерстве РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций за номером
ПИ №77-7906 от 27 апреля 2001 г.

От редакционной
Ответственность за подбор и
изложение фактов в статьях
несут авторы. Редакция может
публиковать статьи, не разделяя
точки зрения авторов.



С НОВЫМ ГОДОМ!

Турлов П.А., СО ЕАГО, г. Саратов

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Этот выпуск журнала – предновогодний. И в оформлении обложки чувствуется запах елки, и в рекламном развороте ощущается влияние зимних холодов. Тем не менее, содержание номера пронизано жарким накалом страстей по очень живучему вопросу – какие источники волновых полей предпочтительнее в импульсной сейсморазведке.

О результативности технологий, использующих различные виды источников, о проблемах решенных, решаемых и пока нерешенных Вы, дорогой читатель, узнаете из журнала, который держите сейчас в руках. Как всегда, редакция готова предоставить трибуну и для тех, кто поддерживает, и для тех, кто опровергает ту или иную позицию, прозвучавшую в материалах этого номера. Во всяком случае, в журнальной рубрике «В продолжение разговора...» или в другой подходящей рубрике мы готовы опубликовать ваши статьи, даже если они достаточно далеки от темы очередного номера.

Однако вернемся к темам номеров. Для сведения, как читателей, так и потенциальных писателей я сообщаю планируемые темы журнальных номеров следующего 2008 года в расчете, что на страницах журнала появится к удовольствию заинтересованных читателей самая свежая информация. Итак...

№ 1 (23)/2008 - тема МЕНЕДЖМЕНТ В ГЕОФИЗИКЕ.

Тема номера для нашего журнала абсолютно новая, но я думаю, что покопаться поглубже в вопросах управления материальными и финансовыми ресурсами, управления персоналом, управления технологиями будет не просто интересно, но и, безусловно, полезно. В то же время редакция полагает, что менеджмент обеспечивает геофизиков технологическим инструментарием, а потому имеет все права действующего лица в нашем журнале.

№ 2 (24) /2008 - тема ТОНКОСТИ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ.

Да, именно ТАК: именно тонкости, и именно в обработке и интерпретации. Естественно в понимании soft'a как инструмента для реализации той или иной технологии, что конечно же соответствует тематической направленности нашего журнала. И пусть никто не упрекнет нас в постановке этой темы - она интересна для наших читателей.

№ 3 (25)/2008 - тема ГЛОНАСС-не для НАС?

Отечественная ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система уже используется геофизиками в производстве. Поэтому мы приглашаем в авторский коллектив номера и геофизиков, готовых поделиться собственным опытом, и разработчиков систем спутниковой связи и навигации. Так что информация будет, как говорится, из первых рук!

№ 4 (26)/2008 - тема ШЕЛЬФ: ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ГЕОРАЗВЕДКИ.

Мы несколько раз пытались запланировать эту тему в работу, но пока безрезультатно. Хочу надеяться, что очередная попытка увенчается успехом, да помогут нам в этом специалисты, ведущие исследования на шельфе.

Вот и все о предполагаемой (отклонения при реализации возможны) программе наших публикаций в новом 2008 году.

Так что с Новым годом! С новыми творческими успехами! С новыми публикациями в нашем журнале!

Будьте здоровы!

Всегда Ваш
главный редактор

П.А.Турлов

НАШИ ПАРТНЕРЫ



Сиб Геофиз Прибор

ЗАО "МВС ГГ"

Импульсные электромагнитные источники «Енисей». Обзор моделей и опыт практического применения.

В.А. Детков, ОАО «Енисейгеофизика», г. Красноярск

Электромагнитный источник сейсмических колебаний – это невзрывной поверхностный импульсный источник с силовым электромагнитным приводом, содержащим один или несколько синхронно работающих короткоходовых электромагнитов и автономную систему питания, состоящую из емкостного накопителя энергии и устройства для её заряда и разряда.

История развития сейсмоисточника на электромагнитном принципе действия насчитывает более 20 лет. В ОАО «Енисейгеофизика» в начале 90-х годов была разработана серия санных (Енисей СЭМ) и колёсных (Енисей КЭМ) источников на усилия до 100 тонн с использованием электромагнитов на усилии 25 тонн.

Особенно интенсивно модернизация сейсмоисточников и разработка их модификаций под общим названием «Енисей» начала проводиться в ОАО «Енисейгеофизика» с 2000 года. В настоящее время, кроме санных (Енисей-СЭМ) и колёсных (Енисей-КЭМ) источников разработан и успешно прошел испытания водный (Енисей-ВЭМ) электромагнитный источник для работы в транзитных зонах. Всего на опытном производстве ОАО «Енисейгеофизика» производится 11 модификаций электромагнитных источников для работы в различных поверхностных условиях – арктической тундре, горно-таежной местности, в пустыне, по льду водоемов, по рекам и в транзитных зонах. Эти источники широко используются на площадях с различными сейсмогеологическими условиями при производстве всех типов сейсморазведочных работ – 2Д, 3Д, 2Д-3С и ВСП.

Источники ряда «Енисей» позволяют решать задачи возбуждения сейсмических колебаний в ряде ситуаций, когда использование взрывов запрещено или физически неэффективно – жилые, промышленные, природоохранные территории, участки с большой мощностью ЗМС или многолетней мерзлотой. Преимуществами перед вибратором являются: возможность использования на чрезвычайно пересеченной



Рис.2. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-50». Предназначен для проведения сейсморазведки в зимний период в труднопроходимых районах горно-таежной и тундровой местности, на ледовых покровах водоемов



Рис.3. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-100». Является наиболее распространенной и востребованной моделью источника для проведения сейсморазведки в зимний период. Предназначен для работы в условиях горно-таежной и тундровой местности



Рис.1. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-20». Предназначен для оперативной транспортировки авто- и авиатранспортом к месту проведения сейсмокаротажа и ВСП неглубоких скважин



Рис.4. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-180». Источник повышенной мощности, предназначен для проведения сейсморазведки в зимний период, в районах горно-таежной и тундровой местности при ограниченной базе группирования источников

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Рис. 5. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-1». Предназначен для изучения сейсмическими методами зоны малых скоростей (ЗМС) и верхней части разреза (ВЧР). Конструктивно выполнен в виде прицепа к автомобилю



Рис. 9. Электромагнитный источник «Енисей-ВЭМ-100», водный вариант. Предназначен для проведения сейсморазведки в летний период, в условиях водных акваторий



Рис. 6. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-2». Является наиболее распространенной колесной моделью источника, предназначен для проведения сейсморазведки, как в летний, так и в зимний периоды в районах горно-таежной, степной и тундровой местности



Рис. 10. Электромагнитный источник «Енисей-ЭМ-1.6», малогабаритный вариант. Предназначен для инженерных сейсмических исследований поверхностной части разреза



Рис. 7. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-2-130». Источник смонтирован на автомобиле «Урал» повышенной проходимости. Предназначен для проведения сейсморазведки в летний и зимний периоды в труднопроходимых районах горно-таежной, тундровой, степной и пустынной местности

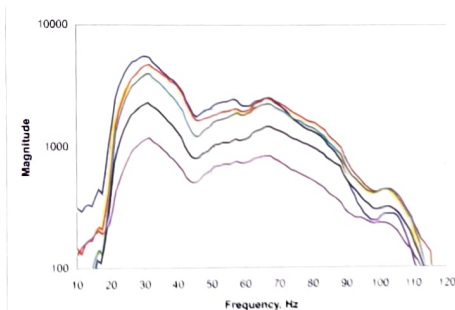


Рис. 11. Спектры полезного сигнала, рассчитанные в среднем диапазоне удалений ПВ-ПП, в зависимости от числа источников в группе, интервал между источниками 10 м



Рис. 8. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-4». Предназначен для проведения сейсморазведки как в летний, так и в зимний периоды в районах горно-таежной, степной и тундровой местности

местности, на водоемах по льду относительно небольшой толщины, лучшая идентичность накапливаемых воздействий даже на рыхлой поверхности и меньшая стоимость.

На рис. 11 показана зависимость амплитудных спектров от числа источников в группе, длина которой пропорциональна их числу. Видно, что база группирования 40 м (4 шт.) является оптимальной для данных условий, хотя и три источника дают вполне приемлемые результаты.

Сейсмическая эффективность импульсных электромагнитных источников ряда «Енисей»

сравнивалась с эффективностью взрывной и вибрационной технологии возбуждения упругих колебаний на полигонах Сибирской платформы (рис. 12), Западно-Сибирской плиты (рис. 13) и Предуральяского прогиба (рис. 14).

Взрывная технология возбуждения упругих колебаний существенным образом повышает стоимость проведения сейсморазведочных работ и создает дополнительные трудности технологического и экологического плана. Избежать всех

этих проблем, существенно не снижая эффективности сейсморазведки, позволяет применение электромагнитных импульсных источников упругих колебаний ряда «Енисей – СЭМ (санний), КЭМ (колесный)», нашедших широкое применение на площадях с самыми разнообразными сейсмогеологическими условиями.

Производство взрывных работ запрещено в водоохраных зонах и там, где на площади работ имеется большое количество рек и озер, это приведет к значительной потере кратности при пересечении профилем водоемов, а в местах, где протяженность водоема вкупе с водоохраной зоной будет превышать 3 км, вообще к «дырам» на временном разрезе. Опыт проведения работ с применением импульсных источников «Енисей» по ледовым покрытиям водоемов, позволяет говорить, что электромагнитные источники «Енисей» – единственное средство позволяющее проводить сейсморазведку в таких местах (рис. 15, 16).

Особенно эффективно применение электромагнитных источников «Енисей» при 3D съемке (рис. 17). Стабильность импульса и параметров возбуждения позволяют решать тонкие динамические задачи для обнаружения коллекторов и залежей углеводородов.

Применение импульсного источника «Енисей» при проведении работ ВСП дает ряд неоспоримых преимуществ перед взрывом в скважине. Практика показала, что проведение сейсморазведки с использованием невзрывных источников позволяет упростить полевые работы, снизить их стоимость и повысить безопасность за счет отказа от использования взрывчатых веществ, исключить, или свести к минимуму ущерб, наноси-

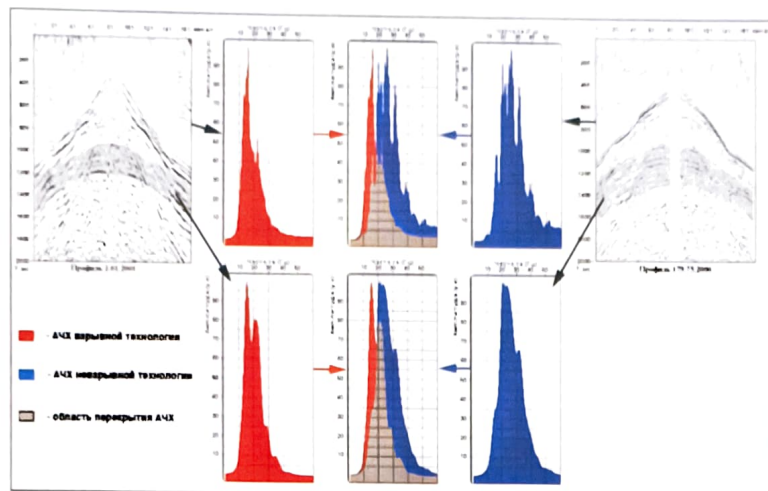


Рис. 12. Амплитудно-частотные характеристики сейсмограмм при взрывной (слева) и невзрывной (справа) технологии (электромагнитные источники «Енисей-СЭМ-100»). Сибирская платформа

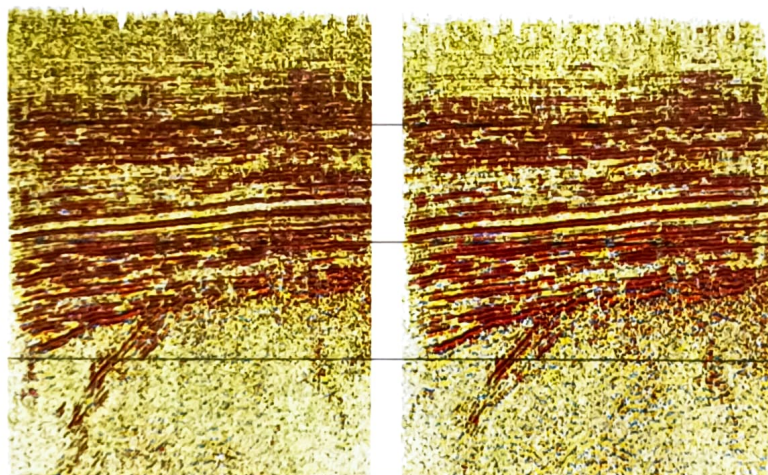


Рис. 13. Сравнение временных разрезов, полученных с взрывными источниками (слева) и невзрывным (справа) электромагнитными источниками «Енисей-СЭМ-100». Западно-Сибирская плита

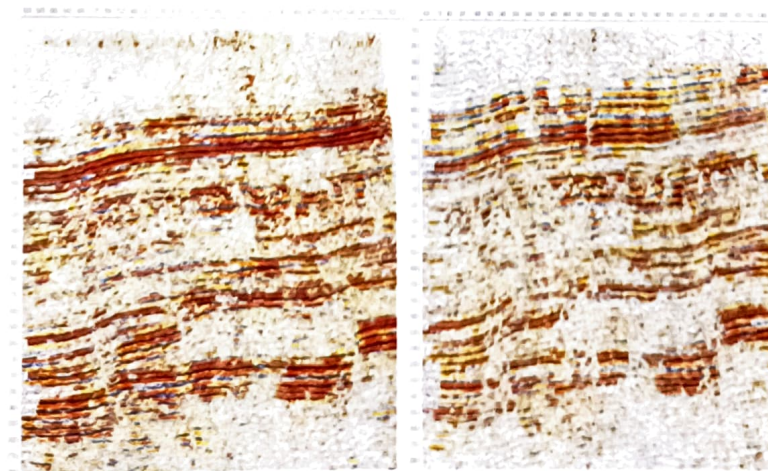


Рис. 14. Сравнение временных разрезов, полученных с импульсными электромагнитными источниками «Енисей-КЭМ-2» (слева) и вибраторами СВ-5-150 (справа). Северный борт Прикаспийской синеклизы

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

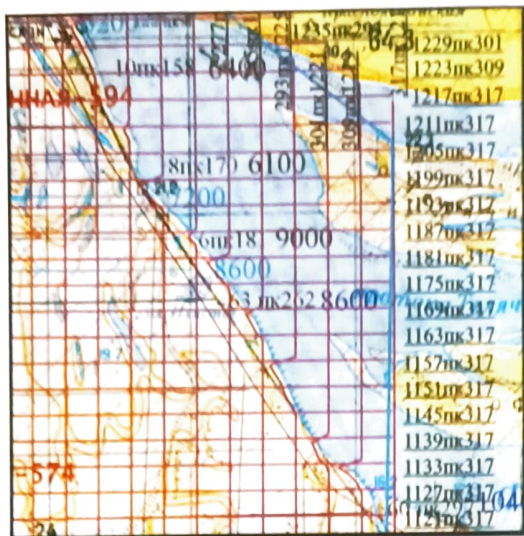


Рис. 15. Экологическая безопасность источников «Енисей» позволяет комбинировать взрывные источники на берегу и электромагнитные источники на льду реки. Западная Сибирь, река Обь, площадь 3D

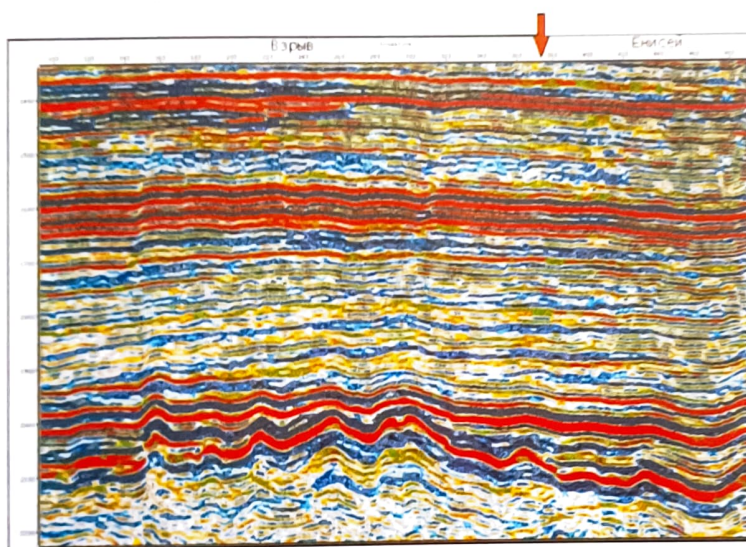


Рис. 16. Один из профилей площади 3D, отработанных с комбинированием взрывных источников на берегу и электромагнитных источников на льду реки. Западная Сибирь, река Обь

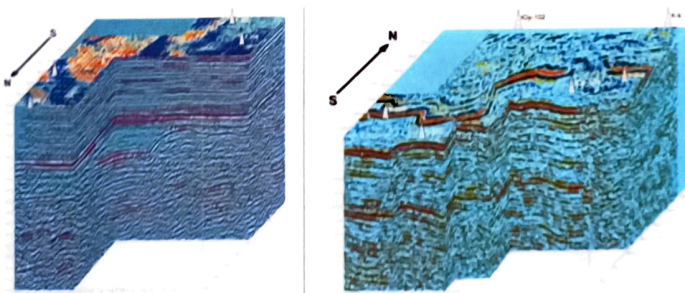


Рис. 17. Сейсмическая съемка 3D на Куомбинской площади. 5 электромагнитных источников «Енисей-СЭМ-100», 8 накоплений. (Восточная Сибирь, 1998)

мой окружающей среде.

Многочисленные сейсморазведочные работы методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) с применением импульсного источника сейсмических колебаний «Енисей» позволяют сделать следующие выводы:

1 При возбуждении сейсмического сигнала импульсным источником «Енисей» разрушения почвы не происходит. По этой причине условия возбуждения не меняются и возбуждаемый импульс идентичен на всех точках физических наблюдений. Добиться идентичности возбуждаемого импульса при взрыве практически невозможно.

2 Накопление сигнала, приводимое при работах с импульсным источником сейсмических колебаний, позволяет в значительной степени повысить уровень случайных помех. Без накопления сейсмического сигнала это невозможно, так как ВСП в стандартной методике это однократные наблюдения.

3 Диапазон частот, зарегистрированных от импульсного источника, не уступает взрывному источнику.

Богатый опыт использования электромагнитных источников «Енисей» в различных геофизических организациях показывает, что использование этих источников геологические и экономические оправдано не только при работах ВСП, но и при 2D и 3D сейсмических исследованиях. Работы ВСП, проведенные в Западной Сибири с источником «Енисей», наглядно демонстрируют, что глубина исследований в 4 и более километров далеко не предел для импульсных электромагнитных источников этого типа (рис. 18).

Сравнение работ ВСП, проведенных с различными видами источников, позволяет говорить, что сейсмические данные, полученные с использованием электромагнитных источников «Енисей» не только не уступают, но в некоторых случаях даже превосходят информативность других видов источников (рис. 19).

Богатый опыт применения электромагнитных источников «Енисей» в сложнейших сейсмогеологических условиях западной части Сибирской платформы опровергает тезис о том, что применение электромагнитных источников эффективно лишь при простых сейсмогеологических условиях. Проведенные сейсмические исследования по региональному геотранверсу «Диксон - оз. Хантайское» с применением импульсных источников «Енисей» позволили изучить разрез осадочного чехла на глубину до 20 км (рис. 20).

Для отработки водных и транзитных зон в ОАО «Енисейгеофизика» разработан и изготовлен опытный образец водного электромагнитного источника «Енисей-ВЭМ-100», который успешно прошел испытания на акватории Красноярского водохранилища и устье р. Иртыш.

Сравнительные испытания водного источника

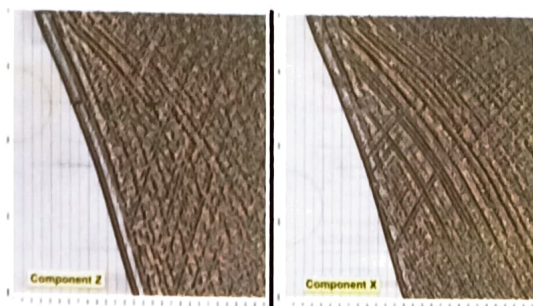
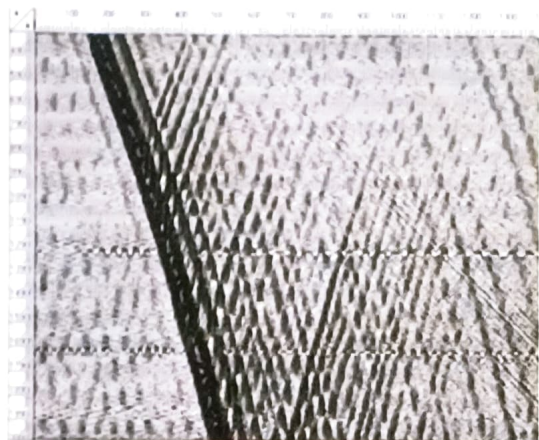
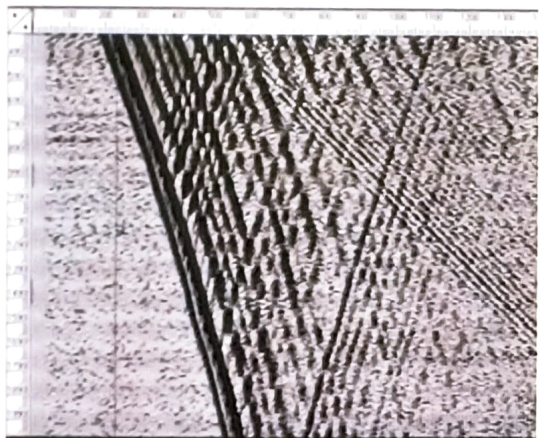


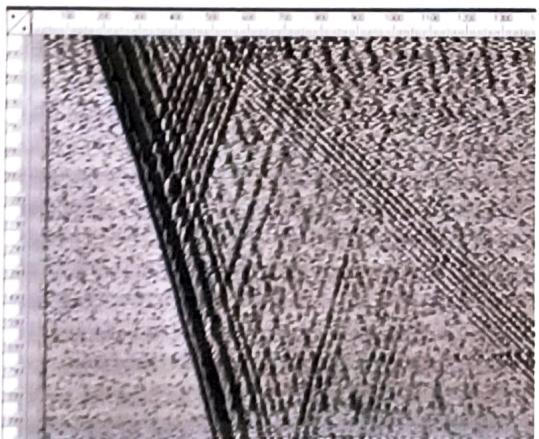
Рис. 18. Исходное волновое поле ВСП в глубокой скважине (4000 м). 4 источника «Енисей-СЭМ-100»



Вибраторы: линейный свип 10-90 Гц. Длина свипа 10 с



Источник «Енисей-СЭМ-100»: Накопление 4-х одиночных воздействий, открыт канал



Взрыв в скважине: Глубина скважины – 14 м, величина заряда 0.25 кг тротила, открытый канал

Рис. 19. Сравнение данных ВСП, полученных с различными типами источников

с пневматическими пушками, традиционно используемыми для возбуждения сейсмических колебаний в водной среде, показали, что при сопоставимых результатах (рис. 21), водный электромагнитный источник «Енисей-ВЭМ-100» значительно проще в эксплуатации, а его использование экономически эффективнее.

В пределах Сибирской платформы выделению сложных по строению ловушек литологического и тектонически-скрапированного типов препятствуют такие сейсмогеологические факторы как высокая насыщенность разреза траппами, высокоскоростной тип разреза (до 5500-6000 м/с), а также значительный фон кратных волн. Во многом из-за этого, традиционная сейсморазведка на протяжении последних двух десятилетий с разной степенью достоверности позволяла картировать в западной части Сибирской платформы лишь реперные отражения, а при решении тонких задач выделения литологических и тектонических ловушек оказывается неэффективной. Решению этих проблем во многом может способствовать многоволновая сейсморазведка. Преимущества тут очевидны. Во-первых, скорости обменных волн примерно в полтора раза ниже, чем у продольных. Во-вторых, у обменных волн гораздо ниже способность к образованию кратных волн того же типа. И, в-третьих, использование комплекса продольных и обменных волн позволяет непосредственно из сейсмических записей извлекать параметры, характеризующие продуктивность того или иного уровня.

Предварительные результаты обработки профиля 2D-3С на Оморинской площади, отработанного с использованием электромагнитных источников «Енисей», убедительно доказывают, что на разрезе обменных волн фон кратных отражений на уровне целевых венд-рифейских горизонтов, значительно ниже, чем на разрезе продольных волн (рис. 22).

Исходя из многочисленных практических результатов, проведенных во многих регионах России с электромагнитными источниками «Енисей» и, учитывая богатый выбор моделей этих источников, можно с уверенностью сделать вывод о целесообразности их использования для всех, без исключения, видов сейсмических исследований.

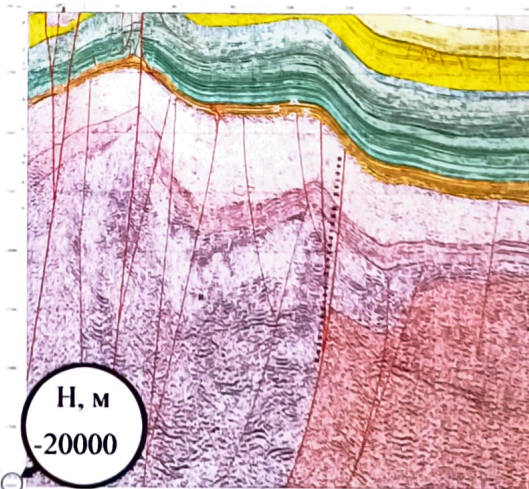


Рис. 20. Фрагмент глубинного разреза вдоль регионального профиля п. Диксон – оз. Хантайское. 5 электромагнитных источников «Енисей-КЭМ-4», 12 накоплений

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

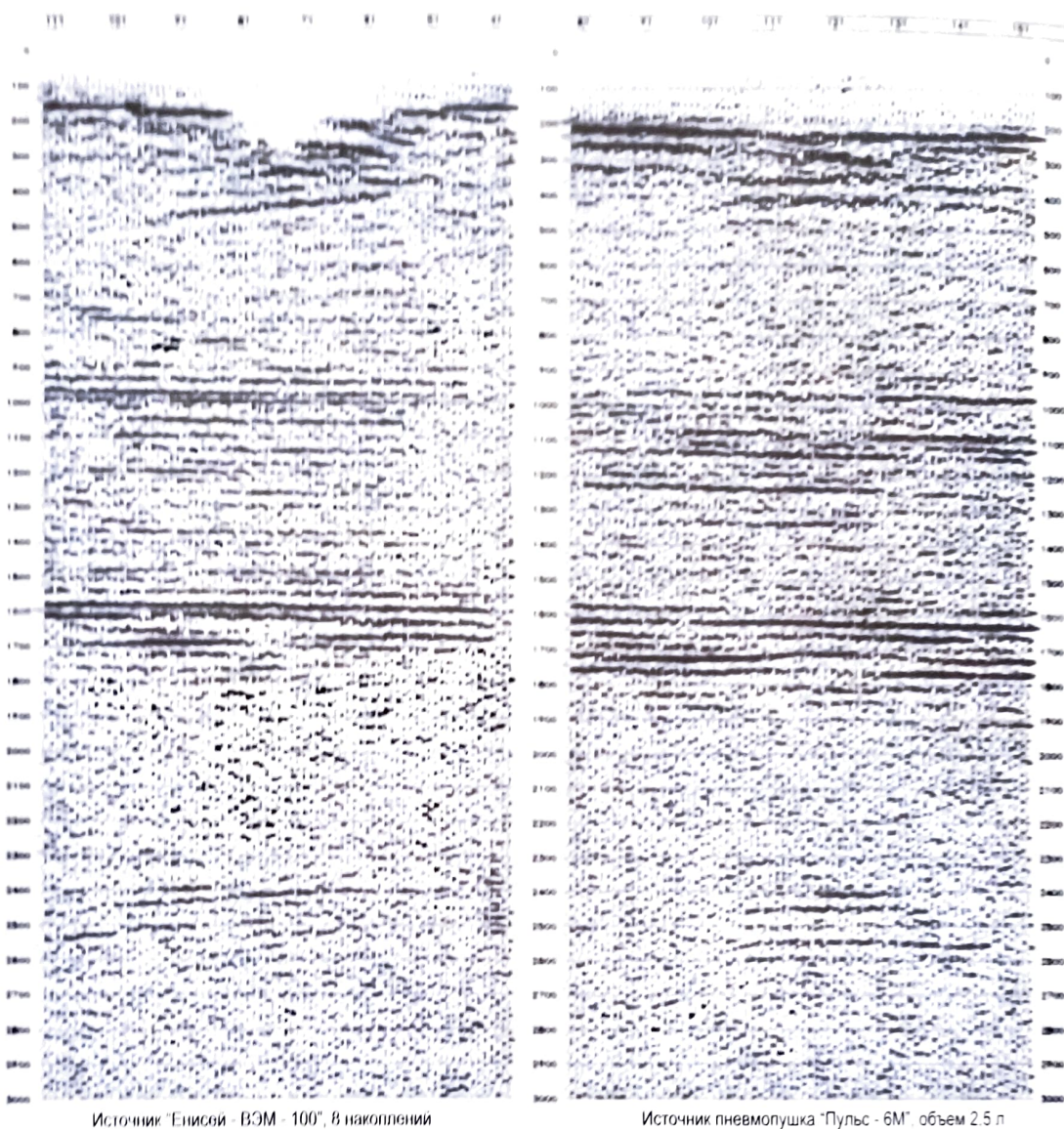


Рис. 21. Временные разрезы, полученные после сравнительных испытаний водного источника «Енисей-ВЭМ-100» и пневматического «Пульс-6М»

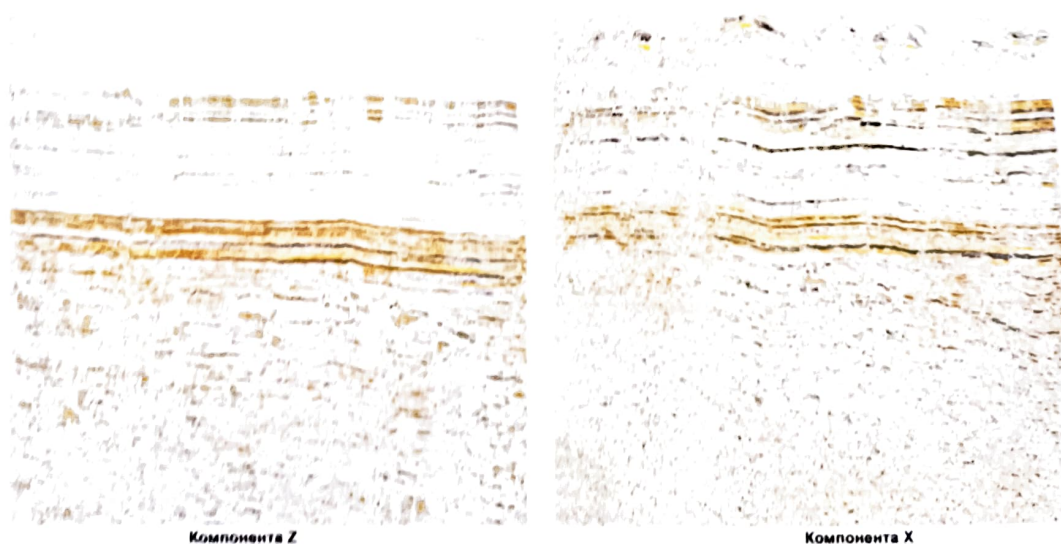


Рис. 22. Многоволновая регистрация на профиле 25 Омороинской площади. Временные разрезы продольных и поперечных волн

Частотно-импульсный режим возбуждения сейсмических волн группой импульсных невзрывных источников

В.А. Детков, Г.Я. Шайдунов, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В практике сейсморазведочных работ, в целях увеличения отношения сигнал/шум, общепринята методика группирования n -источников излучения, как невзрывных, так и взрывных, путем синхронизации моментов их излучения. При этом отношение сигнал/шум на входе сейсмоприемников растет пропорционально числу источников n .

Экспериментальными работами [1] было показано, что точность синхронизации по времени включения импульсных источников должна быть не хуже 100 мкс. Рассинхронизация существенно снижает эффективность работы группы. Остается неясным вопрос о влиянии разбросов начальных моментов формирования сейсмической волны за счет неидентичности параметров подстилающего источник грунта.

Не вдаваясь в эту проблему, считая, что источники идеально согласованы по началу времени возбуждения рассмотрим возможности управления частотой излучения сейсмической волны путем последовательного возбуждения группы источников с некоторым периодом повторения T_1 , согласованным с желаемым спектром излучения.

Заметим, что используемое ниже понятие энергетического спектра относится к квадрату модуля амплитудно-частотной характеристики возбуждаемых сейсмических волн под действием единичного импульса. Энергетический спектр синхронных помех (СП) формируется из частных типов волн, как их совокупность, с энергетическим суммарным спектром:

$$F_n(\omega) = \sum_{i=1}^N F_{n_i}(\omega_i) \quad (1)$$

где $F_{n_i}(\omega_i)$ – спектральная плотность мощности отдельных спектральных составляющих СП. Предельное отношение сигнал/(СП+шум) по мощности при оптимальной обработке сигналов определяется как [2]:

$$q_{opt} = \frac{T}{\pi(1+v)} \int_0^\infty \frac{S_1^2(j\omega) d\omega}{\sum_{i=1}^N P_i F_{n_i}(j\omega_i)} \quad (2)$$

Здесь $P_i = \frac{I(j\omega_i)}{I(j\omega)}$ – относительный вес в спектре

частот возбуждаемых гармоник СП ($i=1, 2, 3 \dots n$); $S_1(j\omega)$ – характеристика полезного сигнала; v – отношение шум/СП; T – время существования сигнала. Максимальное значение (2) достигается при $i=1$ и $S_1^2(j\omega_i) = F_{n_i}(j\omega_i)$, что означает возбуждение сейсмических волн на желаемой частоте полезного сигнала. В качестве возбудителя может быть использован либо вибрационный источник, либо импульсный – с частотой повторения импульсов, соответствующей частоте возбуждения полезного сигнала.

Как видно из (2), при малом шуме ($v \ll 1$) величина q_{opt} определяется лишь отношением полезный сигнал/СП и не зависит от мощности источника возбуждения сейсмических волн.

На рис. 1 изображены временные функции одиночного и периодически повторяемого импульсного сигнала, а также их спектральные характеристики.

В полосе частот $\left[0, \frac{2\pi}{\tau}\right]$ сосредоточено до 90% энергии сигнала.

Режим повторения импульсов с периодом T_1

формирует гребенчатую структуру частотной характеристики с полосой частот $\omega = \pm \frac{2\pi}{T_1}$, сосредоточенной по энергетике вокруг желаемой частоты возбуждения ω_c и ее гармоник.

Согласно [3] спектр одиночного косинусоидального импульса длительностью τ описывается функцией:

$$S_1(\omega) = \frac{2}{\pi} I_0 \tau \frac{\cos \omega \tau}{1 - \left(\frac{\omega \tau}{\pi}\right)^2} \quad (3)$$

$$P_c = n \int_{-\Delta\omega_c}^{\Delta\omega_c} S_1^2(\omega) d\omega \approx 2n S_1^2(\omega_c) \Delta\omega_c \quad (4)$$

где $2\Delta\omega_c = \frac{4\pi}{T_1}$ – ширина спектра зондирующего сигнала.

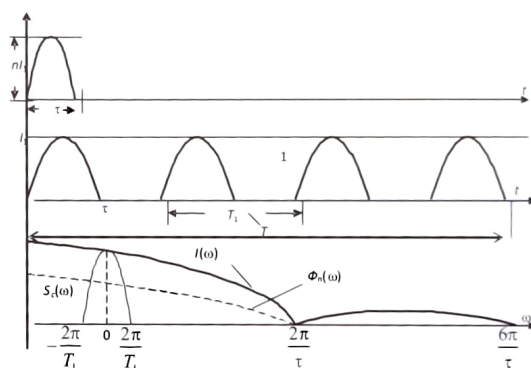


Рис.1. Временная структура и спектры одиночного сигнала и пачки из пяти импульсов

Спектральная плотность пачки из n источников растет также, как и энергия группы источников, т.е. прямо пропорционально их числу. Мощность синхронных помех для этого же случая:

$$P_{n1} = n \int_{-\Delta\omega_c}^{\Delta\omega_c} F_n(\omega) d\omega = 2n F_n(\omega_c) \Delta\omega_c \quad (5)$$

где $F_n(\omega_c)$ – спектральная плотность мощности СП на частоте сигнала.

$$\text{Отношение } \frac{C}{СП} : q_1 = \frac{P_{c1}}{P_{n1}} = \frac{S_1(\omega_c)}{F_n(\omega_c)} \quad (6)$$

В случае одновременного излучения n источниками:

$$P_{c2} \approx 2n S_1^2(\omega_c) \Delta\omega_c \quad (7)$$

$$P_{n2} = n \int_{\omega_1}^{\omega_2} F_n(\omega) d\omega \approx n F_n(\omega) (\omega_2 - \omega_1)$$

Отношение $C/СП$ для этого случая:

$$q_2 = \frac{2S_1^2(\omega_c) \Delta\omega_c}{F_n(\omega) (\omega_2 - \omega_1)} \quad (8)$$

Выигрыш метода последовательного возбужде-

ТЕОРИЯ ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА

ным по отношению к одновременному

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{I_1(\omega_1 - \omega_2)}{2I_2(\omega_1 - \omega_2)} \quad (9)$$

В приближении равномерного распределения энергетического спектра СП в полосе частот возбуждения $F(\omega) \approx F_0(\omega)$, из (9) получим

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\Delta\omega} \quad (10)$$

С учетом того, что $\omega_2 < \omega_1$, $\omega_2 \approx \frac{2\pi}{T} - \Delta\omega$, из (10) будем иметь:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2} \frac{T}{\tau} \quad (11)$$

Поскольку $T = 2\pi\tau$, то

$$\frac{q_1}{q_2} = n \quad (12)$$

Таким образом, последовательное возбуждение источников, по сравнению с одновременным, дает энергетический выигрыш в отношении сигнал/СП по мощности приблизительно в n раз, т.е. пропорционально числу используемых источников.

Физически это означает, что возбуждение геологического разреза на ожидаемой частоте полезного сигнала позволяет не излучать весь спектр СП в полосе $(\omega_2 - \omega_1)$, а лишь в полосе сигнала $2\Delta\omega$, и тем самым более рационально использовать энергию источника.

В этом смысле вторичная фильтрация сигналов в приемнике не адекватна получаемому выигрышу.

Действительно, настраивая приемник на частоту сигнала ω , мы одновременно уменьшаем мощность СП в полосе приемника и в этом смысле отношение С/СП на выходе приемника получается одинаковым для обоих методов, но выигрыш в энергетических затратах излучателя на создание этого результата при последовательном возбуждении имеется и определяется (12).

Так, при $n = 5$, до 80% энергии излучателей уходит на создание синхронных помех, формирующих на входе приемника мощную помеху, требующую для обработки адекватного динамического диапазона по амплитуде. В этом случае, при наличии нелинейностей в коэффициенте передачи усилительного тракта до аналого-цифрового преобразователя, возможны эффекты подавления слабого полезного сигнала более сильной помехой. К тому же, мощный фон СП затрудняет визуальную интерпретацию сейсмограмм на этапе их получения в поле.

Целесообразность использования режима последовательного возбуждения источников определяется также ограничениями энергетического потенциала источника, в частности при работе от аккумуляторов, а также необходимостью увеличения производительности работ. В этом случае нужно минимизировать число повторных ударов в целях накопления полезных сигналов и увеличения их по отношению к шумам.

В качестве модели формирования продольной волны полезного сейсмического сигнала используем передаточную функцию колебательной системы. Эквивалентом этой модели может служить колебательный контур с амплитудно-частотной характеристикой вида:

$$K(f) = \frac{\rho Q}{\sqrt{1 + 4Q^2(f - f_{res})^2}} \quad (13)$$

где $\rho = \frac{L}{C}$ – волновое сопротивление контура;

$Q = \frac{f_{res}}{\Delta f}$ – добротность; $f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ – резонанс-

ная частота.

Электрические параметры контура $L=1,58 \text{ Гн}$, $C=10^{-8} \text{ Ф}$, $R=100 \text{ Ом}$, $Q = \frac{\rho}{R}$. При этом $f_{res}=100 \text{ Гц}$, $Q=2$. Полоса пропускания по уровню 0,7 $\Delta f=24 \text{ Гц}$. Частотная характеристика контура приведена на рис. 2

На рис. 3 изображена временная форма одиночного импульса (рис. 3) синусоидального сигнала длительностью 5 мс (а), его спектра (б), реакции модели колебательной системы (в) и выходного спектра сигнала, прошедшего через модель (г).

На рис. 4 изображены аналогичные характеристики для пачки из пяти сигналов той же длительности с периодом повторения $T_p = 25 \text{ мс}$ и амплитудой в 5 раз меньшей.

Как видно из рисунка, спектр подобного сигнала сосредоточен в трех частотных окнах: 0-10 Гц, 30-50 Гц, 70-90 Гц, причем третье окно соответствует второй гармонике частоты повторения.

Выходной сигнал модели рис. 4 (в) имеет затухающую колебательную форму, т.е. вполне описывает наблюдаемые сигналы на выходе сейсмоприемников, а его спектр рис. 4 (г) сосредоточен около частоты повторения группы импульсов – 40 Гц.

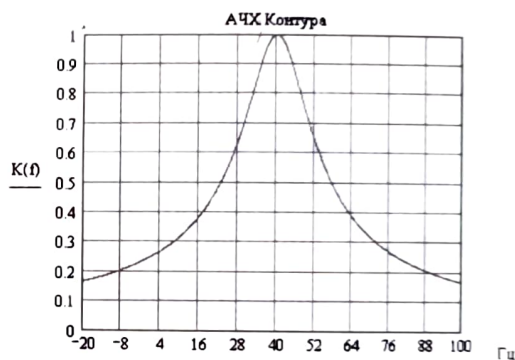


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика модели формирования полезного сигнала

На рис. 5 изображены соответствующие эпюры для пачки из 5 импульсов, того же периода повторения – 25 мс, но длительностью $\tau = 12,5 \text{ мс}$, при сохранении энергии в импульсе. Из эпюр видно, что по сравнению с рис. 4 в этом режиме уменьшилась в 2 раза амплитуда спектральной линии второй гармонки. Снижение периода повторения импульсов до $\tau=10 \text{ мс}$ смещает центральную частоту спектра излучаемого сигнала соответственно с частотой повторения 100 Гц, а выходной спектр сигнала становится более равномерным в полосе 0-120 Гц. Это отражает факт избирательного действия модели, настроенной на частоту 40 Гц относительно излучаемой пачки импульсов.

Сопоставления этих рисунков позволяет сделать вывод о том, что спектральная плотность мощности входного сигнала на частоте настройки модели 40 Гц сохранилась в обоих случаях. Однако амплитуда выходного сигнала в пачке уменьшилась в 5 раз по сравнению с 5-кратным одиночным импульсом, а спектральная плотность мощности на частоте 40 Гц практически не изменилась.

Таким образом, ожидаемая на сейсмограмме амплитуда сигнала, соответствующая описанному вычислительному эксперименту, по отношению к шуму снижается и только после обработки сигнала цифровым фильтром, настроенным на частоту повторения импульсов в пачке, отношение сигнал/шум восстанавливается на выходе

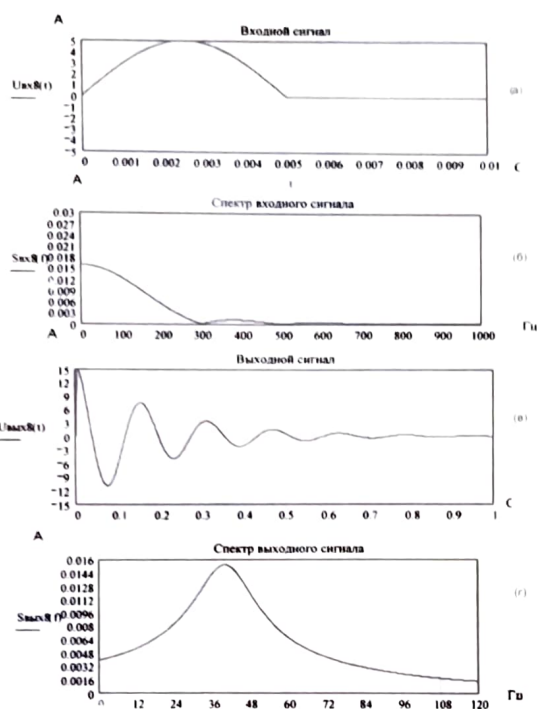


Рис. 3. Временная форма одиночного импульса синусоидального сигнала длительностью 5 мс (а), его спектра (б), реакции модели колебательной системы (в) и выходного спектра сигнала, прошедшего через модель (г)

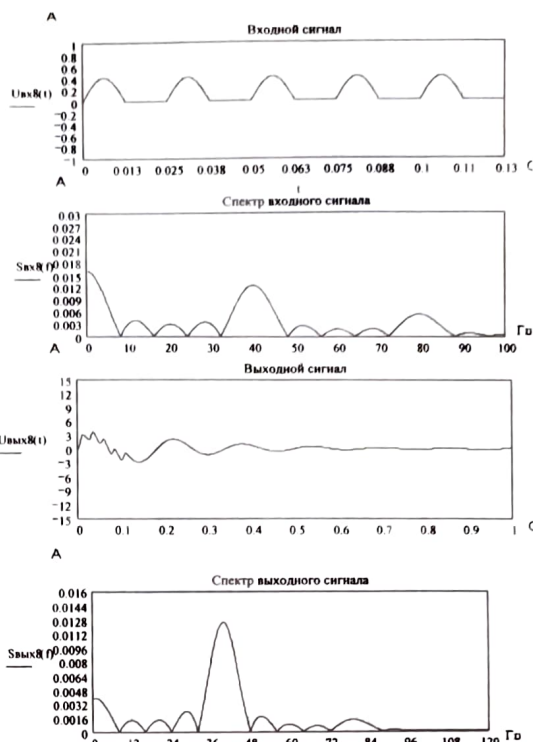


Рис. 5. Соответствующие эпюры для пачки из 5 импульсов, того же периода повторения – 25 мс, но длительностью 12,5 мс при сохранении энергии в импульсе

широкополосных шумов. Для последовательного режима возбуждения тот же результат оператор может видеть лишь на выходе цифрового фильтра. Поскольку результирующая спектральная плотность мощности на выходе модели рис. 3 одинаковы, а обработка фильтром, согласованным с полезным сигналом, снижает уровень входных шумов в равной степени, то в итоге после вторичной обработки оба метода по критерию отношения сигнал/шум дают одинаковый результат.

В другом крайнем случае, когда синхронные помехи существенно превышают полезный сигнал, последний будет более рельефно виден на фоне СП, поскольку излучаемый сигнал плохо возбуждает СП при возбуждении георазреза пачкой импульсов. Здесь должно проявляться преимущество метода последовательного возбуждения.

В сентябре 2007 года в Богучанском районе Красноярского края проведены полевые предварительные эксперименты, сделанные на основе теоретических выводов, изложенных в статье. В данный момент экспериментальные данные находятся на этапе обработки и анализа, по результатам которых будет определено соответствие теоретических и практических оценок.

Управление временным запаздыванием излучения группы невзрывных источников позволяет решить также ряд дополнительных проблем сейсморазведки [4], таких как изменение направленности излучения, ослабление влияния волн-помех, управление кинематикой отраженных волн и др.

Литература

1. Смирнов В.П. Технические средства и содержание проверки источников ряда «Енисей» в цикле накопления одиночных и групповых воздействий. Приборы и системы разведочной геофизики, № 2. Саратов, 2005. С. 45-48.
2. Шайдулов Г.Я. Импульсные электромагнитные системы поиска. Красноярск: КГТУ, 1999. 320 с.
3. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Физматгиз, 1962.
4. В.Я. Бендерский, Л.Д. Райхер, И.И. Хараз. Метод управления фронтами волн в сейсморазведке. М.: Недра, 10 973. 200 с.

цифрового согласованного фильтра. Откуда можно сделать вывод о достоинствах и недостатках рассматриваемых методов возбуждения.

В случае высокого уровня некоррелированных шумов по сравнению с синхронными помехами одновременное возбуждение излучателей позволяет оператору сейсмостанции лучше различить принимаемый полезный сигнал над уровнем

синхронные помехи, формируемые первым слоем, так и полезные сигналы первого отражения.

Эквивалентная системная модель задачи представлена на рис. 4.

Передаточные функции модели рис. 3 запишем как:

$$\Phi_{12} \Phi_{27} = \Phi_{17} e^{-p\tau_1}; \tau_1 = \frac{2r_1}{V_1}, \quad (12)$$

$$\Phi_{13} \Phi_{37} = \Phi_{137} e^{-p\tau_2}; \tau_2 = 2 \left(\frac{r_1}{V_1} + \frac{r_3 - r_1}{V_2} \right), \quad (13)$$

$$\Phi_{14} \Phi_{47} = \Phi_{147} e^{-p\tau_4}; \tau_4 = \frac{r_1}{V_1} + \frac{r_3 - r_1}{V_2} + \frac{r_{34}}{V_3}. \quad (14)$$

Реверберационная помеха двукратного отражения в первом слое:

$$\Phi_{12} \Phi_{27} \Phi_{78} \Phi_{89} = \Phi e^{-p\tau_{219}}; \tau_{219} = \frac{4r_1}{V_1}. \quad (15)$$

ПФ реверберационной помехи трехкратного отражения первого слоя можно записать в виде:

$$\Phi_{3p19} = \Phi_{12}^6 e^{-p\tau_{319}}; \tau_{319} = \frac{6r_1}{V_1}. \quad (16)$$

ПФ сигнала преломленной волны в первом слое запишем приближенно в виде:

$$\Phi_{119} = \Phi_{12}^2 \Phi_{22} e^{-p\tau_{11}}; \tau_{11} \approx \frac{2r_1}{V_1} + \frac{x_2}{V_1}. \quad (17)$$

где Φ_{22} , V_{11} - соответственно ПФ и скорость распределения преломленной волны. Остальные

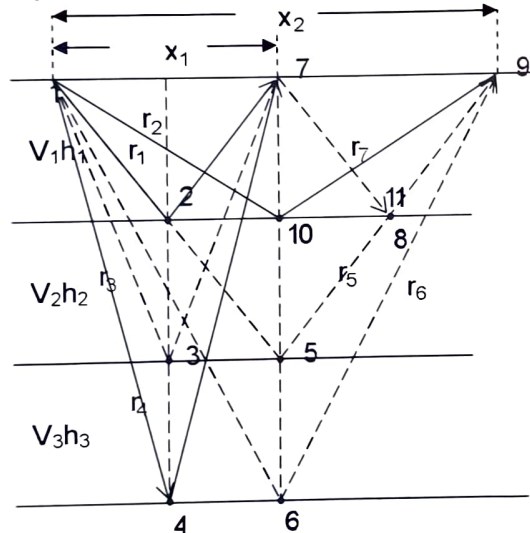


Рис. 3. Формирование сигнала в трехслойной модели. 1-10 - точки отражения и приема; 11 - преломленная волна в первом слое; V_i , h_i - соответственно скорости распространения сигналов и мощность слоев; r_i - длина пути сигнала в слое; x_1 , x_2 - расстояние между источником и сейсмоприемниками

ПФ определяются аналогичным образом.

Если интенсивность преломленной волны невелика по сравнению с реверберационной (РБ), то РБ помеху можно восстановить через соотношение (16) с оценкой кратности ее запаздывания по отношению к запаздыванию сигнала от полезного слоя.

По рис. 3 можно оценить кратность запаздывания РБ помехи.

Условие наложения на полезный сигнал i -го слоя РБ помехи:

$$\tau_{PB} = \tau_i \quad (18)$$

Где, например, для сигнала второго слоя:

$$\tau_i = \tau_5 = \frac{2r_5}{V_2} \quad (19)$$

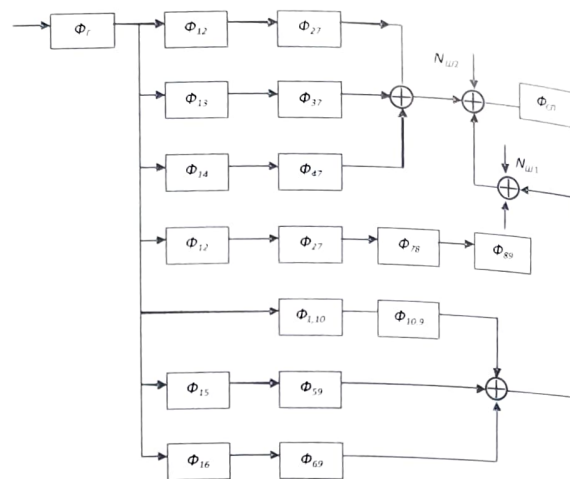


Рис. 4. Системная модель для трехслойной модели.

Для третьего слоя

$$\tau_i = \tau_6 = \frac{2r_6}{V_3}, \quad (20)$$

где V_2 и V_3 - эффективные скорости распространения сигналов до точек отражения 5 и 6 с учетом скоростей распространения в первом и втором слоях.

Запаздывание РБ помехи:

$$\tau_{Di} = \frac{2kr_1}{V_1}. \quad (21)$$

Здесь k - кратность отражения, которая может быть определена через соотношение:

$$\tau_{Di} = \frac{2kr_1 V_2}{V_1 \cdot 2r_5} \quad (22)$$

Поскольку величины запаздывания сигналов

$\tau_1 = \frac{2r_1}{V_1}$ и $\tau_5 = \frac{2r_5}{V_2}$ известны по результатам приема.

то величина кратности определяется из (22) прямым вычислением. Наличие РБ помехи определяется критерием $k = 1, 3, 5, \dots$, т.е. нечетными числами натурального ряда.

Если получаемое при приеме сигнала отношение (22) соответствует этому критерию, то это означает присутствие в полезном сигнале РБ помехи.

В этом случае с помощью соотношений типа (15) и (16) синтезируется сигнал РБ помехи по данным ПФ первого слоя Φ_{12} , полученной из сигнала ближайшего к излучению сейсмоприемника в точке 7. Затем восстановленная таким образом РБ помеха вычитается из необходимого полезного сигнала, отраженного от интересующего слоя.

Выводы

На основе линейной модели передачи сейсмического сигнала через двухслойный и трехслойный разрез получен алгоритм оценки отношения сигнал/шум, достаточной для определения минимально необходимого числа ударов, заключающийся в спектральном преобразовании сигналов первого и последнего вступления, получаемых на выходе ближайшего к излучателю сейсмоприемника и путем нормировки последнего вступления к первому оценивают уровень полезного сигнала, а уровень шума определяется через их дисперсию в паузе между ударами.

Показаны возможности подавления кратных помех путем синтеза их временной формы, оценки числа кратности отражений и вычитания синтезированной помехи из комбинации с полезным сигналом.

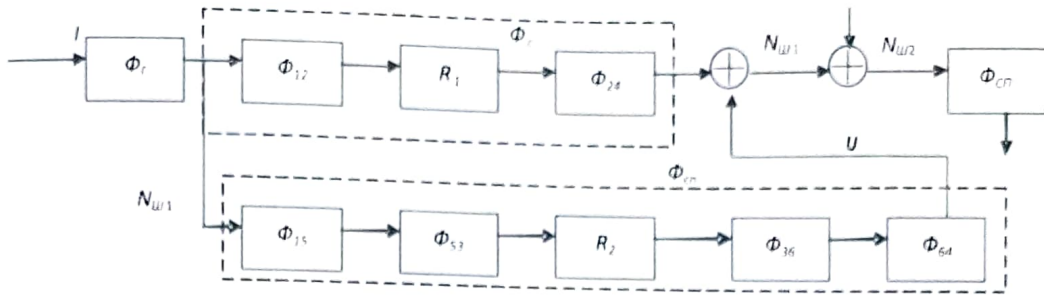


Рис. 2 Системная линейная модель формирования сигнала в двухслойной модели сейсмического разреза

В случае СП/Ш

$$q = \left(\frac{\Phi_c}{\Phi_n} \right)^2 \quad (5)$$

Т.е., в этом случае наблюдаемое отношение на сейсмоприемнике не зависит от числа повторений ударов и определяется лишь отношением ПФ сигнала и синхронных помех.

Таким образом, при желании минимизировать число ударов, необходимо иметь информацию об отношении сигнал/шум, предварительно исключив каким-либо методическим приемом синхронную помеху.

Используя рис. 2, определим ПФ, входящие в уравнения (1) и (3).

Для начала рассмотрим двухслойную модель сейсморазреза рис. 1.

При действии на сейсморазрез импульсного источника сейсмический сигнал, пройдя расстояние r_1 , отражается от первой границы и поступает на сейсмоприемник в точке 4. Будем считать, что сейсмоприемник находится вблизи источника, так что путь $2r_1$ – это однократное отражение. От границы второго слоя сигнал отразится в точке 3, пройдя суммарное расстояние $2r_2$. Соответственно время запаздывания сигнала на этих участках при скоростях распространения V_1 и V_2 , будет

$$\text{оцениваться как } t_1 = \frac{2r_1}{V_1} \quad (6) \text{ и } t_2 = \frac{2r_1}{V_1} + \frac{2(r_1 - r_2)}{V_2}.$$

При соблюдении условия $r_1 \gg r_2$, будем считать, что расстояние между точками 1,5 и 6,4 приближенно соответствуют r_1 .

Сигнал на выходе сейсмоприемника для этой модели будет равен:

$$U = \{ \Phi_r \Phi_{12} R_1 \Phi_{24} + I \Phi_{15} \Phi_{23} R_2 \Phi_{36} \Phi_{64} \} \Phi_{сн} + [N_{ш} \Phi_{сн}^2]^{1/2} \quad (8)$$

При выполнении условия (2.7), уравнение (2.8) можно записать так:

$$U = \{ \Phi_r \Phi_{12} R_1 \Phi_{24} + I \Phi_{15} \Phi_{23} R_2 \Phi_{36} \Phi_{64} \} \Phi_{сн} + [N_{ш} \Phi_{сн}^2]^{1/2} - U_c + U_{сн} + U_{ш} \quad (9)$$

Поскольку сигнал первого вступления в точке приема определяет в данном случае синхронную помеху, а сигнал второго вступления, отраженный от второго слоя в точке 3, является полезным и приходит с запаздыванием t_2 , то, пользуясь уравнением (9), его можно выделить в чистом виде путем деления в спектральной форме второго члена фигурной скобки (9) на первый. В результате имеем:

$$\Phi_{36} = \Phi_{53} \frac{R_2}{R_1} \Phi_{36} \quad (10)$$

т.е. получаем в чистом виде ПФ второго слоя, откуда следует, что искомое отношение сигнал/шум по мощности будет равно:

$$q = \left(\frac{C}{Ш} \right)_p = \frac{R_2}{R_1} \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} |F^2(j\omega) \Phi_{53}^2(j\omega) \Phi_{36}^2(j\omega)| d\omega}{N_{ш}(\omega_2 - \omega_1)} \quad (11)$$

где $[\omega_1, \omega_2]$ – частотный интервал сигнала, $(\omega_2 - \omega_1)$ – полоса рабочих частот, $N_{ш}$ – спектральная плотность мощности некоррелированного шума.

Отношение коэффициентов отражения $\frac{R_2}{R_1}$ определяется через отношение модулей амплитуд сигналов на временах задержки t_1 и t_2 , т.е.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{[U(t_2)]}{[U(t_1)]}$$

Введение в модель рис. 1 третьего и других слоев с четко выраженными границами не меняет суть дела, поскольку речь идет об отделении полезного сигнала, поступающего с максимально возможной глубины, от синхронной помехи формируемой первым неоднородным слоем. Таким образом, алгоритм определения отношения сигнал/шум сводится к определению спектральных характеристик сигналов, поступающих от ближайших к источнику сейсмоприемников. Далее путем деления спектральных характеристик последнего по времени сигнала на спектральные характеристики первого отражения, определяют полезную составляющую сигнала. Интегрируя по частоте результат деления, определяют мощность полезного сигнала. Отношение мощности полезного сигнала к мощности шума в полосе частот этого сигнала определяет искомое отношение сигнал/шум.

Физически такой алгоритм позволяет исключить из полезного сигнала влияние неоднородного верхнего слоя с учетом принятых выше допущений.

Заметим, что величина $\frac{1}{2\pi} N_{ш}(\omega_2 - \omega_1) = P_{ш} = \sigma_{ш}^2$,

т.е. знаменатель (11) может быть определен через дисперсию шумов в полосе пропускания приемника.

Увеличение числа слоев в геологическом разрезе по мере удаления сейсмоприемников от источника возбуждения приводит к необходимости модифицировать алгоритм (11) с учетом появления реверберационных и преломленных волн в верхних слоях Земли.

Частотно-зависимое поглощение сейсмических волн будем учитывать множителем поглощения, а запаздывание – множителем $e^{i\omega t}$, где $e^{i\omega t} = p = c \pm j\omega$ – комплексная частота, t – время запаздывания на участке распространения сигнала.

На рис. 3 изображен трехслойный разрез и лучевые траектории формирования наблюдаемого сигнала на выходе двух соседних сейсмоприемников.

Синхронная помеха в виде наложения реверберационной и преломленной волн формируется первым слоем.

На ближайший к излучателю сейсмоприемник в точке 7 поступает от всех слоев лишь переотраженный сигнал продольной и поперечной волн, на второй сейсмоприемник, произвольно удаленный от излучателя на расстояние x_2 поступают как

синхронные помехи, формируемые первым слоем, так и полезные сигналы первого отражения.

Эквивалентная системная модель задачи представлена на рис. 4.

Передаточные функции модели рис. 3 запишем как:

$$\Phi_{12}\Phi_{27} = \Phi_{17}e^{-\mu_{17}}; \tau_2 = \frac{2r_1}{V_1}, \quad (12)$$

$$\Phi_{13}\Phi_{37} = \Phi_{17}e^{-\mu_{17}}; \tau_2 = 2\left(\frac{r_1}{V_1} + \frac{r_3 - r_1}{V_2}\right), \quad (13)$$

$$\Phi_{14}\Phi_{47} = \Phi_{17}e^{-\mu_{17}}; \tau_4 = \frac{r_1}{V_1} + \frac{r_3 - r_1}{V_2} + \frac{r_{34}}{V_3}. \quad (14)$$

Реверберационная помеха двукратного отражения в первом слое:

$$\Phi_{12}\Phi_{27}\Phi_{78}\Phi_{89} = \Phi_{19}e^{-\mu_{19}}; \tau_{219} = \frac{4r_1}{V_1}. \quad (15)$$

ПФ реверберационной помехи трехкратного отражения первого слоя можно записать в виде:

$$\Phi_{3p19} = \Phi_{12}^6e^{-\mu_{319}}; \tau_{319} = \frac{6r_1}{V_1}. \quad (16)$$

ПФ сигнала преломленной волны в первом слое запишем приближенно в виде:

$$\Phi_{1719} = \Phi_{12}^2\Phi_{22}e^{-\mu_{1719}}; \tau_{1719} \approx \frac{2r_1}{V_1} + \frac{x_2}{V_1}, \quad (17)$$

где Φ_{22} , V_{11} - соответственно ПФ и скорость распределения преломленной волны. Остальные

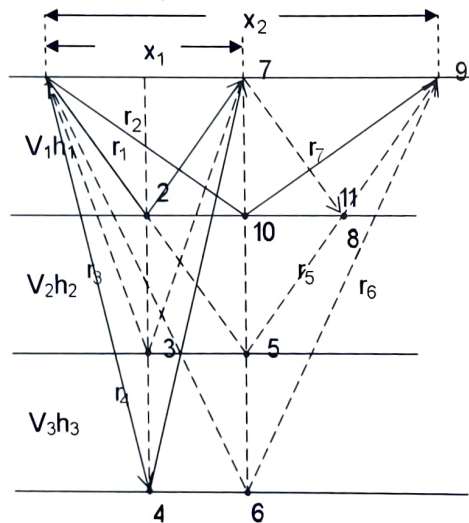


Рис. 3. Формирование сигнала в трехслойной модели. 1-10 - точки отражения и приема; 11 - преломленная волна в первом слое; V_i, h_i - соответственно скорости распространения сигналов и мощность слоев; r_i - длина пути сигнала в слое; x, x_2 - расстояние между источником и сейсмоприемниками

ПФ определяются аналогичным образом.

Если интенсивность преломленной волны невелика по сравнению с реверберационной (РБ), то РБ помеху можно восстановить через соотношение (16) с оценкой кратности ее запаздывания по отношению к запаздыванию сигнала от полезного слоя.

По рис. 3 можно оценить кратность запаздывания РБ помехи.

Условие положения на полезный сигнал i -го слоя РБ помехи:

$$\tau_{PB} = \tau_i \quad (18)$$

Где, например, для сигнала второго слоя:

$$\tau_i = \tau_5 = \frac{2r_5}{V_2} \quad (19)$$

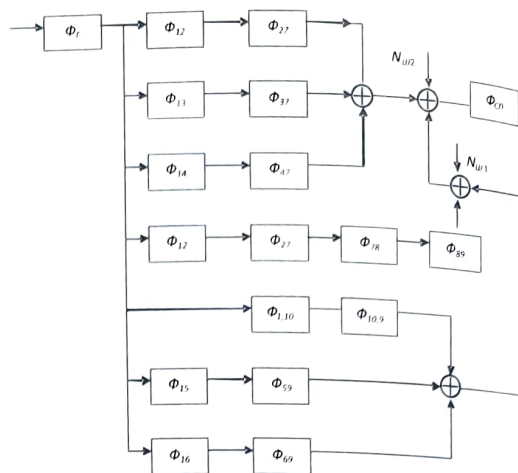


Рис. 4. Системная модель для трехслойной модели.

Для третьего слоя

$$\tau_i = \tau_6 = \frac{2r_6}{V_3}, \quad (20)$$

где V_2 и V_3 - эффективные скорости распространения сигналов до точек отражения 5 и 6 с учетом скоростей распространения в первом и втором слоях.

Запаздывание РБ помехи:

$$\tau_{Di} = \frac{2kr_1}{V_1}. \quad (21)$$

Здесь k - кратность отражения, которая может быть определена через соотношение: $\frac{\tau_{PB}}{\tau_i}$.

Так для второго слоя:

$$\frac{\tau_{Di}}{\tau_5} = \frac{2kr_1V_2}{V_1 \cdot 2r_5}. \quad (22)$$

Поскольку величины запаздывания сигналов

$\tau_1 = \frac{2r_1}{V_1}$ и $\tau_5 = \frac{2r_5}{V_2}$ известны по результатам приема.

то величина кратности определяется из (22) прямым вычислением. Наличие РБ помехи определяется критерием $k = 1, 3, 5, \dots$, т.е. нечетными числами натурального ряда.

Если получаемое при приеме сигнала отношение (22) соответствует этому критерию, то это означает присутствие в полезном сигнале РБ помехи.

В этом случае с помощью соотношений типа (15) и (16) синтезируется сигнал РБ помехи по данным ПФ первого слоя Φ_{12} , полученной из сигнала ближайшего к излучению сейсмоприемника в точке 7. Затем восстановленная таким образом РБ помеха вычитается из необходимого полезного сигнала, отраженного от интересующего слоя.

Выводы

На основе линейной модели передачи сейсмического сигнала через двухслойный и трехслойный разрез получен алгоритм оценки отношения сигнал/шум, достаточной для определения минимально необходимого числа ударов, заключающийся в спектральном преобразовании сигналов первого и последнего вступления, получаемых на выходе ближайшего к излучателю сейсмоприемника и путем нормировки последнего вступления к первому оценивают уровень полезного сигнала, а уровень шума определяется через их дисперсию в паузе между ударами.

Показаны возможности подавления кратных помех путем синтеза их временной формы, оценки числа кратности отражений и вычитания синтезированной помехи из комбинации с полезным сигналом.

Земноводный электромагнитный источник сейсмических колебаний для транзитных зон и водоемов (ЗЭИ – СК – ТЗВ)

В.П. Смирнов, ОАО «Енисейгеофизика», филиал «Геотехноцентр», г. Минусинск

Автор предлагает вниманию читателей демонстрационный проект новой модели невзрывного электромагнитного источника сейсмических колебаний для транзитных зон и водоемов, переходных зон от суши к водоемам, предельного мелководья с глубинами 0-5 (10) метров.

В отличие от пневматических источников, работающих на «взрывном» принципе (выхлопе в воду сжатого воздуха под давлением в десятки тысяч кПа, предлагаемая модель источника ЗЭИ – СК – ТЗВ обеспечит практически полную безопасность для флоры и фауны водоемов, однородность технологии сейсморазведочных работ в выше определенных условиях.

Корпус источника ЗЭИ – СК – ТЗВ предлагается выполнить в форме лодки – волокуши с хребтовой балкой, которая проходит по осевой линии днища лодки. На переднем конце хребтовой балки крепится форкоп для буксировки источника лебедкой через участки суши (обнажившиеся при сполне воды отмели, косы, острова, прибрежные заболоченные зоны и т. пр.), на заднем – транец для установки лодочного мотора с мощностью до 30 л.с.

Корпус источника (лодки-волокуши) при минимальной осадке 30 см не обладает достаточным запасом плавучести – 1,7 – 3,0 т против требуемых 7-8 т.

Поэтому запас плавучести и устойчивости источнику должны обеспечить поплавки (понтон), слева и справа относительно корпуса, который будет опираться на поплавки через три симметричные консоли, исходящие из хребтовой балки, винтовые домкраты с опорными хомутами, охватывающими поплавки (рис. 1).

Винтовые домкраты для спуска-подъема поплавков относительно днища лодки-волокуши (рис. 2) могут быть заменены на гидравлические для повышения производительности работ при сильной изменчивости рельефа дна водоема и прилегающей суши.

Конструкция лодки-волокуши может быть усложнена опорными катками, поддерживающими переднюю и заднюю части днища при выходе источника из водоема на сушу или при спуске источника с суши в водоем.

В корпусе лодки-волокуши в зависимости от количества опорных консолей могут размещаться 4 или 2 линейных импульсных электромагнитных двигателя, создающих механические импульсные воздействия [1] на днище корпуса с усилием 10-25 тс каждый и длительностью до 5-7 мс.

Автономная система электропитания, состоящая из электрогенератора с двигателем мощностью 4 кВт или аккумуляторов, емкостью накопителя заряда, устройства заряда и разряда, поместится в носовой части или вдоль бортов лодки. В последнем варианте силовые шкафы с электротехническим оборудованием будут частично нависать над импульсными двигателями источника.

Опорные поплавки источника, обеспечивающие ему запас дополнительный плавучести не менее 6 тн, могут быть изготовлены из армированного ПВХ – материала толщиной 1,2 мм, с дополнительным усилением нижней части и контактных участков под опорные хомуты ПВХ – профилем толщиной 5-6 мм, что предотвратит его истирание.

Ориентировочные вес одного поплавка составит 150-160 кг, а стоимость 160-170 тыс. руб. Давление в поплавках в 200-300 mBar создаст им достаточную жесткость.

Достоинствами данной конструкции источни-

ка являются: низкое давление на поверхность заболоченных грунтов, высокая устойчивость за счет низкого расположения центра тяжести, возможность автономного движения в акватории водоемов с глубиной от 30 см и выше, возможность транспортировки по мелководью с глубинами меньше 30 см и по суше на буксире с тяговым усилием от 2,5 т до 6,0 т (по гравитию).

Буксировка источника может осуществляться гусеничным вездеходом типа «Сталкер» (производство ОАО «Курганмашзавод») по песчаным, глинистым грунтам. На водонасыщенных грунтах (илы, соры, болотистые почвы и т. пр.) буксировка возможна только лебедкой, т.к. коэффициент сцепления гусениц тягача в выше определенных условиях не может превышать величин 0,15 – 0,3. Лебедка с характеристиками:

- тяговое усилие 6 – 8 т;
- скорость движения каната 0,5 – 2 м/с;
- канатоемкость барабана – 250 м;
- счетчик размотки-смотки каната на рабочем месте машиниста;
- рабочее место машиниста лебедки с достаточным обзором линии профиля, вдоль которого движется источник на тросу;
- наличие упора лебедки в грунт, который спускается на грунт со станины лебедки (по аналогии с платформой трелевочного трактора), лебедка устанавливается на грузовой платформе плавящегося тягача.

В работе [2] достаточно подробно показано, что днище лодки источника «Енисей ВЭМ – 100» является излучателем упругих колебаний непосредственно в грунт (при касании днищем дна водоема) или в грунт через слой воды (в плавающем состоянии), на суше – излучателем упругих колебаний являются днища лодки-волокуши санного источника «Енисей СЭМ».

Специфика зон перехода от суши к водоемам заключается в резкой изменчивости строения ВЧР, плохой проходимости транспортных средств, в повышенной заселенности и хозяйственной деятельности населения. Следствием этого из-за отклонений в системах наблюдений являются снижение информативности сейсморазведочных материалов, затруднения в объединении структурных построений по данным с изолированных площадей, ошибки в выделении общих опорных отражающих или преломляющих горизонтов, ошибочное выделение дизъюнктивных нарушений, вплоть до «планетарных разломов» вдоль протяженных водоемов.

Применение предлагаемой новой модели импульсного источника, способного работать с устойчивой формой импульса возбуждения на суше и на воде повысит эффективность сейсморазведочных работ и позволит создать вдоль крупных водотоков и водоемов региональные опорные маршруты, характеризующие структурные и фациальные особенности осадочного чехла в пределах крупных геологических провинций.

В основу технической базы для создания опорных маршрутов вдоль рек и водоемов следует заложить системы наблюдения с элементами объемной сейсморазведки: мобильный источник упругих колебаний с устойчивой формой импульса возбуждения на суше и на воде; сейсмические косы – сухопутные и донные; строгое позиционирование положения сейсмоприемников (пунктов приема) и пунктов возбуждения.

В качестве примера можно рассмотреть предлагаемую методику сейсморазведочных работ с элементами широкого профиля на акваториях крупных рек (рис. 3, где приведена фактическая

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

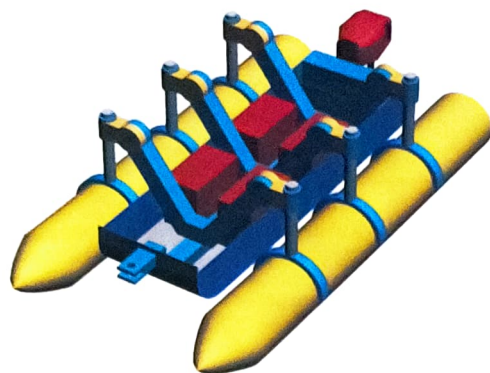
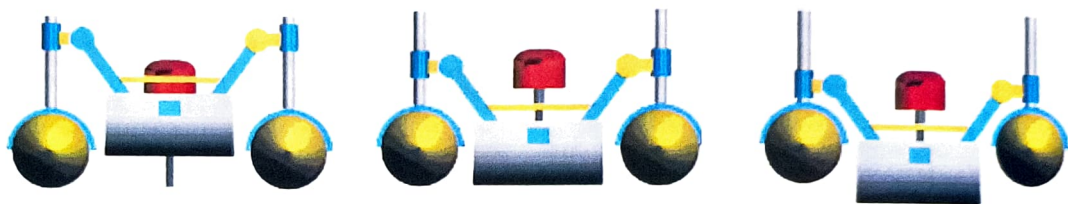


Рис. 1. Вид источника без перегородки в носовой части лодки при опущенном положении поплавков

ситуация для р. Подкаменная Тунгуска в нижнем течении).



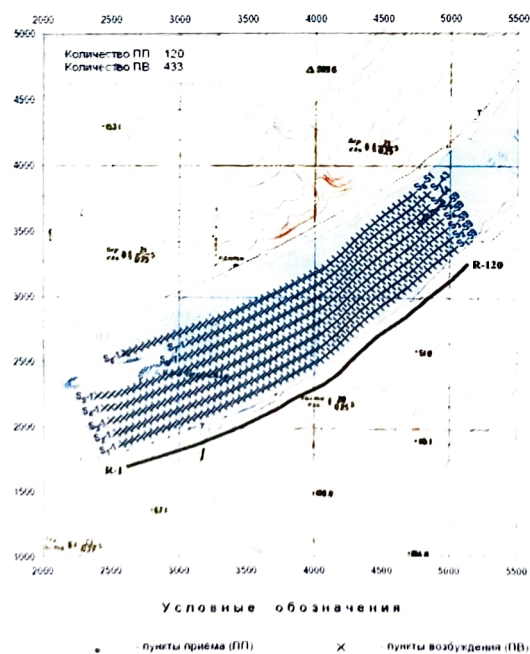
Работа на воде, высота волны до 1м. Режим плавания.

Работа на воде, глубина водоема ≥ 20 см. Режим пла

Работа на болоте и на суше. Перемещение волокум.

Рис. 2. Варианты взаимного расположения поплавков и лодки-волокуши при различных условиях работы

Долевое участие элементов системы наблюдения «Широкий профиль» определяется на основе опыта



Описание расстановки 3D съемки АМОС

Преимущества методики

1. Строгое позиционирование линий приема;
2. Строгое позиционирование пунктов возбуждения на водоеме;
3. Возможность подавления боковых волн-помех от неоднородностей поймы реки;
4. Повышенное отношение сигнал/помеха на уровне уреза воды;
5. Возможность обработки геотраверсов протяженностью свыше 1000 км для увязки сейсмических данных на всем протяжении геотраверса.

Рис. 3. Методика сейсморазведочных работ с элементами широкого профиля на акваториях рек.

применения съемки «Адаптивная к условиям рельефа методика объемной сейсморазведки» (АМОС), разрабатываемой И.В. Тищенко (ГЭМОИ, ЗАО «Нефтегаз» и в других организациях).

Основные элементы системы наблюдения:

1. Установка сейсмокос и сейсμοприемников у уреза воды на суше по левому или правому берегам реки; на переходах сейсмокос с одного берега на другой из-за различных обстоятельств на участках перекрытия наблюдения будут выполняться по сопряженным широким профилям. В зонах прижима обрывами русла реки сейсμοприемники устанавливаются в водонепроницаемых корпусах в русло реки.

2. Линии возбуждения располагаются вдоль линии приема (первая линия ПВ) и с последующим параллельным смещением на 100м каждая, шаг пунктов возбуждения равен шагу между центрами групп на линии приема.

Координаты пунктов возбуждения (ПВ) рассчитываются заранее под фактические данные о

расположении пунктов приема (ПП) и вводятся в GPS источник. Руководствуясь введенными данными о координатах, источник должен прибыть в заданный ПВ с точностью 3-5 метров. Синхронно, за время отработки ПВ (1-2 минуты при накоплении 8,16 воздействий) GPS и эхолот источника должны определить фактические координаты отработанного ПВ и глубину в точке ПВ. В пределе, если удастся синхронизировать по времени воздействия источника и определение GPS координат точки воздействия за 6-7 секунд между воздействиями, то при движении на воде со скоростью 1м/с (0.5 м/с) можно будет производить воздействия в движении, т.е. на участке линии возбуждения в 50 м будет произведено 8(16) воздействий («группирование» 8(16) воздействий на базе 50м).

В любом случае источник (группа источников) за 10-ти часовую смену может отработать 300-500 ПВ. Учитывая незагруженность судоходством рек РФ, оснащение источника системой GPS и эхолотом, может быть организована 2-х сменная работа, по крайней мере в северных широтах. Т.е. производительность работ на речном маршруте будет определяться в основном фактическим наличием каналов телеметрической системы, производительностью смоточно-размоточных и топогеодезических работ, наличием и оснащенностью мобильного ВЦ в речной сейсморазведке.

Направление отработки маршрута вдоль реки определяется однозначно: по течению, сверху вниз.

В первом приближении опыт подобных работ по маршруту р. Чуня – Подкаменная Тунгуска протяженностью свыше 700км (с сейсморазведками ССЦ-3, «Прогресс-1,2», МОГТ – 12(24), с возбуждением колебаний 25 метровым отрезком усиленного детонирующего шнура (ЛДШУ) в 25 метрах от уреза воды) показал отсутствие эффекта «звонкого дна», повышенную информативность данных относительно полученных на прилегающих к руслу реки площадях (рис. 4).

Применение систем наблюдения с элементами

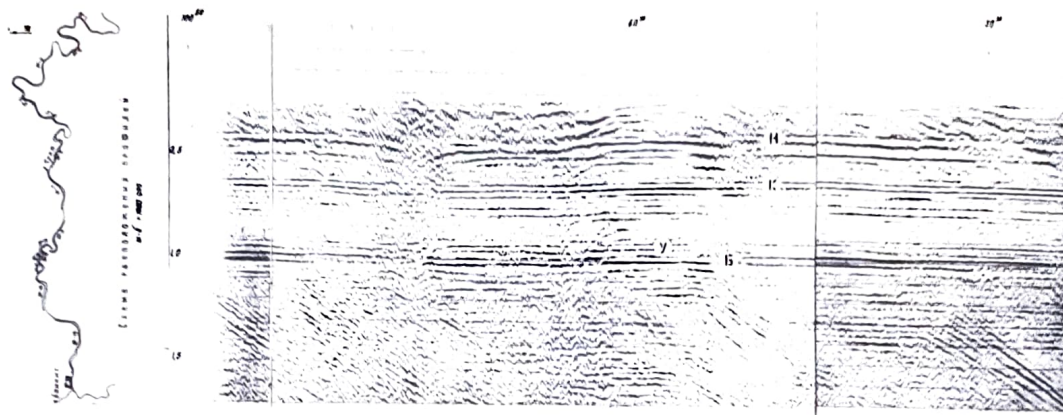


Рис. 4. Фрагмент временного разреза для маршрута вдоль реки Подкаменная Тунгуска с интенсивным фоном боковых волн-помех, отраженных от неоднородности поймы реки (уступы береговой линии, рельеф русла реки и т.д.), маскирующих докембрийские отражающие горизонты ($t_0 > 1$ с)

объемной сейсморазведки, с площадным расположением на акватории ПВ на поперечных базах до 300-350 метров обеспечит подавление боковых волн-помех, отраженных от неоднородностей поймы реки; повышенную разрешенность разреза, исключит флуктуации кратности в системе наблюдения, даст больше оснований для трассирования тектонических нарушений через долины рек; данные маршрутов смогут служить основанием для увязки изолированных площадных съемок вдоль маршрута.

В заключение обращаю внимание читателей на следующее: предложенная модель источника может быть базовой для создания малых серий источников с 1-2 двигателями для возбуждения упругих колебаний при проведении ВСП в глубоких скважинах с размещением ПВ на прилегающих водоемах. Поскольку основную массу источника

составляют пригрузки весом от 400 до 800 кг вполне логично доставлять их на глубокие скважины в период массового завоза на точку будущей скважины оборудования и материалов. Оставшуюся часть массы источника весом 1,0-1,5 т можно завести вертолетом перед проведением работ ВСП. Монтаж источника с применением простых грузоподъемных средств займет несколько смен.

Литература

1. Ивашин В. В. и др. «Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспектива совершенствования», «Приборы и системы разведочной геофизики», №2, 2005 г., с. 09-13.
2. Смирнов В. П. «Первые результаты опробования импульсного водного источника «Енисей ВЭМ-100» в бассейне и на акваториях Красноярского водохранилища и р. Иртыш», «Приборы и системы разведочной геофизики», №2, 2005 г., с. 33-37.

ООО «ФИРМА»ГЕОСЕЙС»

**Разработка,
производство,
продажа,
импульсных
источников
«ГЕОТОН».**

G

**Предоставление в
аренду
телеметрического
сейсморегистрирующего
оборудования.**

Н

E

Н

**ШТАБ
ОПЕРАТИВНОЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ПОМОЩИ**

O

**Продажа, сервисное
обслуживание
и предоставление
в аренду сейсмических
вибраторов.**

Адрес: 123104, г. Москва, Сытинский тупик, д. 3, оф. 2

Тел./факс: (495) 202 32 17, 202 32 27

e-mail: geoseis@col.ru, geoton@geoton.ru, http: www.geoton.ru

«Система синхронизации, управления и контроля SGD-SP для электромагнитных импульсных источников сейсмических колебаний – пять лет в поле»

А.А. Будченко, С.А. Злобин, А.И. Паули, А. Б. Ревунов, В.П. Черепанов, С.А. Шпильман, НПК «СибГеофизПрибор», г. Новосибирск

В 2002 году ООО НПК «СибГеофизПрибор» завершило разработку системы синхронизации, управления и контроля SGD-SP (система SGD-SP) для электромагнитных импульсных источников возбуждения сейсмических колебаний и приступило к её серийному выпуску. За пять полевых сезонов 2002-07 было изготовлено и поставлено геофизическим предприятиям: контроллеров SGD-SP – 100 шт. и устройств синхронизации и управления SGD-SP – 287 шт., которые применяются более чем в 36 производственных геофизических партиях России.

Система синхронизации и управления SGD-SP предназначена для работы в составе многоканальных сейсморазведочных станций отечественного и зарубежного производства SN-388, 408UL, 428XL фирмы Sercel (Франция), I/O SYSTEM и др. фирмы INPUT/OUTPUT, Inc. (США) и т.п., при проведении профильных и площадных сейсморазведочных работ с применением импульсных электромагнитных источников возбуждения сейсмических колебаний типа «ЕНИСЕЙ», «ГЕОТОН» и т.д.

Возбуждения сейсмических колебаний может осуществляться от одной до четырех независимыми системами SGD-SP (группами) возбуждения, в состав каждой из которых входит до четырех («ГЕОТОН», «Енисей СЭМ-20») или до пяти («Енисей СЭМ-100», «Енисей ВЭМ-100», «Енисей КЭМ-130», «Енисей КЭМ-4») синхронных подгрупп (пунктов возбуждения). В каждую подгруппу (пункт возбуждения) может входить от одного до шести источников «ГЕОТОН» («СЭМ-20»), до двух источников «Енисей СЭМ-100», «Енисей ВЭМ-100» или один «Енисей КЭМ-130», «Енисей КЭМ-4/2». Таким образом, возможно возбуждение сейсмических колебания одновременно двадцатью четырьмя источниками «ГЕОТОН» («СЭМ-20»), десятью – «Енисей СЭМ-100» или пятью – «Енисей КЭМ-4/2» [1], [2].

Сначала немного истории о создании современной системы синхронизации, управления и контроля для электромагнитных импульсных источников.

Система синхронизации SGD-S, которая выпускается НПК «СибГеофизПрибор» (ранее «СибГеоСейс») с 1999 года, была предназначена не только для работы с взрывными источниками возбуждения сейсмических колебаний, но и с невзрывными. Управление запуском невзрывного (импульсного) источника осуществлялось здесь традиционным способом, как и во всех системах синхронизации в это время. Т.е. вместо подачи высокого напряжения на клеммы «боевой линии» для подрыва заряда на дополнительный выходе синхронизатора (дешифратора) формируется сигнал запуска импульсного источника. Принципиальным недостатком этих систем синхронизации является отсутствие возможности передачи контрольной информации о работе электромагнитного источника по существующему обратному каналу, аналогично сигналу $T_{\text{верт}}$ для взрывных систем синхронизации.

В августе 2001 года по заказу филиала «ГЕОТЕХНОЦЕНТР» ОАО «Енисейгеофизика» была завершена разработка и изготовлен опытный образец системы синхронизации и управления кодоимпульсным электромагнитным

источником возбуждения сейсмических колебаний на базе системы синхронизации SGD-S. В этой аппаратуре впервые для контроля работы электромагнитного источника были применены акселерометры и тензометрические датчики. В это же время проходила испытания аппаратура, разработанная и изготовленная ЗАО «СейсЭл», в которой также использовались акселерометры.

В декабре 2001 года по заказу ОАО «Ханты-Мансийскгеофизика» была сделана попытка реализации контроля качества работы источника «Енисей СЭМ-100» под управлением системы синхронизации SGD-S с использованием канала $T_{\text{верт}}$ и аналоговых акселерометров. Хотя сразу было понятно, что система не приспособлена для решения этих задач. Однако необходимо было оснастить производственные подразделения уже в текущем полевом сезоне какой-либо системой контроля. В ходе работ в полевом сезоне 2001-02 года стало окончательно ясно – необходимо разработка специализированной системы синхронизации, управления и контроля для электромагнитных импульсных источников возбуждения сейсмических колебаний, потому что низкая помехозащищенность аналоговых акселерометров не позволяет достоверно зарегистрировать величину ускорения (силу), время начала и окончания воздействия источника на грунт. Максимально, что можно было зарегистрировать – ударил источник или нет. Кроме того, существующая система синхронизации не позволяет контролировать работу одновременно несколько источников и управлять силой воздействия источника на грунт.

С геофизической точки зрения качество работы электромагнитного импульсного источника можно представить тремя параметрами:

Первый – одновременность (синхронность) начала воздействия на грунт всех импульсных источников;

Второй – величина силы (ускорение) воздействия импульсного источника на грунт;

Третий – длительность (мс) воздействия импульсного источника на грунт, которая вместе с силой (ускорением) определяет количество энергии излучаемой (формируемой) импульсным источником продольной сейсмической волны

В сентябре 2002 года был получен заказ на создание такой специализированной системы синхронизации, управления и контроля SGD-SP (Версия V1.х.х) для электромагнитных источников «ГЕОТОН».

Опыт эксплуатации системы SGD-SP в зимнее время 2003 года в Эвенкии (ОАО «Тюменнефтегеофизика») и в условиях Крайнего Севера (ОАО «Ямалгеофизика») показал правильность выбранных технических решений и надёжную работу оборудования.

В апреле 2003 года в Пуровском районе Тюменской области на базе СП85 Туринской ГЭ ОАО «Ханты-Мансийскгеофизика» были проведены производственные испытания системы SGD-SP, установленной на источниках «Енисей СЭМ-100».

Состав системы SGD-SP (Версия V1) входят следующие устройства:

Контроллер SGD-SP (Версия V7.2) – устанавливается на сейсмостанции и предназначен для

передачи на команды «FIRE» (ПУСК) на устройство синхронизации и управления (УСУ) SGD-SP по радиоканалу, формирования сигнала запуска («Time Break») сейсмостанции, приёма сигналов «Decoded Time Break», «Confirmation Time Break» и сигнала «Analog Up Hole Time»;

Устройства синхронизации и управления (УСУ) SGD-SP (Версия V1.x.x) - устанавливаются на транспортных средствах (например, тракторах, которые буксируют одновременно от 1 до 6 источников) и предназначены для приёма и дешифрации команды «FIRE» (ПУСК), передачи контроллером, дистанционного управления и контроля источников, формирование сигналов



Рис. 1. Контроллер SGD-SP (Версия V7.2)

«Decoded Time Break», «Confirmation Time Break» и передачи их на контроллер.

Коммутаторы-стабилизаторы (КС) SGD-SP - устанавливаются рядом или внутри устройства заряда-разряда (УЗР) на импульсных источниках и предназначены для управления зарядом накопительных конденсаторов источника, организацией обмена данными между цифровыми акселерометрами и датчиками тока и УСУ SGD-SP.



Рис. 2. Устройство синхронизации и управления SGD-SP (Версия V1.x.x)

Цифровые акселерометры SGD-AD - устанавливаются на «пригрузах» индукторов электромагнитных источников и предназначены для измерения и регистрации сигнала ускорения (силы).

Запоминающее устройство SGD-MFlash - предназначено для перезаписи контрольных значений величин ускорения и тока из энергонезависимого ЗУ УСУ.

Все устройство входящие в состав системы SGD-SP (кроме контроллера) предназначены для работы при температуре окружающей среды от минус 40 до +60 С.

В таблице 1 приведен перечень, объём и распределение оборудования выпущенного по настоящее время.

Главные особенности системы SGD-SP (Версия V1):

- надёжная работа в составе многоканальных

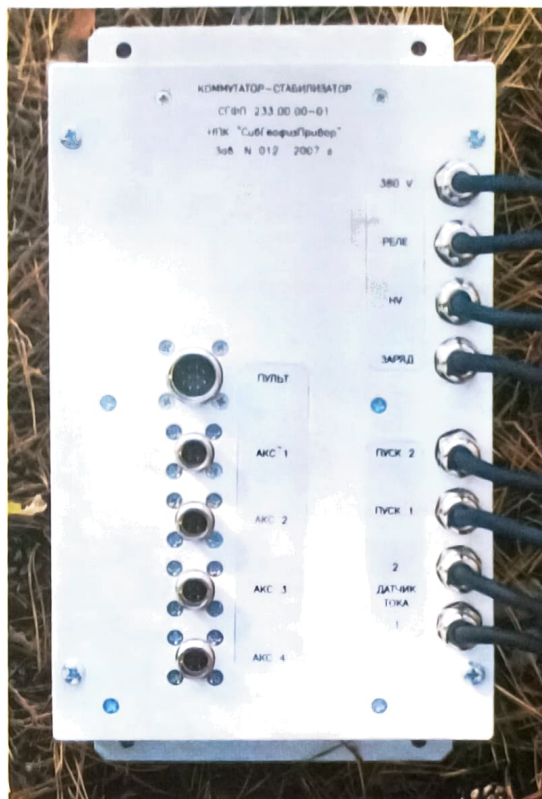


Рис. 3. Коммутатор-стабилизатор SGD-SP



Рис. 4. Цифровой акселерометр SGD-AD

сейсмических станций отечественного и зарубежного производства;

- высокая помехоустойчивость и точность синхронизации в условиях сильнопересечённой местности и промышленных радиопомех (± 50 мкс);

- независимая работа одновременно четырёх систем синхронизации;

- работа контроллера в режиме «ведущий-ведомый» для группирования неограниченного количества сейсмостанций и их синхронного запуска;

- синхронизация, управление и контроль 24-х импульсных источников;

- управление напряжением заряда накопительных конденсаторов (сила удара);

- регистрация значения ускорения цифровым акселерометром для контроля силы удара, начала и окончания времени воздействия (удара) источника на грунт;

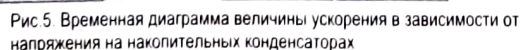
- регистрация значений тока цифровым датчиком тока для контроля тока в электромагнитном источнике;

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- контрольная запись величин ускорения и тока в энергонезависимое ЗУ УСУ;
- перезапись контрольных записей из ЗУ УСУ на NoteBook (ЗУ ***SGD-MFlash***);
- отображение на индикаторе УСУ времени срабатывания (синхронность) импульсных источников
- передача по радиоканалу контрольных записей о работе каждого источника на сейсмостанцию и их отображение на вспомогательном канале или на экране вспомогательного компьютера типа NoteBook.

Оператор источника включает питание УСУ, затем тумблерами «1» — «6» включает источники, контролируя при этом состояние индикаторов «ОШИБКА/СИЛА» и «ОШИБКА/НАПР». Включенное состояние индикатора означает неисправность соответственно акселерометра или коммутатора-стабилизатора источника. При отсутствии неисправностей (все индикаторы «ОШИБКА» погашены) оператор источника включает заряд и стабилизацию напряжения на накопительных конденсаторах источников. В процессе заряда конденсаторов на дисплее УСУ индицируются текущие значения напряжений на конденсаторах источников. Когда напряжения на конденсаторах достигают заданных значений, загораются светодиоды УСУ «ГОТОВ». Далее оператор источника передает тоновый сигнал готовности к работе и УСУ переходит в режим приема радиокоманды «FIRE».

Контроллер принимает из сейсмостанции ASCII строку. По команде сейсмостанции «Firing Order» с контроллера передается сигнал подготовки с частотой 1250 Гц. После сигнала подготовки контроллер



передает команду «FIRE». После передачи радиокоманды «FIRE» контроллер, через заданное оператором время задержки «Задержка от ПО», выдает в сеймостанцию сигнал начала регистрации сейсмограммы «Time Break».

Ведущий УСУ распознает переданную контроллером команду «FIRE», передает декодированной отметки момента «Dec TB», и запускает источник. Ведомые УСУ распознают переданную контроллером команду «FIRE», запускают свои источники.

Акселерометры и датчики тока, установленные на источниках, в течение 20 микросекунд после удара регистрируют данные об ускорении и токе. УСУ считывают данные, зарегистрированные акселерометрами, и анализируют их с целью определения момента срабатывания источников. Эти данные сохраняются в энергонезависимой памяти УСУ. Момент срабатывания источника определяется по моменту достижения ускорением заранее заданного значения. Если на каком-либо источнике ускорение не достигло заданного значения в течение заданного времени, на УСУ загорается соответствующий светодиод «ОШИБКА/СИЛА».

Далее УСУ передают зафиксированные времена срабатывания источников в контроллер. Последовательность передачи времен срабатывания определяется параметром УСУ «Response order» (от 1 до 4) и номером источника. Каждому из 24-х источников отводится свое временное окно. Момент срабатывания передается путем изменения положения кодовой посылки «Conf TB» (отклика источника) внутри временного окна. Если источник штатно не отработал, или время срабатывания превысило 8 мс, отклик источника не передается. На дисплее УСУ отображаются времена срабатывания подключенных источников.

Контроллер принимает и декодирует сигналы «Dec TB» и «Conf TB», затем формирует на выходах вспомогательных каналов «ConfTB» и «AngUpHole» импульсы длительностью 50 мс. Передний фронт первого импульса соответствует моменту запуска источников. Передние фронты последующих импульсов отстоят от начала соответствующего временного окна (см. рис.7) на десятикратное время срабатывания источника. Например, если первый источник второго УСУ имеет время срабатывания 1,5 мс, передний фронт соответствующего импульса будет находиться на расстоянии $(1450 + 1,5 \cdot 10 = 1465)$ микросекунд от момента запуска источников, т.е. от переднего фронта первого импульса. На дисплее контроллера также отображается информация о количестве ответивших источников и о среднем времени их срабатывания.

УСУ после выполнения удара снова заряжают накопительные конденсаторы источников, при этом УСУ показывают текущие значения напряжений и ждут очередной радиокоманды «FIRE». На дисплее синхронизаторов также отображается

количество произведенных ударов.

По окончании серии накоплений оператор источника нажатием кнопки УСУ «СБРОС» выключает заряд конденсаторов источников. Для разряда остаточного напряжения на конденсаторах источников оператор должен выполнить удар нажатием кнопки пульта «УДАР», после чего светодиоды «ГОТОВ» гаснут. На дисплее УСУ отображается информация о количестве произведенных в серии ударов и номер следующего пикета возбуждения. При переходе на следующий пикет питание УСУ необходимо выключить.

Следует иметь в виду, что в процессе выполнения серии накоплений кнопки «СБРОС» и «УДАР» блокируются после каждого удара на время, равное значению параметра УСУ «Max Chrg. Time», т.е. максимально допустимому времени заряда конденсаторов. Данная блокировка предотвращает преждевременный сброс источников и порчу сейсмограммы выполненным не вовремя ударом.

С ноября 2005 года ООО НПК «СибГеоФиз-Прибор» приступило к производству новой второй версии системы **SGD-SP** в состав, которой вошли:

- 1) новый контроллер **SGD-SP** (версия V8 хх);
- 2) новое УСУ **SGD-SP** (версия V2 хх);
- 3) новый цифровой акселерометр **SGD-AD** (версия V3 хх);
- 4) устройство заряда/разряда.

Новые особенности системы SGD-SP (Версия V2):

• *возможность подключения GPS-приёмника к УСУ SGD-SP и автоматическое отображение положения пункта возбуждения средствами сеймостанции;*

• *увеличена скорость передачи данных и объём контрольной информации по радиоканалу на сеймостанцию и отображение её на графическом экране контроллера SGD-SP или компьютера типа Notebook (оперативный контроль за качеством работы импульсных источников);*

• *новая конструкция цифрового акселерометра SGD-AD обеспечивает надёжную гальваническую развязку между корпусом источника и электрическими цепями УСУ SGD-SP, коммутатора-стабилизатора SGD-SP, устройства заряда/разряда и акселерометра, а также дополнительную механическую прочность при соударении индуктора с якорем;*

• *устройство заряда/разряда обеспечивает полную гальваническую развязку между входным напряжением питания сети переменного тока и выходным высоковольтным напряжением, а также заряд накопительного конденсатора постоянным током.*

Результаты работы новой версии системы **SGD-SP** в полевые сезоны 2005 – 2007 годы показали:

- 1) возможность отображение на экране контроллера **SGD-SP** показаний акселерометров

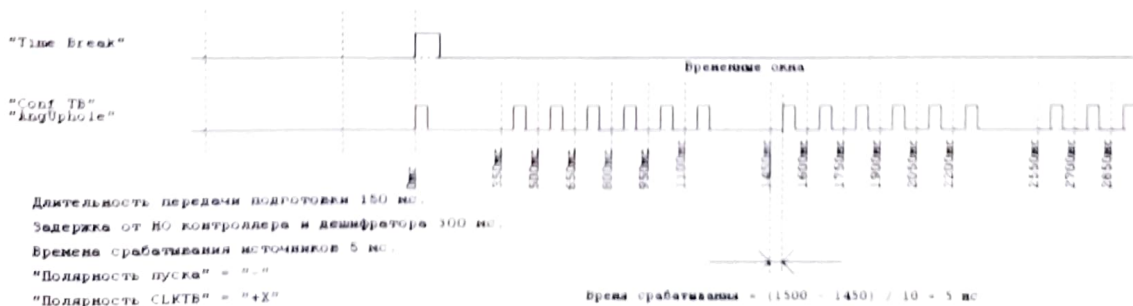


Рис. 6. Временная диаграмма срабатывания источников

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙМОГРАФИКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

позволила оператору самостоятельно контролировать не только синхронность срабатывания импульсных источников, но величину силы (ускорения) и длительность воздействия импульсного источника на грунт, которые и определяют количество энергии илучаемой (формируемой) импульсным источником продольной сейсмической волны.

2) новая конструкция цифрового акселерометра **SGD-AD** позволила существенно уменьшить количество отклонений 10-15% до 2-3%.

3) к сожалению, функции возможности подключения **GPS-приёмника пока не предусмотрено**.

Однако, информации, которую в настоящее время видит оператор импульсного источника на экране **UCY SGD-SP** не достаточно, чтобы судить о величине энергии илучаемой продольной сейсмической волны, т.е. эффективности работы источника. На дисплее **UCY SGD-SP** оператор видит величину напряжения, до которого зарядился накопительный конденсатор и время срабатывания (синхронность). Для того чтобы посмотреть форму кривых с акселерометров и оценить качество работы источника — величину зазора (длительность импульса), величину ёмкости накопительного конденсатора (амплитуда импульса) необходимо считать с помощью компьютера или перенести в запоминающее устройство **SGD-MFlash** эти данные, которые хранятся в энергонезависимой памяти **UCY SGD-SP**. И только потом, в стационарных условиях, посмотреть их на экране компьютера. Таким образом, оператор источника не имеет возможности в полной мере контролировать качество работы источника непосредственно на профиле, своевременно обнаруживать и устранять не-

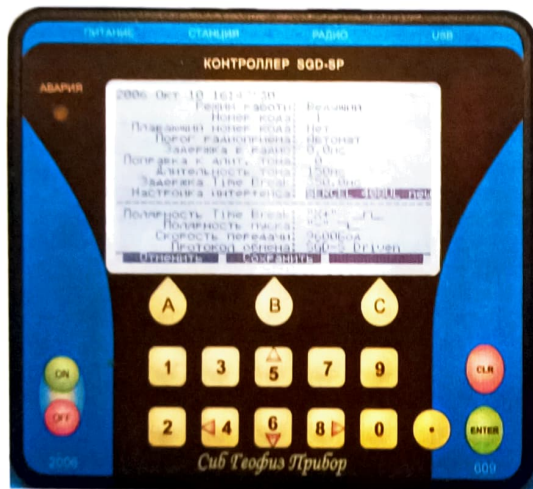


Рис. 7. Контроллер SGD-SP (Версия V8.x)

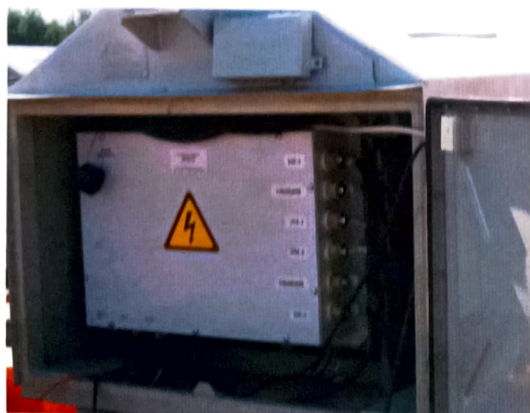


Рис. 8. УЗР источника «Енисей СЭМ-100М»



Рис. 9. Устройство синхронизации и управления SGD-SP (Версия V3.x.x)

правности. Что, безусловно, сказывается на качестве сейсмического материала.

Поэтому, начиная с ноября 2007 года ООО НПК «СибГеофизПрибор» приступило к производству третьей версии системы **SGD-SP** — контроллера **SGD-SP** (версия V8.x) и **UCY SGD-SP** (версия V3.x.x).

UCY SGD-SP третьей версии имеет большой графический экран размером 256x128 точек, который позволил отобразить следующие параметры работы двух источников типа «Енисей СЭМ-100»:

- 1) входное напряжение питания от генератора переменного тока;
- 2) напряжение заряда накопительного конденсатора каждого источника;
- 3) время срабатывания каждого двигателя («лыжи») источника;
- 4) длительность воздействия каждого двигателя («лыжи») источника на грунт;
- 5) количество накопителей.

Таким образом, оператор источников имеет возможность в динамике отслеживать поведения каждого источника («лыжи») процессе движения по профилю и своевременно обнаруживать отклонения в работе источников.

Наличие большого графического экрана позволило реализовать функцию инструментального контроля работы источников. Т.е. теперь оператор источника имеет возможность контролировать форму сигнала с акселерометра и другие параметры непосредственно в полевых условиях в ходе проведения работ.

В заключении хотелось бы особо подчеркнуть, что предлагаемая система синхронизации, управления и контроля SGD-SP электромагнитных импульсных источников не является средством измерения для проверки параметров источника, а предназначена для качественной оценки эффективности работы электромагнитных импульсных источников в процессе проведения полевых геофизических исследований.

Литература

1. Анкушев В.В., Гурьев С.В., Резвов В.И. Компания «ГЕОСЕЙС» представляет новый импульсный источник возбуждения «Геотон». Приборы и системы разведочной геофизики, №01/2003 г., г. Саратов.
2. Смирнов В.П. Электромагнитные источники сейсмических колебаний ряда «Енисей СЭМ, КЭМ». Приборы и системы разведочной геофизики, №01/2003 г., г. Саратов.
3. Ивашин В.В., Иванников Н.А. Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспективы совершенствования. Приборы и системы разведочной геофизики, №02/2005 г., г. Саратов.

Г.В. Крылов, А.А. Болотов, ТюменьНИИГипрогаз, г. Тюмень

Известно, что сейморазведка МОГТ является основным эффективным методом полевой геофизики, позволяющим иметь данные о геологическом строении месторождений углеводородов. Вместе с тем, представляемая сейморазведочная информация не всегда является полностью достоверной.

В условиях Западной Сибири, на территории деятельности ОАО «Газпром», это обусловлено, прежде всего, тем, что разрезы нефтегазоносных отложений относятся к низкоскоростным, тонкослоистым, слабо дифференцированным по волновым сопротивлениям с высоким коэффициентом поглощения зондирующего сигнала. Кроме того, обширная зона многолетнемерзлых пород (ММП) существенно снижает качество сейсмических материалов.

Для решения подобных сложных геолого-промысловых задач в слабо дифференцированных по акустическим свойствам нефтегазовых отложениях севера Тюменской области нужны высокоразрешенные сейсмические данные, преобладающие частоты которых достигают 100 Гц. Известными способами получения таких данных являются межскважинное просвечивание (МП) и обращенное вертикальное сейсмопрофилирование (ВСП), при проведении которых возбуждение упругих колебаний и их регистрация осуществляются, либо в соседних скважинах, либо в одной из глубоких скважин и на поверхности. Главная проблема при проведении МП и ВСП – обеспечение требуемой мощности источника колебаний, помещаемого в скважину [1].

В настоящее время отчетливо определилось большое ресурсное значение мелководных и транзитных (переходных от суши к морю) зон, в которых находятся объекты геологоразведочных работ на нефть и газ. Объем работ в пределах лицензионных участков ОАО «Газпром»: Каменномысского, Обского и Чугоряхинского, – может составить 7-10 тыс. пог. км профилей 2D и до 2-3 тыс. кв. км 3D на стадии поиска, доразведки и эксплуатационных работ.

Мелководные и транзитные зоны характеризуются сложными условиями проведения сейсмических исследований. Основными физико-геологическими особенностями этих зон являются предельно малые и быстро меняющиеся глубины водного слоя, сильные и переменимые течения, наличие крутых берегов и береговых топей. Помимо естественных преград имеют место техногенные препятствия.

Указанные особенности мелководных и транзитных зон не позволяют применять стандартные сухопутные и морские технологии и технические средства формирования сейсмических колебаний, регистрацию и интерпретацию сейсмических данных.

Возбуждение колебаний в транзитных зонах при глубине моря 1-2 метра производят взрыва-

ми традиционных ВВ в неглубоких одиночных скважинах или с помощью специальных погружных пневматических источников объемом 2-3 литра. В морских условиях при мощности водного слоя 2-3 метра исключительное применение имеют групповые пневмопушки с суммарным объемом 20 л и рабочими частотами 30-70 Гц. Например, пневмоизлучатели «Bolt» (производства США), сейсмические пневмоизлучатели семейства «ГЕОХИ-УНИСИГНАЛ» института Геохимии и Аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН и пневмоисточники «Пульс» (разработка ГНЦ ФГУП «Южморгеология»)[2].

Ограниченное применение взрывных источников сейсмических волн с использованием традиционных ВВ обусловлено их очевидными недостатками:

- принципиальная невозможность дистанционного дозирования и контроля мощности взрывного импульса;

- отсутствие возможности формирования серии импульсов на фиксированной глубине скважины без подъема источника колебаний;

- особая техника безопасности доставки, хранения ВВ и проведения работ.

Основными недостатками пневмоизлучателей являются, во-первых, необходимость погружения их в грунт вблизи уреза воды, а это требует размещения на плавсредствах буровых или ударно-канатных установок, во-вторых, близость к поверхности воды на предельном мелководье порождает отраженную волну, которая накладывается на прямую волну и деформирует ее.

Для работ в переходных зонах успешно опробованы вибрационные источники сейсмических сигналов, принцип действия которых аналогичен наземным вибраторным установкам. Источником колебаний является упругая круглая мембрана диаметром около 1 м, которая под действием внешнего сил совершает возвратно-поступательные движения, формируя в водной среде волновой процесс. Сравнительные испытания морского вибратора фирмы IVI (США) со стандартными источниками колебаний (пневмопушки и заряды ВВ), проведенные в транзитной зоне штата Луизиана, показали, что он обеспечивает получение сопоставимых материалов, но обладает незначительной интенсивностью сигнала и имеет ограниченное применение.

Известны разработки импульсных источников сейсмических колебаний, применимых для условий транзитных зон, основанные на преобразовании электромагнитной энергии в механическую: электромагнитные импульсные источники «Енисей-ВЭМ-100», «Геотон», «Титан» и др. К достоинствам источников данного типа можно отнести:

- высокочастотный спектр возбуждаемого

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙМОРАЗВЕДКА
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

сигнала;

*высокую идентичность возбуждаемых колебаний при повторных воздействиях в процессе накопления при отсутствии необратимых деформаций в возмущающей среде;

*экологическую безопасность.

Вместе с тем импульсные электромагнитные и электродинамические источники обладают недостаточной мощностью, сложностью конструкции и ограниченной областью использования в транзитной зоне.

В целях создания надежной геолого-геофизической основы разработки месторождений углеводородов путем проведения сейсмических исследований в глубоких скважинах, в транзитной зоне, а также в акватории моря в ООО «ТюменНИИгипрогаз» разработан многофункциональный газодинамический источник сейсмических колебаний (ГИСК)[3,4].

Физической основой ГИСК является использование ВВ, формируемого непосредственно в скважине. Из взрывчатых веществ в этой связи особый интерес представляют газообразные взрывчатые смеси, лишь в последние годы, применяемые в некоторых отраслях техники. По нашему мнению, их использование для решения задач промышленной геофизики будет иметь ряд несомненных достоинств[5].

Основным преимуществом применения газообразных взрывоспособных сред является то, что газовая смесь, при непрерывном дистанционном контроле на устье скважины,

генератором взрывоспособная газовая смесь заполняет взрывную камеру глубинного снаряда 6. Объем смеси контролируется дистанционно с помощью датчика, установленного в этой камере. При достижении определенного объема газовой смеси высоковольтным

Технические характеристики ГИСК

Потребляемая мощность, кВт	4-6
Напряжение питания, В	220-600
Рабочий ток, А	50 - 100
Энергия взрывного импульса, кДж	5 - 3000
Тротилловый эквивалент газовой смеси, г	1,5 - 600
Диапазон глубин спуска снаряда, м	0,5 - 3000
Габариты глубинного снаряда, мм	85×1950
Масса установки, кг	142

импульсом с блока 4 производится подрыв смеси. Возникновение взрыва контролируется индикатором 9.

В отличие от традиционных импульсных сейсмических источников ГИСК обладает следующими преимуществами:

- *полной безопасностью для обслуживающего персонала;
- *экологической безопасностью для окружающей среды;
- *созданием серии импульсов без подъема глубинного снаряда;
- *дистанционным контролем и дозированием интенсивности колебаний;
- *широким диапазоном применения – ВСП, МП, НВС, контроль ГВК и НВК;

Таблица 1. Энергетические и механо-динамические характеристики взрыва кислородно-водородной смеси при различных гидростатических давлениях

Давление, МПа/глубина, м	Эффективная масса смеси, г	Энергия взрыва, кДж	Тротилловый эквивалент, г	Бризантное действие, м	Давление взрыва, МПа*	Время действия давления, мкс
0,1/10	0,43	5,9	1,4	0,3	5,8	3,5
0,1/10	1,02	14,01	3,36	0,5	7,7	4,6
0,1/10	2,04	28,03	6,7	0,8	9,7	5,8
0,5/50	10,2	140,15	33,6	1,8	16,4	10
0,8/80	16,35	224,6	53,8	2,3	19,2	11,6
1/100	20,4	280,3	67,2	2,6	20,7	12,5
2/200	40,8	560,6	134,0	3,6	26,0	15,7
5/500	102,0	1401,5	336,0	5,8	35,2	21,3
10/1000	204,0	2803,0	672,0	8,2	44,2	26,8

* Величина давления - на расстоянии 1м от центра взрыва

формируется внутри глубинного скважинного снаряда. Таким образом, можно без промежуточных спуско-подъемных операций создавать серию ударных импульсов на любой глубинной точке возбуждения сейсмического волнового поля и осуществлять регулировку мощности этих импульсов.

Общий вид и функциональная схема ГИСК представлены на рис.1. Компоновка ГИСК включает трансформаторы ТДМ-401 1,2, выпрямитель 3, блок управления импульсами (БУИ) 4, геофизический трос-кабель 5, глубинный снаряд 6, электронный мультипликатор 7, высоковольтный разрядник 8, индикатор подрыва 9, газогенератор 10.

Формирование ударных волн осуществляется следующим образом. Постоянный ток с выпрямителя 3 посредством трос-кабеля поступает на газогенератор 10. Созданная

*проведением сейсмических работ в акватории моря, в транзитных зонах;

*технологической и экономической эффективностью.

Энергетические и механо-динамические характеристики ударной волны при взрыве газообразного ВВ на примере кислородно-водородной смеси при различных гидростатических давлениях в скважине приведены в Таблице 1.

Как следует из таблицы, газодинамический источник может рассматриваться как альтернативный традиционным взрывным способам возбуждения сейсмических колебаний с применением твердых ВВ.

В период 2004-2005 гг. была проведена серия опытно-методических испытаний ГИСК. Совместно с ОАО «Газпромгеофизика» и ОАО «Костромагеофизика» в Ярославской области

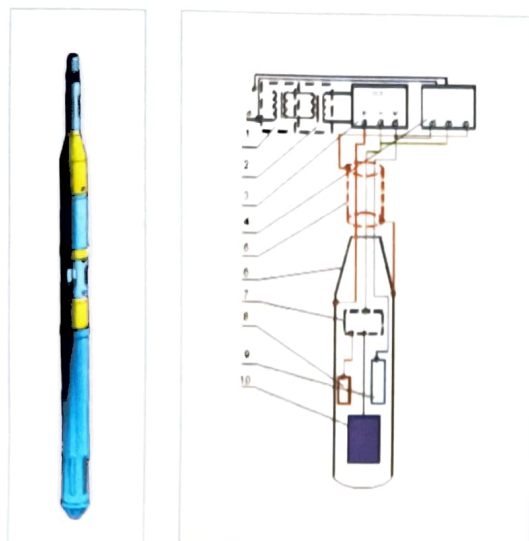


Рис. 1. Общий вид и функциональная схема ГИСК

- 1,2 - трансформатор ТДМ-401;
- 3 - выпрямитель;
- 4 - блок управления (БУП);
- 5 - геофизический кабель;
- 6 - скваженный снаряд;
- 7 - электронный мультипликатор;
- 8 - высоковольтный разрядник;
- 9 - индикатор подрыва;
- 10 - газогенератор.

на скв. № 5 «Скалинская» были выполнены сравнительные испытания ГИСК и источника ГСК. Получены амплитудно-частотные спектры на разных удалениях, отмечено, что частота колебаний, формируемых ГИСК, в 2 раза выше частоты колебаний, создаваемых ГСК, при этом энергия сейсмических трасс ГИСК во временном интервале 1500 мс примерно в 2 раза ниже

Таблица 2. Сравнительные характеристики газодинамического источника сейсмических колебаний (ГИСК) и пневмоисточника «Пульс-6М»

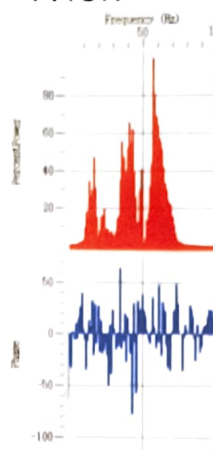
Наименование характеристики	Единицы измерения	ГИСК	ПУЛЬС-6М
Максимальная амплитуда сигнала	МПа м	0,28	0,15
Плотность потока акустической энергии сигнала	кДж/м ² на 1 м	0,235	0,115
частота	Гц	200	98
Эффективная длительность сигнала	мс	85	158

по сравнению с энергией ГСК. На рис.2 показаны амплитудно-частотные спектры ГИСК и вибрационного источника ГСК.

При активном участии ОАО «Тюменнефтегеофизика» были проведены испытания параметрического ряда конструкций ГИСК в неглубоких водонаполненных скважинах (НВС). По результатам испытаний следует, что ГИСК перспективен для методик просвечивания по схеме скважина-поверхность и скважина-скважина.

Совместно с ГНЦ ФГУП «Южморгеология» выполнены сравнительные опытно-методические испытания ГИСК и различных конструкций пневмоисточников «Пульс» в транзитной зоне акватории речного порта г. Саратова и в акватории Черного моря. В результате этих испытаний установлены

ГИСК



ГСК

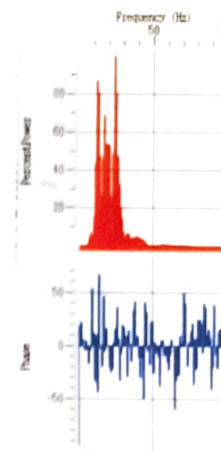


Рис. 2. Амплитудно-частотные спектры ГИСК и вибрационного источника ГСК

амплитудно-частотные и интегральные характеристики ГИСК.

По итогам испытаний в транзитной зоне отмечено, что мощность излучения ГИСК вполне сопоставима с групповым пневмоизлучателем при явных преимуществах: малый вес и объем палубного и забортного оборудования; простота и надежность в эксплуатации; возможность группирования.

Результаты опытно-методических испытаний ГИСК в акватории Черного моря иллюстрируются Таблицей 2, где представлены сравнительные характеристики акустических импульсов ГИСК и «Пульс-6М» в дальней зоне (на глубине 1000м) на удалении гидрофона по вертикали 85м от источника, размещенного на глубине 5 м.

Анализ результатов всего комплекса испытаний позволяет сделать вывод, что созданный источник сейсмических колебаний при корректном его использовании применим в широком диапазоне геофизических работ. Представляется целесообразным провести на Уренгойском, Ямбургском и Медвежьем месторождениях опытно-методические испытания ГИСК по методике межскважинного просвечивания и обращенного ВСП в целях:

- картирования коллекторских свойств пород с неравномерной трещиноватостью;
- выделения зон с неравномерной выработкой запасов;
- мониторинга состояния месторождений углеводородов в процессе эксплуатации.

Литература.

- 1.Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. - М: Наука, 1973.343 с.
- 2.Гуленко В.И. Карпенко В.Д. Шлыков В.А. Влияние внешнего акустического поля и границ волнового слоя на акустические характеристики пневматического излучателя. ж. Разведочная геофизика. - М: Недра, 1989. Вып.110, с.98-105.
- 3.Болотов А.А. Крылов Г.В. Совершенствование стимуляции скважин посредством импульсного газодинамического метода. - М: ж. Наука и техника в газовой промышленности, № 4(16), 2003 – 24-28 с.
- 4.Крылов Г.В. Болотов А.А. Патент РФ № 2250986 от 05.07.2003 г.
- 5.Баум Ф.А. Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. - М: ГИФМЛ, 1959.с.730

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

С Новым 2008 годом!



НУЖНЫЕ ПОДАРКИ В НУЖНОЕ МЕСТО!

АРЕНДА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО СЕЙСМОРАЗВЕДЧЕЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРОДАЖА ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ГЕОТОН

РЕМОНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ПРОДАЖА ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ШТАБ
ОПЕРАТИВНОЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ПОМОЩИ

ЯНУАРИЙ	ФЕВРАЛЬ	МАРТ	АПРЕЛЬ	МАЙ	ИЮНЬ
П 7 14 21 28	4 11 18 25	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26	2 9 16 23 30
В 1 8 15 22 29	5 12 19 26	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27	3 10 17 24
С 2 9 16 23 30	6 13 20 27	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28	4 11 18 25
Ч 3 10 17 24 31	7 14 21 28	6 13 20 27	3 10 17 24	5 12 19 26	2 9 16 23 30
П 4 11 18 25	1 8 15 22 29	7 14 21 28	4 11 18 25	6 13 20 27	3 10 17 24
В 5 12 19 26	2 9 16 23	1 8 15 22 29	5 12 19 26	7 14 21 28	4 11 18 25
С 6 13 20 27	3 10 17 24	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25	1 8 15 22 29

ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТЯБРЬ	ОКТАБРЬ	НОЯБРЬ	ДЕКАБРЬ
П 7 14 21 28	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29
В 1 8 15 22 29	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30
С 2 9 16 23 30	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24 31
Ч 3 10 17 24 31	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25
П 4 11 18 25	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26
В 5 12 19 26	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27
С 6 13 20 27	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28

ООО "ТЕОТОН" Тел.: (495) 694-1907 / (495) 694-1997 / (3452) 48-33-72 ФАКС: (495) 694-1940

E-MAIL: GEOSIS@GOL.RU GEOTON@GEOTON.RU WWW.GEOTON.RU

WWW.GEOSIS.INFO



Импульсные электромагнитные сейсмоисточники "Енисей": особенности технического решения и применения.

В.А. Детков, П.Ю. Шадин – "Енисейгеофизика", г. Красноярск,
В.В. Ивашин – Тольяттинский государственный университет, г.Тольятти.

Сейсмоисточники являются одной из основных частей сейсморазведочного комплекса. Их технические характеристики определяют частотный спектр и интенсивность создаваемых сейсмических волн, уровень вредного экологического воздействия, стоимость и возможность проведения сейсморазведочных работ в различных природных условиях.

Известные недостатки взрывного способа создания сейсмических волн – наносимый природе вред, повышенная опасность проведения взрывных работ, ограниченность применения и т.д., побудили к разработке невзрывных сейсмоисточников. Уже с начала 70-х начали применяться электрогидравлические сейсмические вибраторы и импульсные сейсмоисточники с газодинамическим, пневматическим, электродинамическим силовым приводом, а так же сейсмоисточники типа "падающий груз".

Разработка невзрывных сейсмоисточников проводилась как с учетом опыта зарубежных фирм, так и на основе оригинальных отечественных технических решений. В настоящее время широкое применение находят, в основном электрогидравлические сейсмические вибраторы и импульсные электромагнитные сейсмоисточники.

Сделаем оценку технических решений, обеспечивших электромагнитным сейсмоисточникам более высокие технико-эксплуатационные показатели в сравнении с импульсными сейсмоисточниками иных типов.

Обычно импульсный источник поверхностного типа генерирует сейсмические волны созданием деформации грунта x при воздействии на плиту-антенну силой $P(t)$ (рис.1а).

При деформации грунта энергия, поступающая от источника силы $P(t)$, затрачивается на уплотнение грунта и на создание упругой части деформации, следствием которой является создание сейсмических волн различного типа: поверхностной, поперечной и продольной. Сейсмическая эффективность сейсмоисточника определяется интенсивностью продольной волны. С увеличением силы $P(t)$ увеличивается скорость смещения V_{cm} частиц в прилегающей к плите слое грунта и давление σ в грунте, определяющее с учетом диаметра D плиты реакцию грунта при его деформации. Известно, что при распространении сейсмической волны в грунте механические напряжения σ в нем определяются скоростью V_{cm} и волновым сопротивлением $C = \rho \cdot Vp$, где ρ –

плотность грунта, а Vp – скорость распространения продольной сейсмической волны

$$V_{cm} = \sigma / \rho \cdot Vp \quad (1)$$

При увеличении V_{cm} увеличиваются механические напряжения в грунте под плитой, что соответственно приводит к увеличению потерь на неупругие деформации грунта и снижению коэффициента преобразования энергии воздействия на грунт в энергию его упругой деформации. Графики на рис. 1б показывают качественную зависимость распределения энергии воздействия A на грунт между энергией, затрачиваемой на неупругую A_n и упругую A_y деформацию. В работе [1] показано, что при $V_{cm} > (0,5+1)$ м/с существенного приращения упругих деформаций грунта не происходит, а энергия A воздействия на грунт затрачивается в основном на диссипацию при уплотнении грунта и поверхностные волны.

Из [1] для случая, например, грунтов средней прочности, характеризуемыми параметрами $\sigma = 5 \cdot 10^5$ Па (5 кгс/см²), $\rho \approx 2000$ кг/м³ и $Vp \approx 300$ м/с.

$$V_{cm} = \frac{\sigma}{\rho \cdot Vp} = \frac{5 \cdot 10^5}{2000 \cdot 300} = 0,83 \text{ м/с}$$

Важно отметить, что при увеличении прочности грунта под плитой увеличиваются σ , ρ и Vp . Рациональное же значение создаваемой скорости деформации грунта при этом изменится менее значительно и может быть принято равным $\sim 0,5+1$ м/с. По крайней мере существенное превышение скорости V_{cm} плиты при деформации его грунта представляется нежелательным.

Важной характеристикой сейсмоисточника, существенно определяющей его вес и стоимость, является время τ деформации грунта плитой-антенной. В работе Харкевича А.А. [2] теоретически показано, что даже при деформации грунта с постоянной скоростью время формирования сейсмической волны определяется соотношением:

$$\tau = \frac{D}{Vp}$$

За время τ деформации грунта положительное значение давления в грунте под плитой уменьшается до нуля (и даже может изменить знак). Например, при $D \approx 2$ м и $Vp \approx 300$ м/с

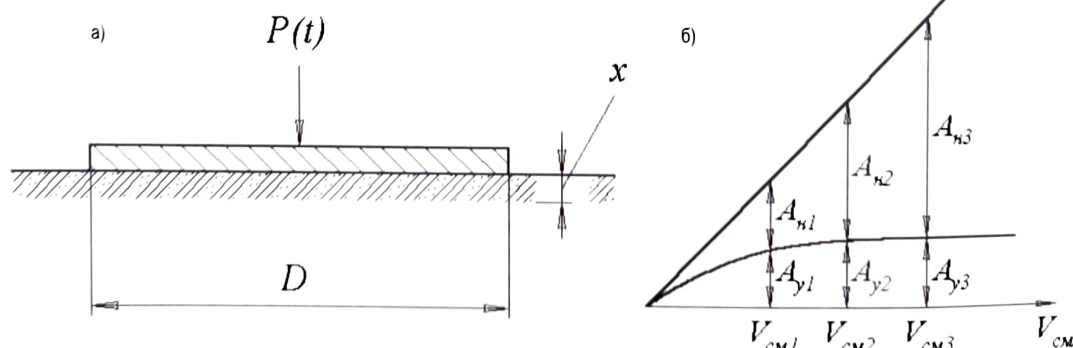


Рис. 1 а) – упрощенная принципиальная схема; б) – качественная зависимость энергии A_n – неупругой и A_y – упругой деформации грунта от скорости смещения V_{cm}

времени $\approx 6,6 \cdot 10^{-5}$ с

Величина и длительность прикладываемой к плите силы, в значительной мере определяющие весовые, стоимостные и эксплуатационные показатели сейсмоисточника, были положены в основу проектирования сейсмоисточника "Енисей".

Для сейсмоисточников был разработан специальный электромагнитный привод, содержащий короткоходовой электромагнит с импульсной системой возбуждения магнитного поля, обеспечивающий необходимые воздействия на плиту антенны при высоком кпд преобразования потребляемой энергии в механическую [3].

Недостаточная сейсмическая эффективность, разрабатывавшихся ранее и не нашедших достаточно широкого применения невзрывных сейсмоисточников обусловлена в основном тем, что они не обеспечивали эффективную передачу механической энергии двигателя в энергию упругих деформаций грунта. Например, в сейсмоисточнике типа "падающий груз" при падении ударника с высоты $H_0 = (2+3)$ м с ускорением силы тяжести скорость воздействия на грунт $V_{\text{г}} \approx (6+8)$ м/с, при которой энергия воздействия на грунт в основном затрачивается на неупругие деформации грунта (на его уплотнение и даже разрушение). Газодинамические сейсмоисточники также воздействовали на грунт со скоростями во много раз превышающими скорости смещения $[V_{\text{г}}]$ частиц грунта при распространении сейсмической волны. В сейсмоисточниках "Сейсодин" был применен электродинамический двигатель с рабочим ходом $\sim 20 \cdot 10^{-1}$ м, превышающим смещение плиты при деформации грунта в 10-20 раз. При работе сейсмоисточника основная часть механической энергии такого двигателя передавалась в реактивную массу (до 90+95%), а не в энергию деформации грунта.

На рис. 2 приведены упрощенная конструктивная схема сейсмоисточника "Енисей" и силовая часть схемы возбуждения магнитного поля его силового электромагнита, поясняющие особенности работы сейсмоисточника [4, 5]. При пропускании тока по обмотке возбуждения 5 индуктора создается поток Φ и между магнитопроводами индуктора 4 и якоря 6 создается сила $P(t)$. Через консоли 7 якоря и стойки 2 эта сила передается на расположенную на грунте жесткую плиту 1, что приводит к деформации его грунта и созданию сейсмической волны. Под действием силы $P(t)$ опёртая на плиту реактивная масса 3 вместе с закреплённым на ней

индуктором перемещается (ускоряется) вверх. В результате встречного движения якоря вниз, а индуктора вверх, зазор δ между ними уменьшается до нуля, и происходит удар якоря и индуктора. При этом якорь теряет связь со стойками, действие силы $P(t)$ на плиту прекращается, и якорь, притянутый электромагнитной силой к индуктору, вместе с ним и реактивной массой перемещается по инерции вверх в поле силы тяжести. Затем они возвращаются вниз. Для ослабления удара якоря о стойки и пригнута о плиту в момент их возврата в исходное положение между плитой и прируком установлены односторонние демпферы (на рисунке не показаны).

Схема питания (рис. 2б) обеспечивает при разряде ёмкостного накопителя энергии C через тиристор VS за время t_1 , $t_2 = (1,5+2) \cdot 10^{-5}$ с быстрый ввод энергии в магнитное поле электромагнита с последующим её преобразованием в механическую за время t_3 , $t_4 = (4+6) \cdot 10^{-5}$ с при среднем постоянстве силы $P(t)$ с момента автоматического закорачивания обмотки возбуждения диодом VD . За время выбора зазора энергия магнитного поля, заключенная в объеме зазора между магнитопроводами якоря и индуктора, преобразуется в механическую, значительная часть которой передается в энергию деформации грунта. По мере уменьшения зазора под действием силы $P(t)$ ток возбуждения уменьшается на интервале времени t_5 , t_6 от максимального значения до уровня $I_0 = (0,2+0,3)/m$, определяемого степенью насыщения магнитопровода якоря и индуктора.

Электромагнит весом ~ 500 кг, получивший в настоящее время наиболее широкое применение в импульсных сейсмоисточниках, развивает усилие $P \approx 25 \cdot 10^4$ Н, генерирует при зазоре $\delta_0 \approx 5 \cdot 10^{-1}$ м механическую энергию $Am \approx 1250$ Дж и развивает среднюю за время выбора зазора механическую мощность $N \approx 250$ кВт, примерно четверть которой (в зависимости от жесткости грунта) расходуется на деформацию грунта под плитой, а три четверти — на ускорение реактивной массы вверх.

Увеличение создаваемой на плиту силы может обеспечиваться применением нескольких электромагнитов. Например, в санном сейсмоисточнике СЭМ-100 на каждом полюсе помещено по два электромагнита с параллельным соединением обмоток возбуждения к ёмкостному накопителю энергии. Ограничение максимального напряжения на ёмкостном накопителе уровнем до 1000 В обусловлено условиями эксплуатации и

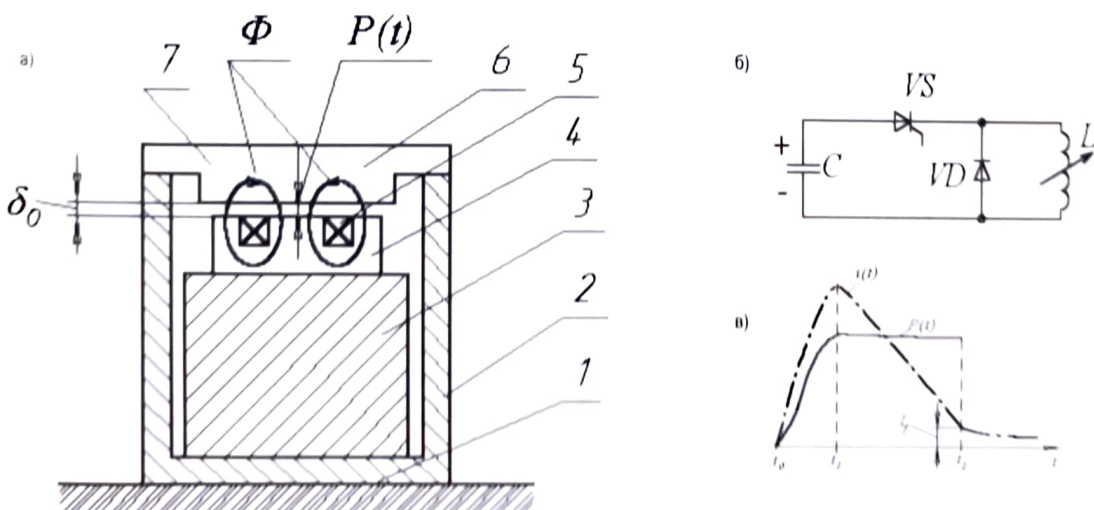


Рис. 2. Конструктивная схема сейсмоисточника, (а) силовая часть схемы возбуждения магнитного поля электромагнита, (б) диаграммы изменения силы $P(t)$ и тока i в его обмотке возбуждения электромагнита (в)

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

обеспечением техники безопасности с электротехническими установками в сложных производственных условиях.

К точности установки зазоров δ_0 в одновременно работающих электромагнитах предъявляются определенные требования. При $\delta_1 = \delta_0 + \Delta\delta$ и $\delta_2 = \delta_0 - \Delta\delta$ электромагниты создают силы $P_1 = P_0 + \Delta P$ и $P_2 = P_0 - \Delta P$ длительности которых также неодинаковы.

При последовательном соединении обмоток возбуждения электромагнитов, установленных на одной реактивной массе (как, например, в санном сейсмоисточнике "Енисей-СЭМ"), при $\Delta\delta \neq 0$ к реактивной массе прикладывается паразитный момент, затрудняющий её движение относительно направляющих штырей, что может приводить к уменьшению их срока службы или даже к заклиниванию на них инертной массы [6].

При аналитических исследованиях особенностей динамики работы сейсмоисточника в зависимости от силы $P(t)$, зазора δ_0 , массы якоря, плиты-антенны и реактивной, характеристик грунта-нагрузки и т.д., используются электрические схемы-аналоги, позволяющие получать математическую модель, соответствующую рассматриваемому режиму работы сейсмоисточника, и использовать для ее анализа хорошо разработанные методы исследования электрических цепей. На рис. 3 приведена, для примера, механическая цепь сейсмоисточника, содержащая массу m якоря, реактивную массу m_2 , массу m_3 плиты, силы веса этих масс (P_{g1} , P_{g2} , P_{g3}) и механическое сопротивление Z_m прилегающего к плите грунта-нагрузки. Сила $P(t)$ действует между подвижными полюсами масс m_1 и m_2 , а ее действие приводит к движению массы m_2 со скоростью V_2 . Скорость V_n якоря равна скорости движения плиты-антенны, деформирующей грунт со скоростью V_n ($V_n = V_{an}$).

По первой системе аналогий "сила-напряжение" топологии механической цепи соответствует дуальная ей топология электрической, в ветви которой включены соответствующие электрические аналоги механических элементов: $(m - L)$, $(P(t) - e(t))$, $(P_{g1} - e_{g1})$, $(P_{g2} - e_{g2})$, $(P_{g3} - e_{g3})$, $(Z_m - Z_n)$. При этом скоростям V_2 и V_n соответствуют их аналоги токи i_2 и i_n , а силе $P(t)$, реакции грунта на его деформацию плитой соответствует напряжение U_n на электрическом сопротивлении Z_n .

В Табл. 1 приведены основные технические характеристики изготавливаемых в ОАО "Енисейгеофизика" санных вариантов сейсмоисточников, силовые параметры и конструктивные особенности которых определяются главным образом количеством применяемых электромагнитов с номинальным значением создаваемого усилия $25 \cdot 10^4$ Н.

В последних разработках санных источников (СЭМ-150 и СЭМ-180) применены электромагниты с большим значением силы. На автомобильной транспортной базе разработаны источники КЭМ-4 и КЭМ-2-130, развивающие силу на излучающие плиты до $100 \cdot 10^4$ и $130 \cdot 10^4$ Н.

Для проведения сейсморазведочных работ на акваториях разработан водный вариант сейсмоисточника "Енисей ВЭМ-100К", выполненный в виде катамарана, на поплавки которого действует сила $100 \cdot 10^4$ Н, создаваемая четырьмя электромагнитами (аналог наземного источника "Енисей СЭМ-100").

Наибольшая эффективность работы с источниками «Енисей» достигается при выполнении следующих условий:

- группирование 4-6 невзрывных источников на базе, меньшей размеров неоднородностей ЗМС, не выше базы группирования сейсмоприемников и расстояния между пунктами приема;

- чувствительность канала записи регистрирующей аппаратуры должна позволять регистрировать сигналы вплоть до 0,1 мкВ, сеймостанция должна быть оборудована накопителем – коррелятором на базе современного программного обеспечения;

- при работе в зимний период профиль должен быть подготовлен для работы с невзрывными источниками, обязательна технологическая проминка, накат колеи для санных источников;

- при применении сейсмоприемников, имеющих нелинейную характеристику в полосе частот до 10 Гц целесообразно подавить низкочастотные волны-помехи (частоты до 10 Гц) уже на этапе регистрации, обеспечив тем самым масштабирование амплитуд сейсмозаписей отраженных волн и фона волн-помех в аналого-цифровом преобразователе (АЦП) с минимальной ценой «масштабной линейки».

Амплитудно-частотные характеристики сейсмограмм, получаемых при работе с источниками «Енисей» сопоставимы с характеристиками сейсмограмм, получаемых при работе со взрывами. На уровне временных разрезов данные полученные с применением СЭМ-100 идентичны по глубинности исследований, разрешённости сейсмической записи и корреляции целевых горизонтов материалам с взрывной и вибрационной технологиями (См. обзорную статью В.А. Деткова на стр. 11 этого выпуска журнала).

Как показала практика работ с электромагнитными источниками сила воздействий их излучателей не превышает динамический предел прочности грунтов и плиты излучателей не оставляют заметных следов воздействия на почву.

Выше перечисленные эксплуатационные характеристики и выбор санной транспортной базы для модификаций «Енисей СЭМ» обеспечивают применение и проходимость электромагнитных источников в зимний период на любой площади Крайнего Севера. Источники на шасси автомобиля «УРАЛ» могут применяться как в летний, так и в зимний период в диапазоне климатических условий от южных пустынь и полупустынь до лесотундры.

Следует подчеркнуть экологическую безопасность электромагнитных источников сейсмических колебаний. Структура грунтов, растительность под излучателями практически сохраняется в естественном состоянии. Применение в качестве

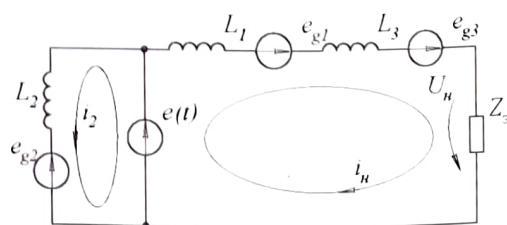
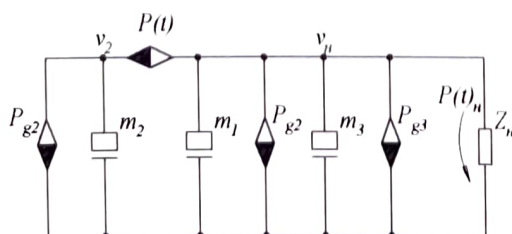


Рис. 3. Механическая цепь источника (а) и ее электрический аналог (б)

Таблица 1. Силовые параметры и конструктивные особенности СЭМ

Наименование показателя	СЭМ-20	СЭМ-50	СЭМ-100
Максимальное значение силы прикладываемой к плите-излучателю, Н	$20 \cdot 10^4$	$50 \cdot 10^4$	$100 \cdot 10^4$
Количество электромагнитов, шт.	1	2	4
Длительность приложения силы к плите - излучателю, с	$\sim 5 \cdot 10^{-3}$	$\sim 5 \cdot 10^{-3}$	$\sim 5 \cdot 10^{-3}$
Активная масса излучателя, кг	490	710	1040
Реактивная масса излучателя, кг	800	1270	2280
Вес сейсмосточника (без транспортного средства)	1600	4600	6640
Напряжение заряда емкостного накопителя, В	850	850	850

источников электроэнергии для зарядного устройства «сухих» экологически чистых аккумуляторов обеспечивает электробезопасность и экологическую чистоту при возбуждении упругих колебаний в пределах водоёмов.

Положительные результаты применения электромагнитных источников упругих колебаний «Енисей СЭМ, КЭМ» получены в разнообразных сейсмогеологических условиях Сибирской платформы, Западно - Сибирской плиты, Астраханского свода, Саратовского Поволжья, Южно-Минусинской межгорной впадины, при работах 3D в Юрубчено-Тохомской зоне.

Использование невзрывных электромагнит-

ных источников ряда «Енисей» позволяет решать весь круг нефтепоисковых задач на региональных, поисковых стадиях исследований, в модификациях съемок 2D, 3D, 3C.

Сейсмосточники «Енисей» являются оригинальной отечественной разработкой и не имеют аналогов за рубежом. Их основными достоинствами являются простота конструкции и эксплуатации, синхронность при работе в группе, стабильность создаваемых на грунт воздействий, надежность в работе, небольшая потребляемая мощность. В настоящее время проводится большой объем опытно-конструкторских работ по совершенствованию управления и контроля за работой источников.

Технологии передачи геолого-разведочных данных из района разведки в центр обработки с использованием мобильных спутниковых терминалов Инмарсат BGAN

На правах рекламы

Я.В. Баранов, ЗАО «МВС ГТ», г. Москва

Уже более года в России введены в эксплуатацию услуги широкополосной мобильной спутниковой связи Инмарсат BGAN на основе технологии 3G, обеспечивающими скорости передачи до 500 кбит/с и многоканальную телефонную связь высокого качества. Фактически технология BGAN позволяет перейти на высокоскоростные методы обработки данных в геологических, геофизических технологиях, бурении и оптимизации добычи.

При скорости передачи и приема данных 400-500 кбит/с терминал BGAN позволяет максимально быстро передать данные каротажа, бурения и

другие из района разведки в центр обработки. Например, файл 50Мбайт передается за 14-16 минут. При этом для повышения эффективности работы целесообразно одновременно принимать данные из центра – скорость приема также будет 400-500 кбит/с, так как радиоканал двусторонний и симметричный на прием-передачу (полный дуплексный). С точки зрения ИТ службы компании спутниковый терминал BGAN можно рассматривать как IP маршрутизатор с набором функций динамического управления услугами и параметров канала ПД. При этом обеспечивается активация нескольких независимых IP каналов с

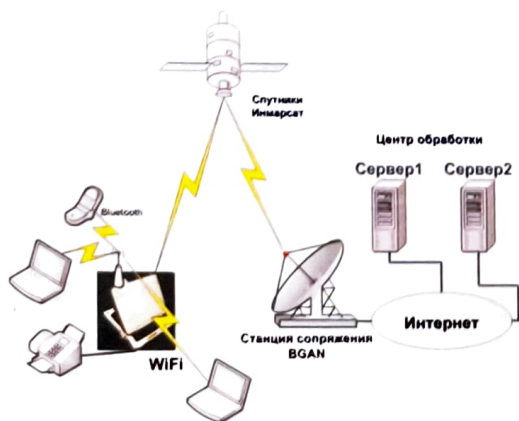


Рис. 1. Организация передачи и приема данных по 2-м независимым IP каналам с параллельной телефонной связью и факсом.

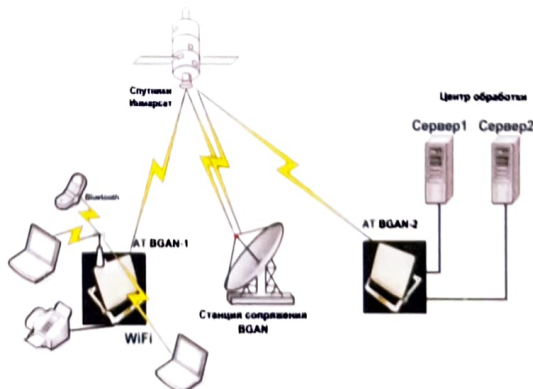


Рис. 2. Организация передачи и приема данных точка-точка без выхода в Интернет или наземными ПД

Пример конфигурации «по максимуму...»: до 28 ПК, до 21 телефона/факса, до 16 видеофонов, ЛВС с NAT

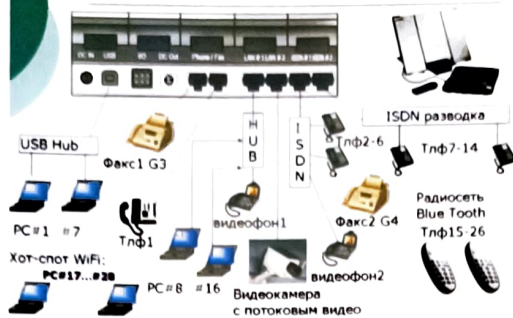


Рис. 3. Абонентские терминалы BGAN

гарантированной скоростью ПД до 256 кбит/с и стандартных IP каналов с общедоступной полосой для всех пользователей (Интернет доступ и др.).

Таким образом, некоторые геофизические, сейсмо- и геологические приложения можно запускать удаленно в реальном масштабе времени на сервере центра обработки, организуя поток данных из района разведки на центральный сервер по выделенному IP каналу с гарантированной скоростью, например 128-256 кбит/с, а



принимать результирующие данные по другому общему IP каналу 300-400кбит/с.

На Рис. 1 показан пример организации передачи данных от одного из ПК из района разведки на сервер в центре обработки и приема от сервера обработки на второй ПК в районе разведки. При этом телефонная связь и факс работают параллельно и независимо. Нужно отметить также, что каждый терминал кроме проводных портов Ethernet RJ45 также является точкой доступа WiFi с радиусом 100 м (AT Thrane Explorer 700) или 300 м (AT Hughes 9201 и 9250), что упрощает и ускоряет работу на площадке.

Для подвижного центра обработки или обмена информацией с региональным центром, находящимся также в районе с недостаточным количеством скоростных каналов связи можно использовать структуру точка-точка, когда один абонентский BGAN терминал (AT-1) находится на площадке в районе разведки, а второй установлен в региональном центре обработки. Диаграмма такого варианта организации сети ПД показана на Рис. 2.

Для мобильных бригад, на базе КАМАЗ, УРАЛ или другой автоплатформе, оснащенных для быстрого проведения комплекса геологораз-

ведочных работ и быстрого перемещения по району разведки применяются автомобильные варианты AT BGAN, со следающей антенной, обеспечивающие широкополосную передачу-прием данных и телефонную связь на ходу движения. Пример автомобильного AT Hughes-9250 приведен на фотографии. Рекомендуется применять протоколы передачи информации с максимальными размерами передаваемых пакетов данных – это TCP/IP, FTP. Это позволяет «разогнать» скорость передачи до максимально возможной при передаче больших

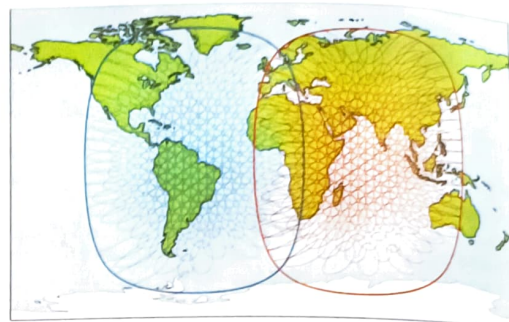


Рис. 4. Карта покрытия BGAN для углов видимости спутника 15 град

файлов. Также важно использовать клиентское ПО с обеспечением функции докачки при обрывах канала связи в движении автомобиля (въезд в туннель или проезд рядом с высоким объектом, блокирующим прямую видимость спутника).

Терминалы Инмарсат BGAN обеспечивают многоканальность, мультисервисность и работают как локальный центр коммутации каналов и пакетов данных для одновременно 20-30 пользователей в радиусе радиointерфейсов WiFi и Bluetooth и проводных Ethernet, ISDN, аналоговой 2-х проводной линии. Для иллюстрации возможности терминала BGAN Hughes-9201 на Рис. 3 показана диаграмма подключения и работы ПК, телефонов, факсов и видеокамер с различными приложениями.

В 2008г. в эксплуатацию вводятся морские (речные) терминалы BGAN – Fleetbroadband (флитбродбэнд), а также авиационные BGANы – swiftbroadband, с характеристиками, аналогичными переносным и портативным AT BGAN. Это позволит обеспечить скоростными каналами связи геологоразведочные работы на море, на плавучих буровых, авиасъемку и видеозондирование земной поверхности.

ЗОНА ПОКРЫТИЯ Инмарсат BGAN обеспечивают 2 спутника в районах Индийского и Атлантического океанов и покрывают территорию России до 110 град. Восточной долготы. В апреле 2008г. запланирован запуск 3-го Тихоокеанского спутника Инмарсат, который обеспечит полное покрытие территории России и океанских акваторий. Зона покрытия приведена для угла видимости спутника 15 град, что с запасом гарантирует качество связи на краях зоны. Но, учитывая опыт эксплуатации и проведенных испытаний терминалов Инмарсат BGAN в высокоширотных полярных акваториях, реальная зона покрытия обеспечивается до 76-78 гр. Северной широты (Рис. 4). Ряд полярных экспедиций использовал AT BGAN на полярных широтах 80-87 гр. с сеансовой связью и пониженной скоростью передачи данных.

Детальную информацию о системе Глобалстар, инструкции по эксплуатации, каталоги, цены на предоставляемые услуги и продукты можно найти на сайте www.mvsgt.ru или по тел. (495) 967-1880.

ЗАО «МВС ГТ», РОССИЯ, МОСКВА

ТЕЛ.: (495) 967-1880, Центр поддержки абонентов (7/24) (495) 795-3209

ФАКС: (495) 967-1890 E-MAIL: mvsgt@marsat.ru

О целесообразности разработки современного кодоимпульсного сейсмического излучателя и комплекс требований, обеспечивающий его эффективность

Ю.П. Кострыгин, ООО «Екатеринодар Бизнес», г. Краснодар

Особое место в невзрывной сейсморазведке занимает способ, основанный на возбуждении кодоимпульсных последовательностей. По своему физическому содержанию способ занимает промежуточное место между импульсным и вибросейсмическим методами [2]. Так же как и вибросейсмический метод, кодоимпульсный метод отличается повышенной помехоустойчивостью по отношению к некогерентным помехам. Вместе с тем техническая реализация кодоимпульсного возбуждения является значительно более простой. Учитывая относительную простоту конструкции и в связи с этим существенно более низкую себестоимость кодоимпульсных излучателей, кодоимпульсный метод можно рассматривать как наиболее значимую альтернативу вибросейсмическому методу. Такое утверждение тем более актуально в связи с тем, что в настоящее время стоимость серийных сейсмических вибраторов в основном превышает 300 тысяч долларов и поэтому для многих геофизических предприятий необходимость приобретения вибросейсмических излучателей создаёт серьёзные экономические проблемы.

Длительное время в СССР и в дальнейшем в России при проведении сейсморазведочных работ весьма успешно применялся и применяется серийный кодоимпульсный источник ИКИ-10/40, изготовленный в ПО «Потенциал» (Украина) при научном руководстве специалистов Тольяттинского политехнического института (проф. Ивашин В.В. и др.). В настоящее время существует необходимость разработки и изготовления кодоимпульсного источника на современной элементной базе, обеспечивающего более значительные толкающие усилия на грунт, отличающегося более высокой динамической устойчивостью импульсов в развёртке и использующего более широкий класс кодовых функций.

Опросы, проведённые во многих геофизических организациях России, указывают на то, что кодоимпульсный источник будет представлять коммерческий интерес при условии, если геологическая эффективность его применения не будет уступать геологической эффективности наиболее массового в России, современного вибросейсмического излучателя СВ-14/150, разработанного в ЗАО «ГЕОСВИП» и развивающего номинальное динамическое усилие на грунт ≈ 140 кН. При этом стоимость источника не должна превышать 150 – 200 тысяч долларов.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, ранее выполненные в процессе эксплуатации установки ИКИ-10/40, позволяют сформулировать основные технические требования, которые следует учитывать при создании современного кодоимпульсного сейсмического излучателя.

Так, в отличие от «идеальных» однополярных кодоимпульсных последовательностей с постоянной амплитудой единичных импульсов, однополярные последовательности, возбуждаемые реальными сейсмическими излучателями, обладают некоторой амплитудной неидентичностью импульсов в развёртке. Для излучателей, работающих на базе индукционно-динамических двигателей, амплитуда импульсов $A_{имп}$ при $f \geq 5$ Гц определяется степенной функцией

$$A_{имп} = k \cdot f^{-p}, \text{ т.е.}$$

непрерывно уменьшается по мере увеличения частоты следования импульсов f , что обусловлено ограниченностью энергетических возможностей

установок [1, 2]. Для ИКИ-10/40 параметр $p \approx 0,65$. Столь значительная амплитудная неидентичность импульсов в развёртке приводит к заметному искажению формы ФВК. Поэтому некоторые однополярные коды, в «идеальном» случае рассматриваемые как перспективные, при работе с реальными излучателями обеспечивают низкую эффективность исследований. Действительно с увеличением P от 0 до 0,65 статистический эффект кодоимпульсного накопления σ при использовании, например, однополярных кодов с линейным изменением частоты (коды ЛИЧ) уменьшается в 2-3 раза. Более того, при $P=0,32-0,65$ увеличение f_{max} от 20 до 50 Гц для кодов ЛИЧ практически не способствует ослаблению микросейсма [1, 3]. При формировании же двухполярных последовательностей путём поочерёдной отработки положительных и отрицательных импульсов, увеличение параметра P до 0,65 приводит к недопустимо большому растяжению главного максимума ФВК, что делает применение в принципе весьма перспективных для сейсморазведки дополнительных кодов и М-последовательностей нецелесообразным [3, 5].

Выполненные модельные исследования свидетельствуют о том, для современного кодоимпульсного сейсмического излучателя параметр P не должен превышать 0,12, т.е. в полосе частот развёртки от 5 до 35 Гц относительная амплитудная неидентичность импульсов не должна превышать 20% [2, 3].

Важным параметром при проектировании кодоимпульсного излучателя является параметр f_{max} – максимальная частота следования импульсов. Проведённые к настоящему времени модельные и экспериментальные исследования показывают, что при $P=0,12$ и возбуждении относительно высокочастотных импульсов с преобладающей частотой колебаний, равной 35-50 Гц, наиболее перспективные однополярные коды ЛИЧ характеризуются максимальной частотой следования 40-45 Гц [1, 2]. Под перспективными кодами в данном случае понимаются коды, обеспечивающие минимальную амплитуду корреляционного фона и наиболее компактную форму главного максимума корреляционной функции (ФВК).

Таким образом, при проектировании современного кодоимпульсного излучателя следует предусмотреть возможность формирования импульсных последовательностей с максимальной частотой следования не менее 40 Гц.

Весьма значимым параметром любого механического сейсмического источника является номинальное значение толкающего усилия $F_{k, макс}$. С учётом сформировавшегося к настоящему времени рынка вибросейсмических излучателей максимальное динамическое усилие $F_{k, макс}$ для современного кодоимпульсного источника не должно быть менее 160-200 кН. Такие значения динамического усилия обеспечат большую глубину исследований по сравнению с ранее выпускаемым кодоимпульсным излучателем ИКИ-10/40 и позволят иметь дополнительные коммерческие преимущества перед вибросейсмическим источником СВ-14/150.

Очевидно, что спектральные характеристики импульсов, возбуждаемых кодоимпульсными излучателями, не должны быть менее широкополосными по сравнению с аналогичными характеристиками для вибросейсмических источников. В настоящее время сейсмические вибраторы оснащены системами «fors-control», обеспечивающими в

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

полосе 10-150 Гц практически равное усилие на грунт. Однако при проведении сейсморазведочных работ, в основном, применяются датчики скорости смещения и уже поэтому, в результате интегрирования сигнала ускорения вибраторы при использовании ЛЧМ-сигналов формируют относительно низкочастотные колебания (рис. 1). Поэтому, для низкочастотных колебаний, регистрируемых на временах отраженных волн, регистрируемая частота спектра при использовании широкополосных ЛЧМ-сигналов, как правило, не превышает 40-50 Гц для первичных коррелограмм и 60-70 Гц для окончательных временных разверток [2, 6]. Такие спектральные характеристики полезных колебаний во многих случаях снижают эффективность сейсмической разведки и по этой причине не всегда устраивают организации, заказывающие геофизические работы.

Для расширения спектров отраженных волн до 80-90 Гц при проведении вибросейсмических исследований применяются либо нелинейные, либо комбинированные развёртки. При этом параметры указанных развёрток обычно выбираются таким образом, чтобы для управляющих сигналов вес высокочастотных колебаний в полосе частот развёртки возрастал бы в 4-6 раз [2, 4, 8].

В большинстве геологических ситуаций использование нелинейных или комбинированных сигналов способствует заметному повышению эффективности метода. Однако в некоторых условиях 4-х кратная переброска энергии из низкочастотной области в высокочастотную приводит к снижению глубинности исследований. Поэтому выбор типа и параметров вибросейсмических развёрток является весьма не простым и важным этапом определения параметров методики.

В кодоимпульсном методе отсутствуют механизмы регуляции огибающей спектра. Здесь спектр возбуждаемых колебаний определяется АЧХ системы «излучатель-грунт» и особенностями геологической среды. Поэтому очевидно, что для кодоимпульсного излучателя АЧХ должна определяться на основании некоторого компромисса между желанием расширить спектр отражений и желанием обеспечить достаточно высокое отношение сигнал/помеха. Компромисс при задании АЧХ системы излучатель-грунт для современного кодоимпульсного источника может заключаться в построении излучателя с АЧХ, обеспечивающей промежуточную динамику между динамикой возбуждаемых вибросейсмических сигналов в режиме ЛЧМ-сигналов и в режиме комбинированных или нелинейных развёрток с 4-х кратным увеличением веса гармоник в полосе частот развёртки.

При кодоимпульсном возбуждении сейсмических колебаний достаточно важным является вопрос о выборе кодов. С учётом опыта проведения сейсмических наблюдений с использованием кодоимпульсных излучателей значительный интерес представляют последовательности с линейным изменением частоты следования импульсов (коды ЛИЧ) [1, 2, 7]. Временное положение n -го импульса в развёртке ЛИЧ определяется из выражения

$$t_n = (T/\Delta F) \sqrt{(F_0^2 + 2n\Delta F(T-F_0))} \quad (1)$$

где t_n – временное положение n -го импульса в развёртке ЛИЧ (начальному импульсу присвоен номер «0»), T – длительность развёртки, F_0 – начальная частота в развёртке, ΔF – ширина частотного диапазона развёртки.

В соответствии с выражением (1) при формировании импульсной последовательности ЛИЧ система управления должна обеспечить возможность задания параметров T , F_0 и ΔF . При этом следует предусмотреть возможность задания T в диапазоне от 1с до 30 с с дискретностью 1 с; задания F_0 от 5 Гц до 20 Гц с дискретностью 1 Гц и

задания ΔF от 5 Гц до 40 Гц с дискретностью 1 Гц.

Выполненные к настоящему времени теоретические и экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что существует необходимость в пусковых сигналах ЛИЧ, перспективных для

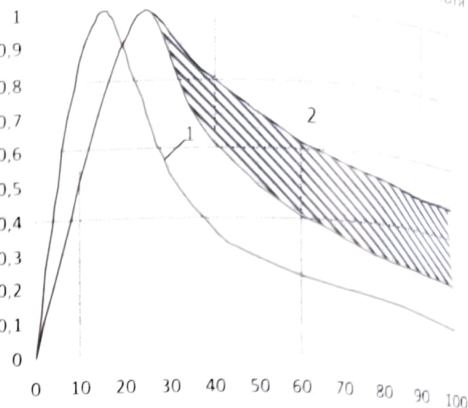


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики колебательной системы излучатель-грунт вибратора MERTZ-18P/12A90 для скорости смещения грунта (1) и приемлемые варианты АЧХ современного кодоимпульсного излучателя для скорости смещения грунта (2)

использования в сейсмической разведке. Вместе с тем, даже наиболее удачные коды ЛИЧ характеризуются, как правило, локальными областями корреляционных функций протяжённостью 0,5-1 с аномально высокой интенсивностью корреляционного фона. Это обусловило необходимость поиска и других однополярных кодов с более равномерным распределением помех корреляционного преобразования. К таким кодам относятся, например, коды с линейно изменяющимся периодом следования импульсов (коды ЛИП). Последовательности ЛИП отличаются от последовательностей ЛИЧ более равномерным распределением помех преобразования и поэтому в ряде случаев обеспечивают более высокую эффективность сейсмических исследований [2].

Временное положение n -го импульса в развёртке ЛИП определяется из выражения

$$t_n = nT_0 - n(n-1)\Delta T/2 \quad (2)$$

где t_n – относительное запаздывание n -го воздействия (начальному импульсу присвоен номер «0», конечному $N-1$); T_0 – начальный период следования импульсов; $|\Delta T|$ – абсолютное значение приращения периода следования импульса.

В соответствии с выражением (2) при формировании импульсной последовательности ЛИП система управления должна обеспечить возможность задания параметров T_0 , ΔT и N , где N – количество импульсов в развёртке. При этом должна существовать возможность задания T в диапазоне от 200 мс до 50 мс; N от 1 до 500 и T_0 от 0,1 мс до 2 мс с дискретностью 0,1 мс.

Наиболее перспективные однополярные кодовые послышки характеризуются динамическим диапазоном корреляционного преобразования $D = 30-40$ дБ, что на 20-25 дБ меньше динамического диапазона коррелограмм в вибросейсмическом методе. Значительно повысить динамический диапазон преобразования однополярных кодоимпульсных сигналов и тем самым повысить эффективность кодоимпульсного метода, использующего однополярные последовательности, можно путём возбуждения на каждом пикете нескольких развёрток с различными параметрами. После вычисления пунктов записи, соответствующие одноимённым пунктам

возбуждения, суммируются между собой. Такая модификация способа технически достаточно легко реализуется, позволяя улучшить форму главного максимума ФВК и уменьшить мешающее влияние корреляционного фона на 10-25 дБ по сравнению с обычными однопольярными последовательностями ЛИЧ [2, 5]. Рассматриваемый вариант кодоимпульсного накопления формально напоминает способ комбинированных виброрейсмических развёрток [2, 8]. Таким образом, весьма целесообразно, чтобы система управления современного кодоимпульсного излучателя при формировании однопольярных развёрток позволяла максимально технологично возбуждать и регистрировать колебания на каждом пикете развёртки с различными параметрами и осуществлять суммирование коррелограмм, соответствующих этим развёрткам.

4. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с отрицательной полярностью для второй из дополнительных разветок. Зарегистрированная виброграмма подвергается при этом фазовой инверсии.

Очевидно, что система управления современного кодоимпульсного излучателя одностороннего действия должна обеспечивать возможность использования двухполярных дополнительных кодов. Это позволит при необходимости полностью исключать помехи преобразования на коррелограммах.

Ниже приведены дополнительные последовательности с числом импульсов $N=16, 32, 64, 128$, и 256 , которые могут быть использованы при создании системы управления современного кодоимпульсного излучателя

Дополнительные последовательности при $N=16$:

Дополнительные последовательности при N=32

$$K(t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$
[illegible]

*K(t)=1

Дополнительные последовательности при N=256

Существенно уменьшить интенсивность корреляционного фона при кодоимпульсном накоплении можно путём использования двухполярных импульсных последовательностей. Наибольший интерес для сейсморазведки представляют двухполярные дополнительные последовательности, при использовании которых корреляционный фон практически обнуляется [2, 3].

$$U_0(\tau) + U_0(\tau) = \begin{cases} 2 & \text{при } \tau=0, \\ 0 & \text{при } \tau=\pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1), \end{cases} \quad (3)$$

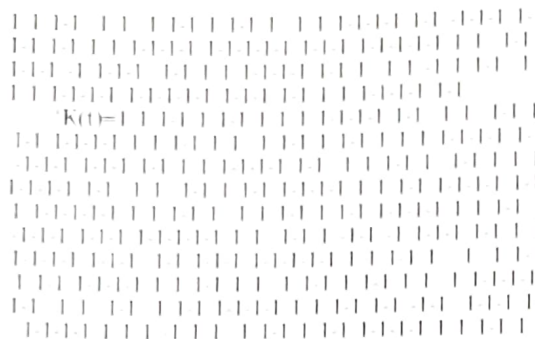
где $U_{\alpha}(t)$ и ${}^*U_{\alpha}(t)$ - нормированные ФАК функций $K(t)$ и ${}^*K(t)$.

Как уже отмечалось, дополнительные последовательности относятся к классу так называемых двухполярных последовательностей. Вместе с тем используемые в сейсморазведке импульсные излучатели являются излучателями одностороннего действия. Украинскими геофизиками был предложен весьма оригинальный способ, позволяющий формировать двухполярные последовательности излучателями одностороннего действия [9]. В предложенном способе разнополярную последовательность импульсов реализуют односторонними воздействиями за два сеанса. Сначала возбуждается развёртка, соответствующая временному закону следования импульсов с положительной полярностью, затем развёртка, соответствующая закону следования импульсов с отрицательной полярностью. Вычитая вторую запись из первой, получают аналог виброграммы, которая была регистрировалась при использовании кодоимпульсных излучателей двухстороннего действия силы.

1. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с положительной полярностью для первой из дополнительных разверток.

2. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с отрицательной полярностью для первой из дополнительных развёрток. Зарегистрированная виброграмма подвергается при этом фазовой инверсии.

3. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с



Основные требования, предъявляемые к современному кодонимпульсному излучателю можно сформулировать следующим образом:

— в полосе частот развёртки от 5 до 35 Гц относительная амплитудная неидентичность импульсов не должна превышать 20%;

— максимальная частота следования импульсов в развёртке должна быть равна 40 Гц;

— максимальное динамическое усилие $F_{\text{д. max}}$ для современного кодонимпульсного источника не должно быть менее 160-200 кН;

— АЧХ системы излучатель-грунт для современного кодонимпульсного источника должна обеспечивать промежуточную динамику колебаний между динамикой возбуждаемых вибросейсмических сигналов в режиме ЛЧМ-сигналов и в режиме комбинированных или нелинейных развёрток с 4-х кратным увеличением веса гармоник в полосе частот развёртки.

Система управления кодонимпульсного излучателя одностороннего действия должна обеспечивать возможность возбуждения импульсных последовательностей ЛИЧ, ЛИП, возмож-

ность формирования двухполярных последовательностей, а также возможность последовательное возбуждение импульсных однополярных разверток с различными параметрами.

При проведении работ должен быть обеспечен непрерывный контроль пикового амплитудного импульса, а также контроль фазовой идентичности возбуждаемых силовых импульсов и импульсов в опорном сигнале.

Литература

- 1 Кострыгин Ю.П., 1988. Выбор параметров однополярных кодов при кодонимпульсном накоплении сейсмических сигналов. Исследования колебаний М. Геол. Фонд РСФСР 55-64.
- 2 Кострыгин Ю.П., 2002. Сейсморазведка на сложных сигналах. Тверь, Издательство ГЕРС 416 с.
- 3 Кострыгин Ю.П., 1991. Эффективность двухполярных импульсных последовательностей при кодонимпульсном возбуждении сейсмических колебаний. Разведочная геофизика М. Недра 112, 15-21.
- 4 Кострыгин Ю.П., Барулин Д.А., 2004. О целесообразности применения комбинированных сигналов в современной вибросейсмической разведке. Приборы и системы разведочной геофизики. № 03/09, 36-38.
- 5 Кострыгин Ю.П., Кириллов В.М., 1990. Способ кодонимпульсного накопления сейсмических колебаний. Геофизическая аппаратура. М. Недра, 93, 34-39.
- 6 Кострыгин Ю.П., Кулагин С.И., 1999. Современные подходы к выбору частотного диапазона вибросейсмических разверток. Геофизический вестник, 9, 3-8.
- 7 Кострыгин Ю.П., Молоканов Г.И., 1980. Модельные исследования формы сейсмического сигнала при кодонимпульсном возбуждении. Разведочная геофизика. М., Недра, 89, 38-47.
- 8 Кострыгин Ю.П., Школьников А.Л., 1989. Исследование возможности повышения разрешающей способности вибросейсмического метода путём применения комбинированных разверток. Прикладная геофизика. М., Недра, 120, 63-73.
- 9 Роман В.И., Шпортюк Г.А., Михайличенко О.Г., Королук П.А., 1986. Перспективы применения дополнительных последовательностей импульсов в невзрывных методах сейсморазведки. ГСЗ и сейсмология. Современные геодинамические процессы и их изучение в связи с проблемой прогноза землетрясений. Киев, Наукова думка, 22-26.



World Leader in Magnetotellurics PHOENIX GEOPHYSICS

- Многофункциональная и специализированная электроразведочная аппаратура для всех наземных ЕМ методов. Высокоточная GPS синхронизация всех приборов.
- Датчики, приёмники, генераторы, мониторинговые системы, вспомогательное оборудование.
- Полный комплект аппаратно-технических средств и программного обеспечения для выполнения полевых измерений, обработки и интерпретации. Русифицированная документация. Сдача под ключ на объекте Заказчика.
- Централизованное обучение обслуживающего персонала и курсы повышения квалификации в России. Гарантийное сервисное обслуживание в течение трех лет



Toronto

Системы в полном комплекте для поисков, разведки, мониторинга и научных исследований

Тел: +1 416 491-7340 Факс: +1 416 491-7378 www.phoenix-geophysics.com info@phoenix-geophysics.com

Многоэлементный импульсный генератор сейсмических волн двойного назначения МИГ СВ

Ю.П.Бевзенко, ЗАО «Герус», С.И. Шулик ОАО НПФ «Сейсмические технологии», г. Тюмень

Мощные невзрывные генераторы сейсмических волн вибрационного и импульсного типов применяются в двух областях, связанных с разведкой и добычей нефти. Наиболее широкое применение они находят при поисках и разведке нефтяных месторождений, однако в последнее время, в связи с выходом очень многих нефтяных месторождений в завершающую фазу разработки, генераторы сейсмических волн начинают применять для интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи пластов [1].

В сейсморазведке наиболее широкое применение имеют гидравлические вибраторы и импульсные генераторы электромагнитного типа («Енисей», «Геотон»).

Одной из основных проблем возбуждения сейсмических волн невзрывными генераторами на дневной поверхности является проблема согласования динамической нагрузки на грунт в процессе возбуждения волн с прочностью и упругими свойствами грунта.

Эта проблема удачно решена в вибрационных генераторах (сейсмических вибраторах), где за счет продолжительной вибрации плиты-излучателя с переменной частотой в грунт закачивается большая энергия при малых динамических нагрузках на грунт, что обеспечивает возбуждение волн с минимальными затратами энергии на неупругие деформации грунта. Восстановление импульсной формы сигнала осуществляется вычислением функции взаимной корреляции между колебаниями плиты-излучателя вибратора и зарегистрированными колебаниями грунта (получение кореллограммы).

Из широко применяемых импульсных генераторов сейсмических волн наилучшее согласование между нагрузками на грунт и прочностью грунта, обеспечивающее минимизацию затрат энергии импульса на неупругие деформации, достигается в генераторах электромагнитного типа «Енисей», «Геотон».

Как вибрационные, так и импульсные генераторы легко синхронизируются между собой, что позволяет существенно увеличить суммарную энергию сейсмических сигналов путем группирования большого количества

генераторов, например, известно группирование до 36 модулей типа «Геотон», с амплитудой силы воздействия каждого 20 тонн, в такой группе генераторов сила суммарного воздействия составляет 720 тонн.

В нефтяной сейсморазведке обычно группируют 3-4 сейсмических вибратора, обладающих толкающим усилием 20–30 тонн, что дает суммарный сигнал, возбуждаемый суммарным толкающим усилием 60–120 тонн.

Синхронная работа группы генераторов обеспечивает также создание произвольно направленных воздействий путем управления фронтами сейсмических волн.

Основной недостаток гидравлических вибраторов и электромагнитных импульсных генераторов, это большой общий вес генератора, приходящийся на единицу силы, направленной на возбуждение сейсмического сигнала. Так, вес генератора состоящего из двух модулей типа «Геотон» создающих удар силой 40 тонн равен 5 тонн, т.е. на каждую тонну силы ударного импульса приходится 125 кг веса установки. Группа из 36 модулей будет весить 90 тонн, что потребует существенных затрат на транспортировку и на материалы для изготовления генераторов.

Для обеспечения постоянного прилегания к грунту плиты-излучателя, общий вес вибратора должен быть не менее величины толкающего усилия. Таким образом, агрегат с толкающим усилием 20 тонн, должен иметь собственный вес не менее 20 тонн, при этом группа из 4-х вибраторов, создающая суммарное толкающее усилие 80 тонн, должна иметь собственный вес не менее 80 тонн.

Наиболее простыми по конструкции представляются импульсные генераторы сейсмических волн на основе падающего груза, однако бытует мнение, что этот тип генераторов обладает рядом недостатков, ограничивающих их применение. В качестве основных недостатков рассматривается низкочастотный нерегулируемый спектр возбуждаемых колебаний и проблема синхронизации группы генераторов.

Еще в 60-х годах прошлого столетия теоретически и экспериментально была доказана возможность расширения спектра возбуждаемых сигналов в область высоких частот [2], и существенного сокращения потерь энергии удара на неупругие деформации, однако осталась проблема увеличения энергии единичного импульса.

Дело в том, что площадь ударного элемента и энергия сейсмического импульса связаны прямой пропорциональностью, и для увеличения энергии сейсмического импульса необходимо пропорционально увеличивать площадь соударения ударного элемента с грунтом. Однако при увеличении площади ударного элемента неровности дневной поверхности

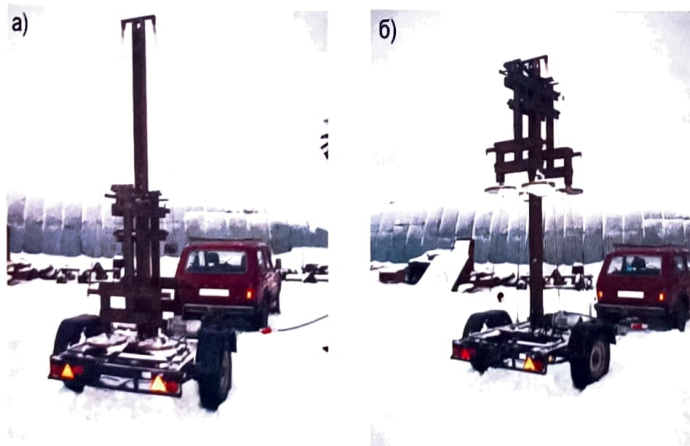


Рис. 1. Внешний вид опытно-промышленного образца четырехэлементного импульсного генератора сейсмических волн на основе падающего груза. а) в транспортном положении б) в момент начала падения ударного блока

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

препятствуют полному прилеганию ударного элемента к грунту, вследствие чего увеличивается доля неупругих деформаций и снижается доля упругих.

Решение проблемы было найдено изобретением деформируемых ударных блоков, адаптирующихся по форме к случайным неровностям рельефа [3, 4].

Фактически этими изобретениями было положено начало созданию серии многоэлементных импульсных генераторов сейсмических волн (МИГ СВ) на основе падающего груза. В конструкции такого типа генераторов ударный блок (падающий груз) состоит из нескольких жестких элементов, связанных между собой посредством жестких балок и фрикционных шарниров. Каждый элемент в процессе каждого удара занимает положение плотного прилегания к неровной в целом и изменяющейся от удара к удару поверхности и сохраняет это положение до следующего удара. Таким образом, осуществляется согласование между площадью контакта ударного блока с грунтом и его собственной массой, а также обеспечивается синхронность воздействия группы жестких ударных элементов.

Выполненные сравнительные испытания двух созданных образцов многоэлементного генератора с импульсным электромагнитным генератором «Геотон» показали, что генератором на основе падающего груза общим весом 0,75 – 1,5 тонны осуществляется импульс силой 40 тонн, равный по силе импульсу двух модулей «Геотон», имеющих собственный вес 5 тонн, т.е. отношение общего веса генератора к силе генерируемого импульса в генераторе на основе падающего груза в 3-5 раз меньше.

На основе указанных изобретений появилась возможность создания генераторов большой мощности, имеющих относительно малый вес и обладающих возможностью регулирования спектра возбуждаемых сигналов.

Результаты испытаний опытно-методического макета и предполагаемые параметры первого опытно-промышленного образца были опубликованы в данном журнале №4 за 2006 год.

В настоящее время создан и проходит испытания указанный выше первый опытно-промышленный образец четырехэлементного импульсного генератора сейсмических волн (Рис. 1) на основе падающего груза, его технические параметры показаны в Табл.1. Проведен сравнительный анализ сейсмограмм, полученных на одном пикете опытно-методического макета и первого опытно-промышленного образца (рис. 2, 3). Результаты сравнения сейсмических эффектов, представленные в Табл. 2 и 3 показывают, что первый опытно-промышленный образец, имеющий собственный вес 0,8 тонны, создает сейсмические волны, мало отличающиеся от волновых полей первого экспериментального образца, имеющего вес 1,5 тонны, что позволяет считать удачным техническое решение по созданию генераторов сейсмических волн с деформирующимся ударным блоком. Показан временной разрез ОГТ, полученный опытно-промышленным образцом в окрестности г.Тюмень (Рис. 4).

Описанные выше образцы многоэлементных сейсмических генераторов предназначены для малоуглубинной сейсморазведки. Целью их создания и применения является также выработка конструктивных решений для многоэлементного импульсного генератора сейсмических волн двойного назначения, одно из которых – сейсмические работы по поиску и разведке нефтяных месторождений, а второе – работы по возбуждению нефтеносных пластов для повышения производительности эксплуатационных скважин и

Таблица 1 Технические параметры четырехэлементного МИГ СВ (для малоуглубинной сейсморазведки)

1	Длина (с дышлом прицепа)	4 м
2	Ширина	1,6
3	Высота в рабочем положении	4 м
4	Высота при транспортировке по дорогам общего пользования	2,95
5	Общая масса вместе с прицепом	не более 0,8 т
6	Масса ударной части	0,25 – 0,5 т
7	Высота падения ударной части	2,4 м
8	Потенциальная энергия ударной части	600-1200 кДж
9	Длительность положительной фазы возбуждения импульса	0,012 с
10	Ориентировочная сила удара	25-50 т

Таблица 2. Сопоставление сейсмического эффекта от макета (источник 1), четырехэлементного опытного образца МИГ СВ (источник 2). Окно для анализа 166 мс – 830 мс, 37 каналов. После нормирования, без выравнивания частотного спектра

№	Сейсмические параметры	Источник 1 / Источник 2
1	Частота максимума спектра	37,6 Гц / 32,2 Гц =1,16
2	Преобладающая частота	39,0 Гц / 41,2 Гц =0,94
3	Эффективная ширина спектра, (ЭШС)	9,0 Гц / 15,2 Гц =0,59
4	Энергетическое отношение сигнал/помеха (ЭОСП)	- 9,31 / 6,28=1,48
5	ЭШС*ЭОСП	0,873
6	1/ЭШС*ЭОСП	1,145

Таблица 3. Сопоставление сейсмического эффекта от макета (источник 1), четырехэлементного опытного образца МИГ СВ (источник 2). Окно для анализа 166 мс – 830 мс, 37 каналов. После нормирования и выравнивания спектра в диапазоне 10-80 Гц

№	Сейсмические параметры	Источник 1 / Источник 2
1	Частота максимума спектра	60,1 Гц / 31,3 Гц =1,92
2	Преобладающая частота	48,0 Гц / 47,0 Гц =1,02
3	Эффективная ширина спектра, (ЭШС)	17,8 Гц / 24,7 Гц =0,72
4	Энергетическое отношение сигнал/помеха (ЭОСП)	- 12,94 Гц / 6,97 Гц =1,85
5	ЭШС*ЭОСП	1,332
6	1/ЭШС*ЭОСП	0,750

для повышения нефтеотдачи пластов, разрабатываемых методами заводнения.

Нами разрабатывается проект многоэлементного импульсного генератора сейсмических волн на основе падающего груза, обладающего силой удара не менее 500 тонн, при площади соударения 12 м², распределенной между 24 жесткими ударными блоками. Общий вес генератора составит не более 15 тонн, т.е. на каждую тонну создаваемого ударного импульса будет приходиться 30 кг собственного веса.

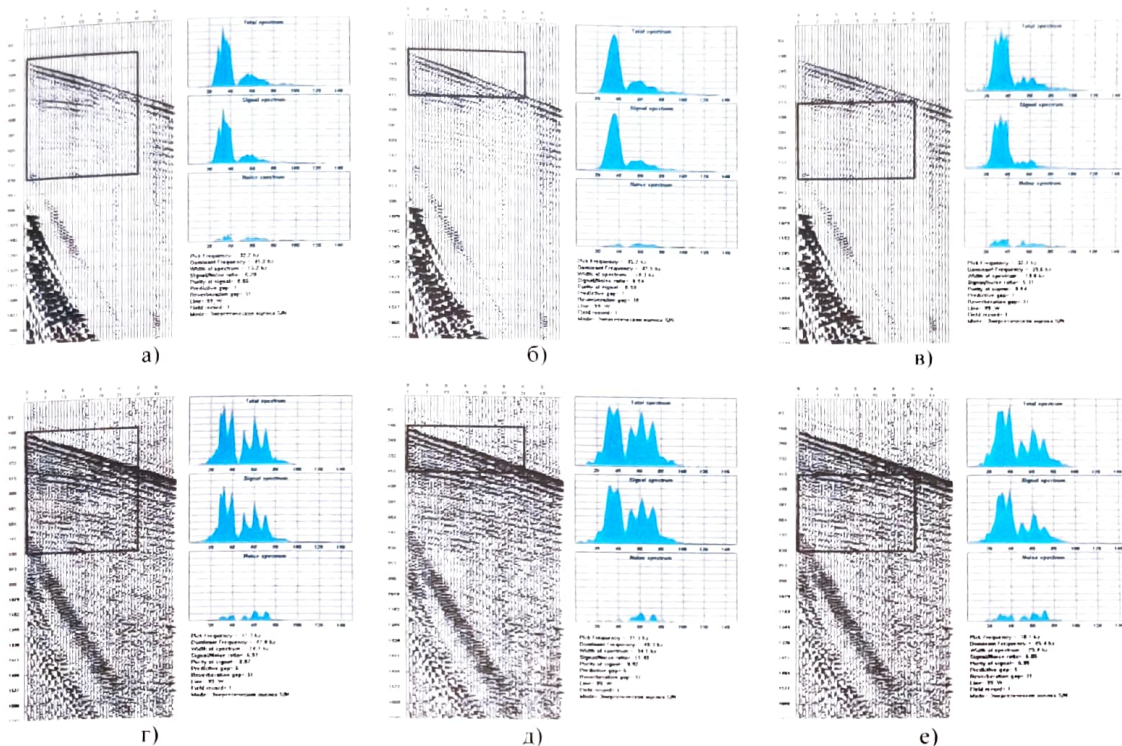
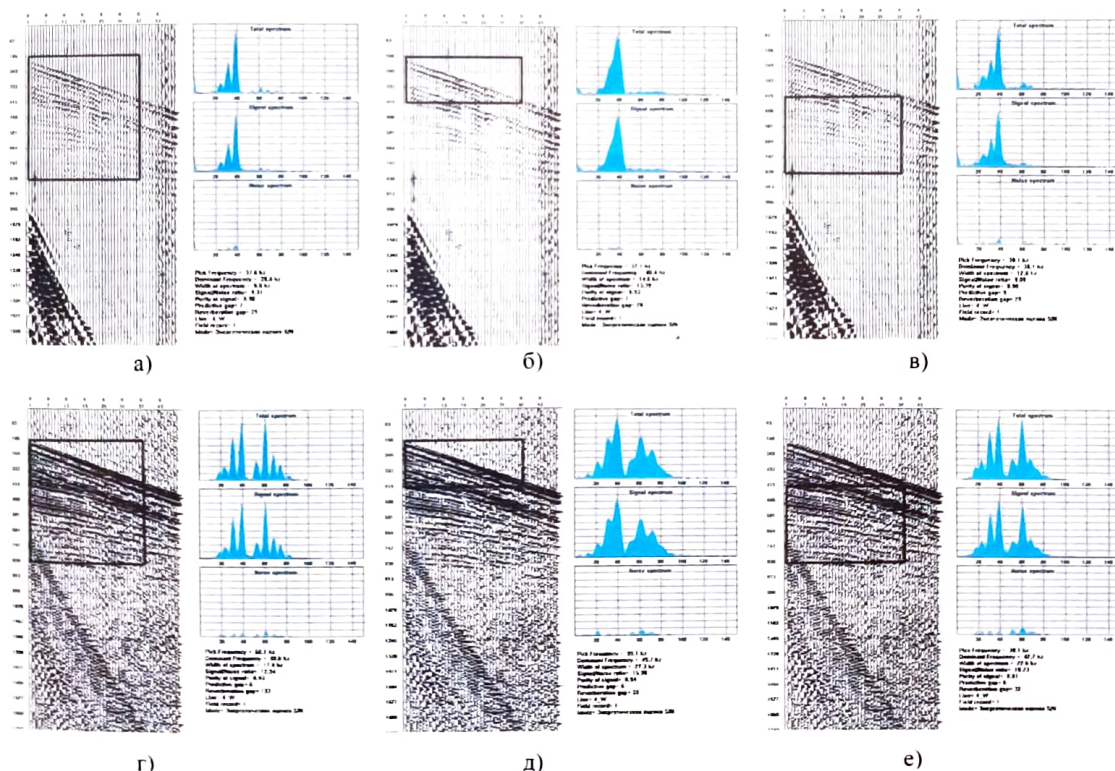


Рис. 2. Сейсмограмма полученная опытно-методическим макетом импульсного генератора сейсмических волн (а,б,в) - после нормирования без выравнивания частотного спектра (г,д,е) - после нормирования с выравниванием частотного спектра от 10 до 80 Гц



(а,б,в) - после нормирования, без выравнивания частотного спектра, (г,д,е) - после нормирования с выравниванием частотного спектра от 10 до 80 Гц.

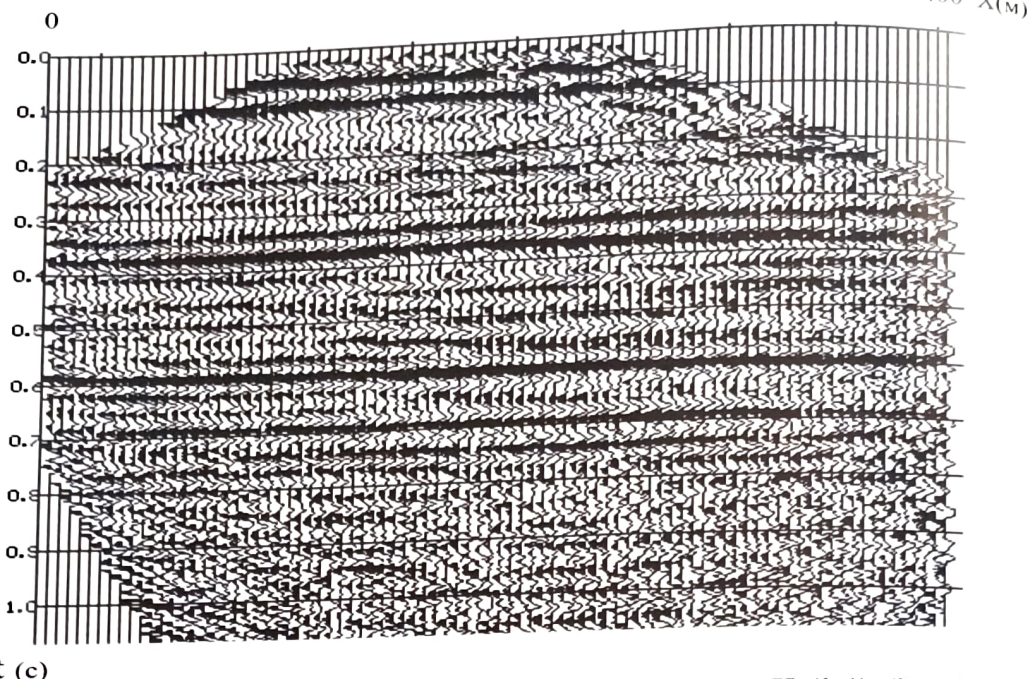
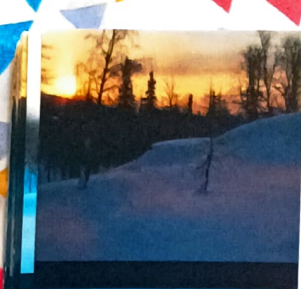
По техническим характеристикам разрабатываемый генератор должен быть эквивалентен 25 модулям источника «Геотон» при собственном весе в 4 раза меньшем.

Выводы и предложения

1. Созданием деформируемого ударного блока начата разработка многоэлементных импульсных генераторов сейсмических волн большой мощности с регулируемым спектром возбуждаемых волн.

2. Многоэлементные импульсные генераторы сейсмических волн имеют более выгодное для производства полевых работ соотношение между собственным весом и силой удара по грунту.

3. Относительно низкая стоимость производства и эксплуатации разрабатываемых генераторов позволяют предложить геофизическим и нефтяным компаниям принять участие в разработке и постановке на производство многоэлементных



t (с)

Рис. 4. Временной разрез ОГТ (запись и воспроизведение на открытом канале) шаг ПВ - 10 м, шаг ПП - 10м, Volt (0 мс - 900 м/с, 3000 мс - 2200 м/с)

тных импульсных генераторов сейсмических волн на основе падающего груза.

Литература:

1.Ляхов А.А., Бескопыйный В.В., Демьяненко Н.А. и др., Использование наземных вибросейсмических источников для воздействия на пласт в условиях восточной части Припятьского

прогиба. «Технологии сейсмической разведки» №2, 2006, стр. 60-63.

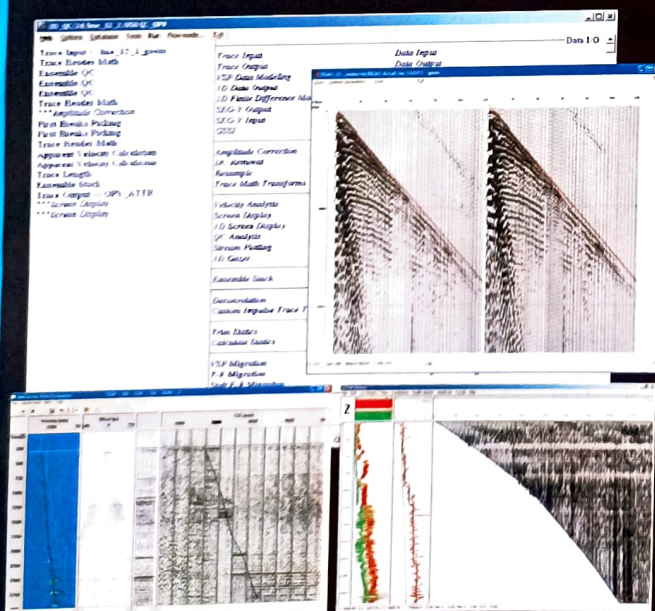
2. Бевзенко Ю.П. «Методика сейсморазведочных работ на севере Тюменской области с применением невзрывных источников возбуждения. «Разведочная геофизика СССР на рубеже 70-х годов. Недра, 1974, стр. 82-85.

3.Бевзенко Ю.П. Устройство для возбуждения сейсмических волн. Патент РФ на изобретение №2179324. кл. G01V1/147/2002г.

4.Бевзенко Ю.П. Источник сейсмических волн. Патент на полезную модель №44396. кл. G01V1/147. 2004г.

Программа для обработки и контроля качества сейсмических данных

RadExPro Plus



⇒ Контроль качества и полевая обработка данных 2D/3D сейсморазведки

- Количественный анализ атрибутов качества сейсмических данных
- Контроль геометрии по первым вступлениям
- Полевая обработка данных

⇒ Обработка данных ВСП

- Потрассная обработка с учетом специфики ВСП
- Разделение волновых полей
- Интерактивная интерпретация и построение скоростной модели
- Миграция и ВСП-ОГТ преобразование
- Решение прямой задачи ВСП

⇒ Обработка данных инженерной сейсморазведки

- Обработка данных инженерной сейсморазведки ОГТ
- Обработка данных МПВ

www.radexpro.ru

E-mail: sales@radexpro.ru
Тел./Факс: (+7 495) 930 84 14

ООО "Деко-геофизика"
Научный парк МГУ, Ленинские горы 1-77
119992 Москва, РОССИЯ



Контроль качества и полевая обработка сейсмических данных в программе RadExPro Plus

С.В. Буряк, Р.Л. Певзнер, А.И. Понимаскин, А.Е. Харитонов, ООО «Деко-геофизика», г. Москва

Введение

Неотъемлемой частью технологии полевых сейсмических наблюдений является контроль качества получаемых материалов и выявление некондиционных данных. Совершенствование аппаратной базы разведки и прогресс в развитии средств вычислительной техники привели к тому, что стало возможным непосредственно в поле оперативно оценивать качество каждого физического наблюдения на основе вычисляемых интегральных параметров записи, а также проводить предварительный этап обработки. Для этих целей в компании ООО «Деко-геофизика» при участии специалистов МГУ им. М.В. Ломоносова и поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере Правительства РФ (проект №6308) на основе системы обработки сейсмических данных RadExPro Plus был разработан специализированный пакет программ. При создании пакета ставились следующие задачи:

1. Пакет для контроля качества должен быть реализован на платформе операционных систем семейства Windows. Просто в силу того, что основные программные продукты, используемые супервайзерской службой, такие как: офисные приложения; пакеты для планирования съемки (Mesa, Пикеза) и др., — также работают из-под Windows. Помимо прочего, важным преимуществом ОС Windows является то, что в случае сбоя, с задачей ее установки и настройки способен справиться практически любой оператор современного полевого сейсморегистрирующего комплекса, в то время как установка и администрирование любой Linux/Unix-системы под силу только опытному системному инженеру, который не всегда доступен в поле.

2. Программа должна обеспечивать ввод данных практически в любом формате, используемом в настоящее время индустрией. Для этого RadExPro должен поддерживать такие форматы, как SEG-Y, SEG-D, CIG-3, SEG-B, SEG-2 и многие другие, причем с учетом особенностей, вносимых системами регистрации данных таких производителей, как Sercel, I/O, СИ-Технолоджи.

Также должна быть обеспечена возможность чтения данных, поступающих на CD/DVD, магнитных лентах (IBM 3490/3590, Exabyte) и пр.

3. Пакет должен обеспечивать возможность проводить обработку данных до получения предварительных суммарных разрезов.

4. Набор специализированных средств для контроля качества сейсмических данных должен позволять в минимальные сроки (для того, чтобы отбракованное физическое наблюдение могло быть оперативно отработано заново) выявлять случаи нарушения технологии проведения полевых работ, ошибки в геометрии наблюдений, объективно оценивать качество получаемого материала.

В настоящей статье будут рассмотрены основные особенности пакета и применение его для контроля качества сейсмических данных и проведения полевой обработки.

Ввод данных, присвоение геометрии полевой системы наблюдений, контроль правильности присвоения геометрии.

Начальным этапом работы является загрузка данных с того носителя, на котором они передаются со станции, в пакет RadExPro Plus и присвоение им геометрии наблюдений. Исходные сведения о положении источников/приемников могут быть либо сразу прочитаны из заголовков трасс, либо импортированы из SPS-файлов или текстовых таблиц. В пакете также предусмотрены средства для интерактивного 2D/3D бинирования сейсмических данных, включая бинирование вдоль произвольного заданного пользователем траверса.

Для контроля присвоенной геометрии проводят сравнение теоретического и наблюдаемого годографа прямой волны для каждого физического наблюдения (Рис. 1). Их несовпадение говорит либо об ошибках в координатах, либо о неправильной коммутации каналов на станции.

Помимо контроля правильности геометрии, по временам прихода прямой волны также оценивается скорость распространения продольных волн в ВЧР, сравнение которой со скоростью, опреде-

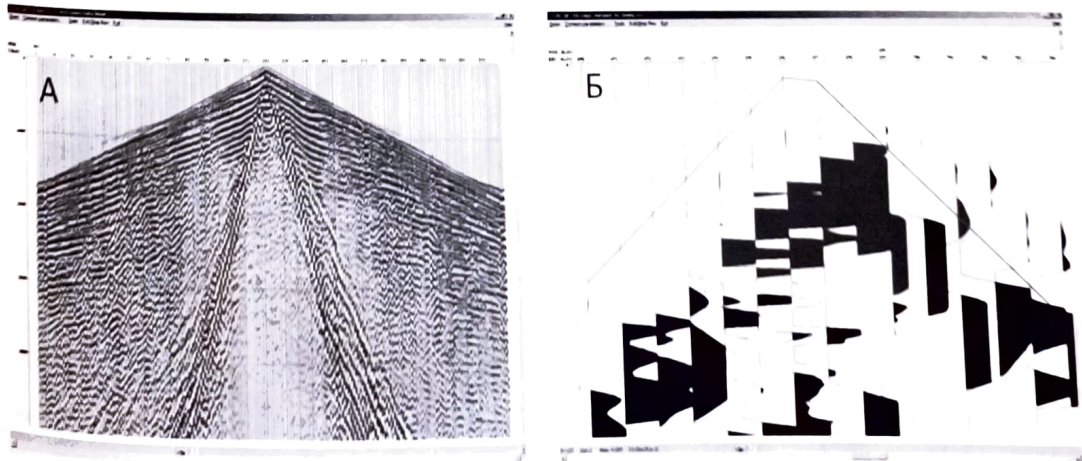


Рис. 1. Пример контроля геометрии. А – совпадение теоретического годографа (красная линия) с настоящими вступлениями прямой волны. Б – увеличенный фрагмент другой сейсмограммы, иллюстрирующий выявленную ошибку в коммутации каналов

ленной по измерениям t_0 , позволяет выявлять грубые нарушения технологии связанные с заложением заряда на неоптимальную глубину.

Критерии качества физического наблюдения.

На следующем этапе проводится анализ качества физических наблюдений. До недавнего времени этот этап осуществлялся по результатам повального вывода сейсмограмм, оценка качества каждого конкретного физического наблюдения проводилась на основе личного опыта супервайзера. В работе [1], например, предлагается оценивать качество физического наблюдения по трехбалльной шкале – оценка «отлично» ставится при «высоком техническом и методическом качестве полевых работ и высоком качестве регистрации при наличии прослеживаемых осей синфазности целевых отражений». Недостатки субъективного визуального оценивания понятны: невозможно стандартизовать требования к качеству полевого материала, исключить «человеческий фактор».

Современной альтернативой такому подходу к контролю качества сейсмических данных, является количественная оценка динамических характеристик волнового поля, зарегистрированного на каждом конкретном физическом наблюдении. При этом полученные параметры могут или использоваться при формировании некоторой обобщенной оценки качества сейсмической записи, или работать как необходимое условие для того, чтобы данное физическое наблюдение было принято в обработку.

Как правило, информативными являются следующие оценки.

1. Оценка спектрального состава целевых отражений. Аномалии спектрального состава, такие как слишком низкая центральная частота, могут свидетельствовать о нарушениях технологии или необходимости изменения условий возбуждения.

2. Оценка энергии или амплитуды отражений. При этом понятно, что для того, чтобы адекватно судить о качестве данных, необходимо получить такие оценки в разных частях записи, а также рассматривать их отношение друг к другу. Обычно отдельно определяются:

- уровень микросейсм, оценивается в окне до первых вступлений – слишком высокий уровень может свидетельствовать о нарушениях технологии при установке (групп) сейсмоприемников, а также при проведении сейсмических работ в неоптимальных погодных условиях и т.д;

- энергия в интервале записи, содержащей целевые отражения;

- энергия поверхностных волн или иных когерентных помех.

3. Оценка отношения сигнал/помеха, которая получается или из сопоставления энергии в различных участках записи, или при помощи подходов, основанных на вычислениях ФВК и АКФ сейсмических трасс.

В программе RadExPro Plus для определения перечисленных параметров записи разработан модуль Ensemble QC Compute (Рис. 2).

Как уже говорилось, определение динамических характеристик сейсмической записи для целей оценки качества конкретного физического наблюдения должно проводиться в нескольких окнах. Окна задаются в диалоге параметров модуля граничными значениями времен и удалений источник/приемник. Для одновременного расчета параметров в нескольких окнах в поток обработки ставятся несколько экземпляров

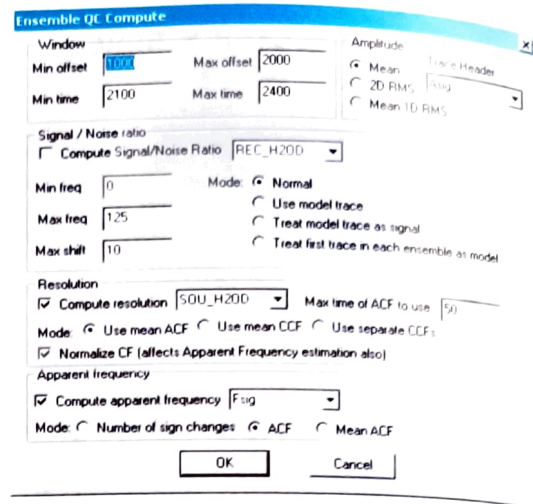


Рис. 2. Диалог задания параметров модуля Ensemble QC Compute

данного модуля. Пример расположения окон на сейсмограмме приведен на Рис. 3.

Одно окно (01) располагается в области, где регистрируются только микросейсмы или иные шумы, связанные со сторонними (нежелательными) источниками. Окно 03 используется для получения характеристик полезного сигнала и располагается в области целевых отражений (при этом трассы, на которых оцениваются характеристики микросейсм и целевых отражений разумно выбирать одни и те же). Окно 02 предназначено, для оценки характеристик когерентных помех, например, поверхностных волн. В каждом из окон модуль Ensemble QC Compute позволяет оценивать следующие параметры: среднюю амплитуду или энергию, среднюю частоту в спектре, отношение сигнал/помеха, оценка разрешающей способности. Отдельно оценивается скорость в ВЧР по прямой волне.

Перед началом работ, заказчиком фиксируются пороговые значения характеристик записи: физические наблюдения, с худшими показателями

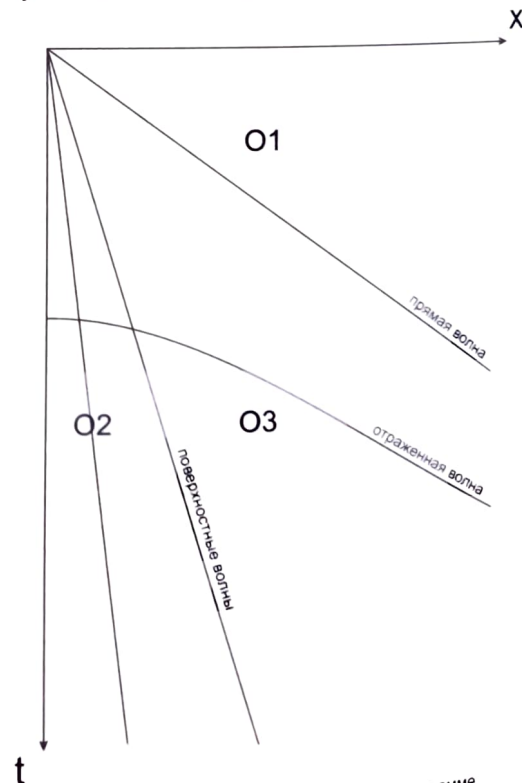


Рис. 3. Пример расположения окон на сейсмограмме

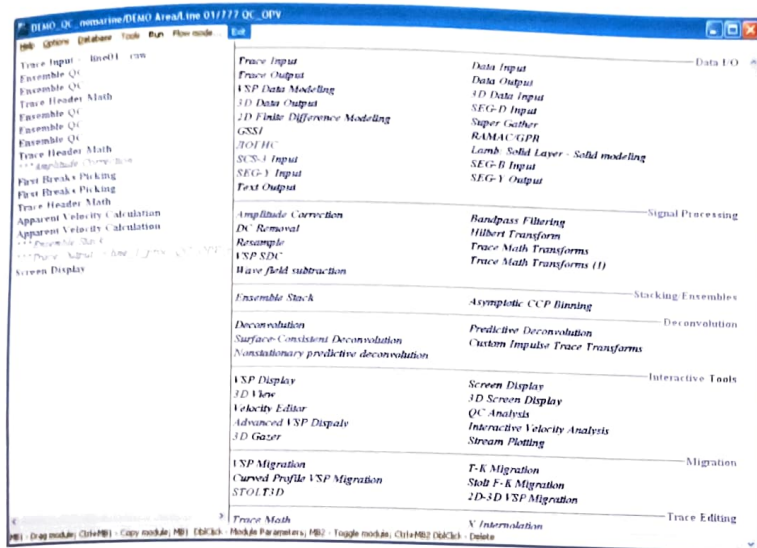


Рис. 4. Редактор потоков RadExPro Plus

ми отбраковываются. Опыт применения такого подхода во время полевых работ в Западной Сибири показал, что основными критериями, по которым физическое наблюдение может быть отбраковано, являются:

- низкая центральная частота сигнала;
- высокая амплитуда микросейсм;
- низкое отношение амплитуды сигнала к амплитуде микросейсм;
- большая разница между скоростью в ВЧР, определенной по вертикальному времени и по географу прямой волны.

Очевидно, применяя модуль к по-разному построенным ансамблям трасс, можно получить характеристики, как физических наблюдений, так и сейсмограмм ОПП. В программе предусмотрено удобное средство пересортировки данных при вводе их в поток обработки.

Для анализа пространственного распределения атрибутов качества сейсмических данных и изучения влияния поверхностных условий (орогидрографии) на качество полевых данных, полученные оценки можно вынести на топографическую основу, привязав к координатам источников или приемников. Для этих целей в пакете RadExPro Plus предусмотрено специальное средство Map. Кроме того, экспортировав

полученные атрибуты в текстовый файл, можно воспользоваться внешними средствами, например, Golden Software Surfer, для вынесения их на топографическую основу.

Предварительная обработка сейсмических данных.

Принятые данные на этапе полевых наблюдений могут подвергаться предварительной обработке — отбраковке сбойных трасс, базовой обработке сигнала, введению статических поправок (ВЧ и за рельеф), скоростному анализу, и получению предварительных суммарных разрезов или кубов.

Для этих целей в пакете RadExPro Plus предусмотрен достаточный набор (порядка ста) модулей математической обработки, средства для построения потоков обработки и интерактивного анализа данных.

На Рис. 4 показан редактор потоков пакета RadExPro Plus.

Интерактивные инструменты для анализа данных включают в себя средство визуализации сейсмических данных Screen Display, интерактивный скоростной анализ, Рис. 5 (Interactive Velocity Analysis), интерактивный горизонтальный скоростной анализ (HVA) и многое другое.

Полученные в результате предварительной полевой обработки библиотеки отбракованных трасс, результаты скоростного анализа, предварительные суммы передаются при сдаче полевых материалов заказчику и используются в дальнейшем при обработке данных.

Выводы

В статье приведен обзор возможностей программного комплекса RadExPro Plus при проведении полевой обработки и контроля качества получаемых сейсмических данных. Программа обладает гибкой системой ввода данных, достаточным набором процедур обработки для реализации стандартного полевого графа, а также оригинальными средствами для расчета

и анализа атрибутов качества сейсмических данных. Настоящий программный продукт ориентирован на использование как супервайзерами, непосредственно принимающими участие в полевых работах, так и специалистами, отвечающими за приемку полевых материалов со стороны заказчика. В настоящее время программа прошла успешное опробование при сейсморазведочных работах в различных районах и эксплуатируется рядом сервисных и нефтяных компаний.

Литература

1. Потапов О.А. Технология полевых сейсморазведочных работ. — М.: Недра, 1987. — 309 с.

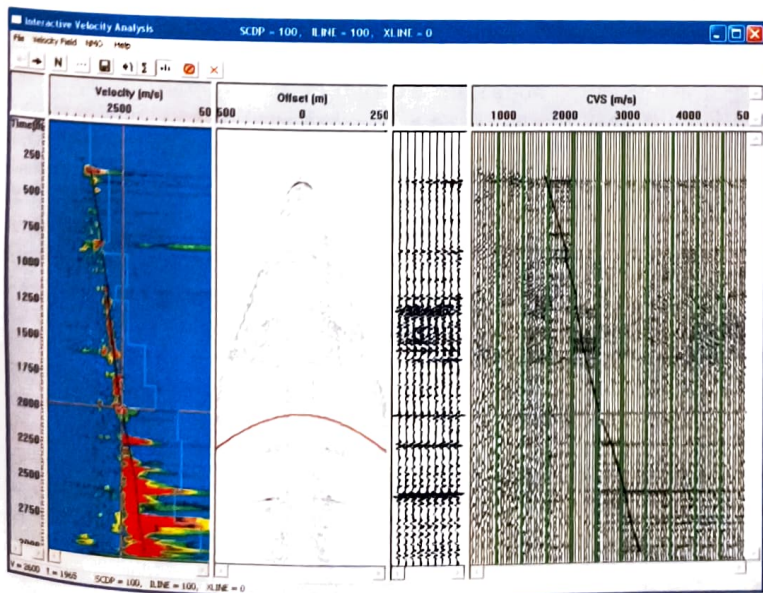


Рис. 5. Интерактивный скоростной анализ

Результаты работ по обработке и интерпретации сейсморазведки 3D-3C в районе скважины Камовская -1

В.А. Пухарев, А.А. Беженцев, Ю.Г. Ухалов, ООО «Геология резервуара», В.А. Детков, ОАО «Енисейгеофизика»
В.Г. Худорожков, А.А. Дека, ООО «Красноярсгаздобыча»

В последнее время повышенный интерес представляет практическое использование многоволновой сейсморазведки в сложнопостроенных районах. В данной статье рассматриваются результаты интерпретации трехкомпонентных исследований в районе скважины Камовская-1 в пределах Оморинского лицензионного участка Красноярского края.

Полевые работы по объекту проводились ОАО «Енисейгеофизика» с применением регистрирующей аппаратуры SERCEL-408 UL и трехкомпонентными датчиками DSU-3. В качестве источника возбуждения использовались электромагнитные импульсные источники «Енисей СЭМ-100», серийно выпускаемых ОАО «Енисейгеофизика». Обработка и интерпретация полученных материалов 3D-3C были проведены в ООО «Геология резервуара» в городе Тюмени.

Основными нефтегазоносными комплексами в районе работ являются рифейские и вендские отложения. Тип ловушек УВ самый разнообразный: структурного и неструктурного типов.

Скважина Камовская-1 расположена в центре площади исследований (Рис.1). В скважине проведено трехкомпонентное ВСП, а также акустический, нейтронный и боковой каротажи по всему стволу до 2426,2 м, и детальные каротажные исследования в целевом интервале от 2057,4 м до 2426,2 м.

В результате проведенной обработки был получен временные и глубинные кубы сейсмической записи по Z и X компонентам в интервале от 0 до 4,0 с (Рис. 3).

Непосредственно в скважине 1 были проведены трехкомпонентные исследования СК и ВСП, которые позволили получить скорости для продольных, поперечных и обменных волн. Для сейсмогеологической привязки использовались вертикальные годографы PP и PS волн (Рис. 2). Помимо традиционной привязки по отраженным продольным волнам была выполнена стратиграфическая привязка по отраженным обменным волнам типа PS.

Была выполнена привязка сейсмических данных к геологическому разрезу. Исходными данными для построения синтетических сейсмограмм являются кривые изменения скорости и плотности пород в разрезе по данным каротажа.

Комплексное использование данных сейсморазведки 3D-3C и скважинных данных, в том числе трехкомпонентного ВСП, позволило довольно точно осуществить привязку сейсмических отражений к геологическим границам, в целевом интервале по продольным и обменным волнам. Затем осуществлялась корреляция

основных отражающих горизонтов в рифейских, вендских и кембрийских отложениях по продольным и поперечным волнам.

Следует отметить, что идентификация даже устойчивых отражений по Z и X компонентам практически невозможна без скважинной информации. Этот факт наглядно демонстрируют разрезы амплитудных и фазовых характеристик в районе скважины (Рис. 6-7). Разрезы X-компоненты гораздо сложнее для корреляции и виду не выраженности и не выдержанности по амплитуде и частоте отдельных отражений.

Аналогичная картина отмечается по разрезам импедансов для Z и X компонентам.

Учитывая вышесказанное, можно еще раз подчеркнуть, что выделение и прослеживание ОВ по X компоненте находится в жесткой зависимости от результатов привязки и данных скоростей.

По прослеженным горизонтам R, B, V1 и V2 рассчитывались амплитуды, частоты, фазовые характеристики, импедансы в окне 50 мс. В результате были построены карты амплитуд, фазовой характеристики и импедансов для анализа и сравнения по Z и X компонентам, чтобы оценить преимущества трехкомпонентных сейсмических наблюдений.

Анализируя и сравнивая результаты по Z и X компонентам по картам изохрон для всех прослеженных горизонтов можно отметить, что диапазон изменения времен и детальность карт, построенных по разрезам X-компоненты, выше. Они имеют более детальный или дифференцированный вид относительно карт, полученных по Z-компоненте (Рис. 8-9).

Например, в продуктивном интервале V2 R (Рис. 9), диапазон изменения временных толщин от 15 до 25 мс по Z-компоненте, тогда как по X-компоненте — от 15 мс до 36 мс. Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение трехкомпонентных наблюдений позволяет картировать маломощные объекты, а также повышает детальность карт и точность структурных построений. Полученная аномалия на карте соотношения временных интервалов Z- и X-компонент для целевого интервала характеризует положение залежи УВ.

Была выполнена петрофизическая интерпретация по скважине Камовская-1 и расчет скоростных параметров по методам Shears и Biot-Gassman. Для анализа использовались следующие каротажные кривые ГИС: Aki, DS-inch, GGKP, GK, NGK, RPO. Расчет глинистости проводился по методу Акустического Плотностного кроссплота, расчет пористости по методу Плотностного-Нейтронного кроссплота, расчет водонасыщенности по методу Dual Water. Полученные кривые использова-

Результаты работ по обработке и интерпретации сейсмозвездки 3D-3C в районе скважины Камовская -1

В.А. Пухарев, А.А. Беженцев, Ю.Г. Ухалов, ООО «Геология резервуара», В.А. Детков, ОАО «Енисейгеофизика»,
В.Г. Худорожков, А.А. Дека, ООО «Красноярскгаздобыча»

В последнее время повышенный интерес представляет практическое использование многоводной сейсмозвездки в сложнопостроенных районах. В данной статье рассматриваются результаты интерпретации трехкомпонентных исследований в районе скважины Камовская -1 в пределах Оморинского лицензионного участка Красноярского края.

Полевые работы по объекту проводились ОАО «Енисейгеофизика» с применением регистрирующей аппаратуры SLRCEL-408 UL и трехкомпонентными датчиками DSU-3. В качестве источника возбуждения использовались электромагнитные импульсные источники «Енисей СЭМ-100», серийно выпускаемых ОАО «Енисейгеофизика». Обработка и интерпретация полученных материалов 3D-3C были проведены в ООО «Геология резервуара» в городе Тюмени.

Основными нефтегазоносными комплексами в районе работ являются рифейские и вендские отложения. Тип ловушек УВ самый разнообразный: структурного и неструктурного типов.

Скважина Камовская-1 расположена в центре площади исследований (Рис.1). В скважине проведено трехкомпонентное ВСП, а также акустический, нейтронный и боковой каротажи по всему стволу до 2426,2 м, и детальные каротажные исследования в целевом интервале от 2057,4 м до 2426,2 м.

В результате проведенной обработки был получен временные и глубинные кубы сейсмической записи по Z и X компонентам в интервале от 0 до 4,0 с (Рис. 3).

Непосредственно в скважине 1 были проведены трехкомпонентные исследования СК и ВСП, которые позволили получить скорости для продольных, поперечных и обменных волн. Для сейсмогеологической привязки использовались вертикальные годографы PP и PS волн (Рис. 2). Помимо традиционной привязки по отраженным продольным волнам была выполнена стратиграфическая привязка по отраженным обменным волнам типа PS.

Была выполнена привязка сейсмических данных к геологическому разрезу. Исходными данными для построения синтетических сейсмограмм являются кривые изменения скорости и плотности пород в разрезе по данным каротажа.

Комплексное использование данных сейсмозвездки 3D-3C и скважинных данных, в том числе трехкомпонентного ВСП, позволило довольно точно осуществить привязку сейсмических отражений к геологическим границам, в целевом интервале по продольным и обменным волнам. Затем осуществлялась корреляция

основных отражающих горизонтов в рифейских, вендских и кембрийских отложениях по продольным и поперечным волнам.

Следует отметить, что идентификация даже устойчивых отражений по Z и X компонентам практически невозможна без скважинной информации. Этот факт наглядно демонстрируют разрезы амплитудных и фазовых характеристик в районе скважины (Рис. 6-7). Разрезы X-компоненты гораздо сложнее для корреляции в виду не выраженности и не выдержанности по амплитуде и частоте отдельных отражений.

Аналогичная картина отмечается по разрезам импедансов для Z и X компонентам.

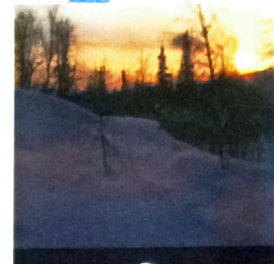
Учитывая вышесказанное, можно еще раз подчеркнуть, что выделение и прослеживание ОВ по X компоненте находится в жесткой зависимости от результатов привязки и данных скоростей.

По прослеженным горизонтам R, B, V1 и V2 рассчитывались амплитуды, частоты, фазовые характеристики, импедансы в окне 50 мс. В результате были построены карты амплитуд, фазовой характеристики и импедансов для анализа и сравнения по Z и X компонентам, чтобы оценить преимущества трехкомпонентных сейсмических наблюдений.

Анализируя и сравнивая результаты по Z и X-компонентам по картам изохрон для всех прослеженных горизонтов можно отметить, что диапазон изменения времен и детальность карт, построенных по разрезам X-компоненты, выше. Они имеют более детальный или дифференцированный вид относительно карт, полученных по Z-компоненте (Рис. 8-9).

Например, в продуктивном интервале V2-R (Рис. 9), диапазон изменения временных толщин от 15 до 25 мс по Z-компоненте, тогда как по X-компоненте — от 15 мс до 36 мс. Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение трехкомпонентных наблюдений позволяет картировать маломощные объекты, а также повышает детальность карт и точность структурных построений. Полученная аномалия на карте соотношения временных интервалов Z- и X-компонент для целевого интервала характеризует положение залежи УВ.

Была выполнена петрофизическая интерпретация по скважине Камовская-1 и расчет скоростных параметров по методам Shears и Biot-Gassman. Для анализа использовались следующие каротажные кривые ГИС: Aki, DS-inch, GGKP, GK, NGK, RPO. Расчет глинистости проводился по методу Акустического-Плотностного кроссплота, расчет пористости по методу Плотностного-Нейтронного кроссплота, расчет водонасыщенности по методу Dual Water. Полученные кривые использовались



ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Изогипсы абсолютных отметок кровли предвендской эрозионной поверхности, м.
- Линии разломов.
- Выход на довендскую эрозионную поверхность отражающего горизонта R_1 .
- Границы лицензионных участков.
- Глубокие скважины (в числителе - аббревиатура и порядковый номер, в знаменателе - абсолютные отметки кровли предвендской эрозионной поверхности, м):
1 - находящаяся в бурении;
2 - рекомендуемые поисковые по результатам поисковых сейсморазведочных работ.

Сейсмические профили МОГТ (ПК в метрах)

- Оморинской с/п № 33/2006-2008.
- Оморинской с/п № 10/2006-2007.
- Оморинской с/п № 29/2005-2007.
- профили МВС Оморинской с/п № 29/2005-2007.
- Оморинской с/п № 10/2005-2006.
- архивные, используемые в интерпретации;
- прошлых лет.



Рис. 1. Схема геолого-геофизической изученности

лись в качестве входных данных для расчёта скоростных характеристик по методу Shears и Biot-Gassman.

Результатами анализа **Shears** являются рассчитанные V_s , отношение V_p/V_s , коэффициент Пуассона, коэффициент Бьета и реконструированные акустическая кривая и кривая плотности. Приложение **Анализ Бьет-Гассмана** используется для определения свойств флюидонасыщенной породы, исходя из свойств сухой, насыщенной воздухом породы, используя расчеты с замещением флюида. Выходными параметрами анализа Бьет-Гассмана являются V_p , V_s , рассчитанная плотность, коэффициент Пуассона и отношение V_p/V_s . Анализ кроссплота V_p - V_p/V_s на Рис.4 показывает, что имеется дифференциация по этим параметрам для нефтенасыщенных коллекторов, что также подтверждается на диаграмме каротажа. В первой дорожке на Рис.5 показана фациальная кривая по результатам кластерного анализа, в пятой дорожке – кривые V_p и V_p/V_s .

Уменьшение скорости продольных и поперечных волн в пористом интервале вызывает увеличение соотношения V_p/V_s . Резкое уменьшение кривой V_p/V_s внутри интервала нефтенасыщенности вызвано уменьшением скорости V_p , тогда как скорость поперечной волны остаётся постоянной.

По геологическому строению региона, разрез на исследуемой площади подразделяется на сеймостратиграфические комплексы:

1. К первому комплексу относятся кристаллические и метаморфические образования протерозоя и архея, которые не вскрыты скважиной Камовская-1.
2. Ко второму сеймостратиграфическому комплексу относятся отложения рифея. Эти отложения вскрыты скважиной Камовская-1 и расположенными на соседних площадях скважинами Выдрешевская-6 и Юрубченской-114. В рифейских отложениях перспективные

объекты на данных территориях связаны как с корой выветривания, так и с осадочными породами. Из рифея на соседних площадях были получены промышленные притоки газа и газо-конденсата. Выполнение сейсмической инверсии с получением кубов AVO-атрибутов, (R_0 -амплитуды на нулевом удалении, градиента, флюидного фактора) не представлялось возможным по объективным причинам, из-за малой длины годографа (1200 м). Для изучения целевого интервала венд-риффея, залегающего на глубине более 2000 метров, необходимой и достаточной длиной годографа при проведении

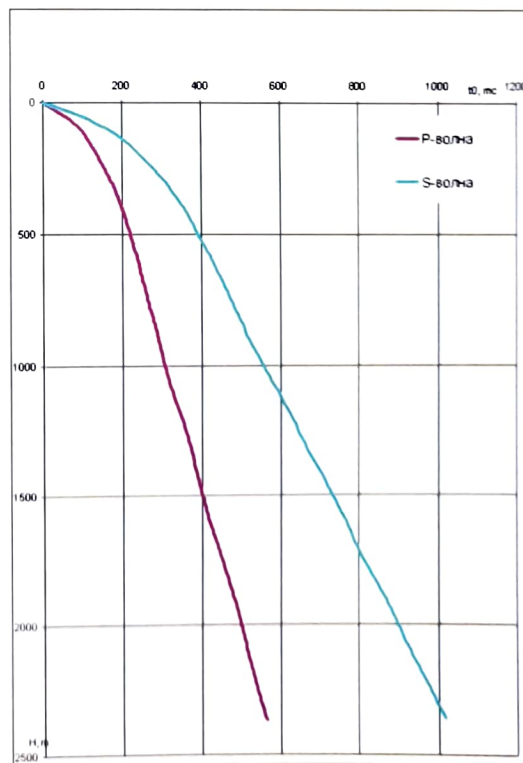


Рис. 2. Вертикальные годографы по продольной (P) и поперечной (S) волнам. Скважина Камовская-1

Z-компонента (PP-волны)

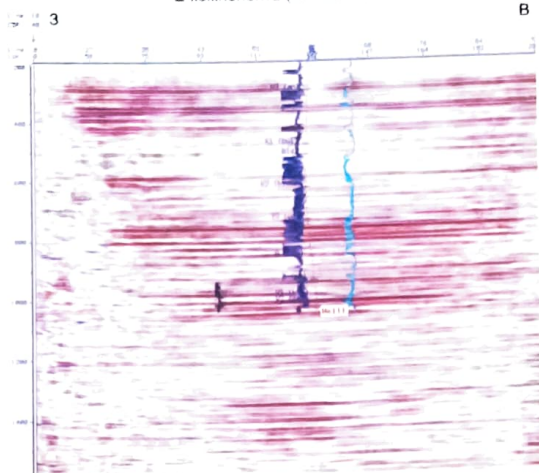


Рис. 3. Волновая картина. RandomLine 1

полевых работ является расстояние равное в 2-2.5 глубины

3. Третий комплекс – это вендские отложе-

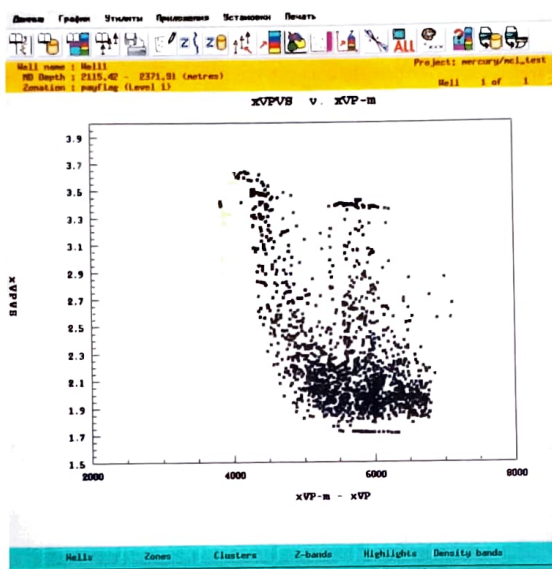


Рис. 4. Кроссплот Vp-Vp/Vs

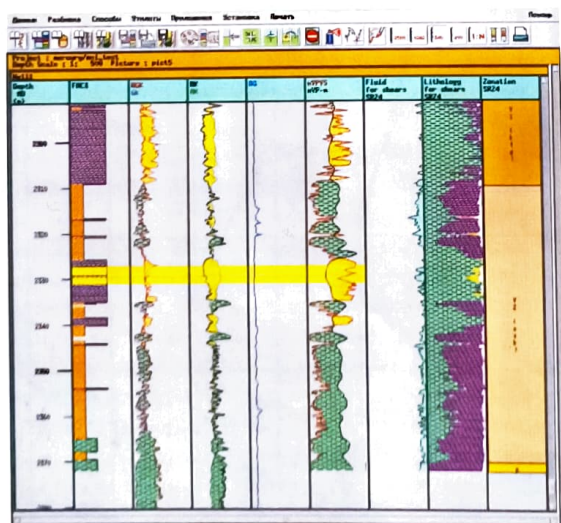
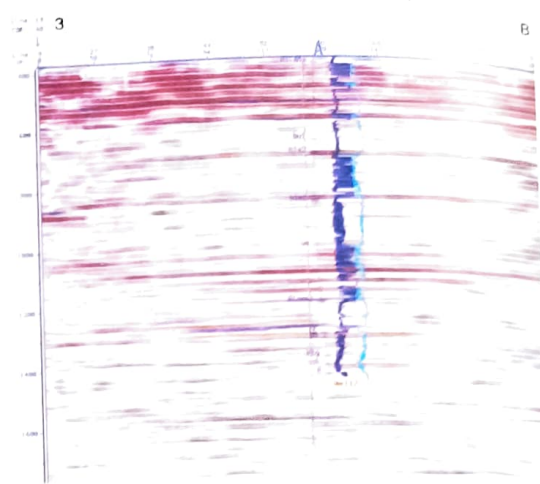


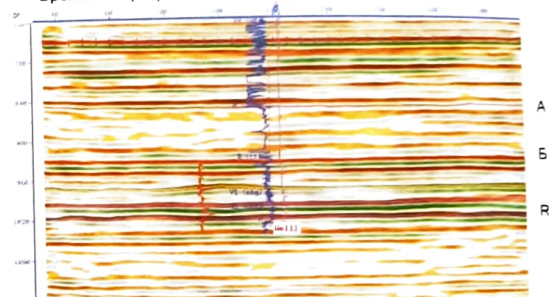
Рис. 5. Диаграмма каротажа с подсветкой кроссплота ния. По результатам испытаний скважины

X-компонента (PS-волны)

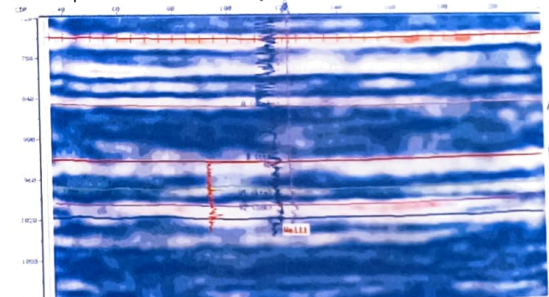


Камовская-1 на данном участке продуктивным пластом является пласт Б-VIII' (залегающий в кровле оскобинской свиты и относящийся по возрасту образования к венду), где на 6 мм штуцере был получен приток в 57,6 м³ нефти, на 10 мм штуцере более 100 м³. К кровле оскобинской свиты приурочен отражающий горизонт V₂. Оскобинская свита по возрасту образования относится к вендским отложениям. Несмотря на

Временной разрез InLine 60



Разрез мгновенных амплитуд



Разрез мгновенных фаз

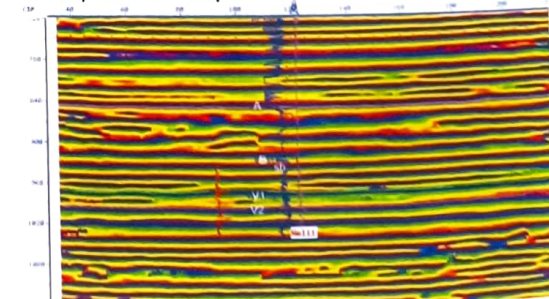


Рис. 6. Разрезы динамических характеристик в районе скв 1 (Z-компонента, тип волн PP)

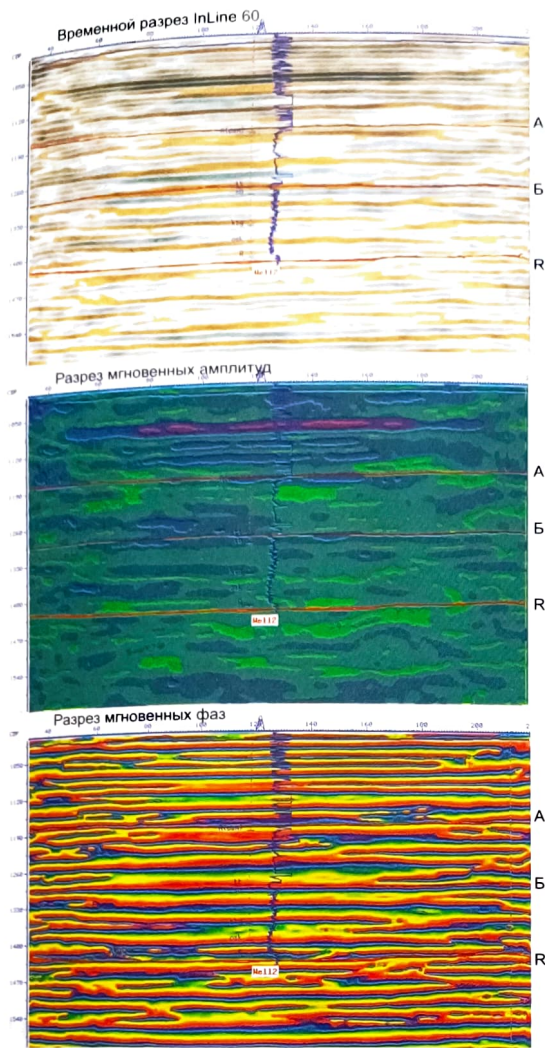


Рис. 7. Разрезы динамических характеристик в районе скв.1 (X-компонента, тип волн PS)

ны, выраженная в локальном увеличении временной мощности между отражающими горизонтами V_1 и V_2 . Эта скоростная аномалия может быть связана с наличием флюида. Этот объект также является перспективным с точки зрения поиска углеводородов. По разрезам и картам импедансов на отражающий горизонт V_2 в районе скважины, наблюдаются, выраженные аномалии в районе оскобинской свиты.

На глубинных разрезах по X и Z компоненте эта аномалия проявляется в виде объекта с аномальными динамическими характеристиками. Перспективный объект выделяется и на горизонтальных срезах временных кубов по X- и Z-компоненте (рис.10-11), причем зона распространения объекта упирается в границе участка 3D-3С. В результате комплексного анализа всех данных по вендским отложениям, можно предположить, что нефтеперспективный объект в вендских отложениях выходит за границы исследуемого участка. Для выделения площади распространения нефтеперспективной зоны и оконтуривание залежи, необходимо на данном участке ставить сейсмические работы 3D-3С значительные по площади – от 100 км² и более.

4. Четвертый сеймостратиграфический комплекс – отложения нижнего кембрия. Он относится к крупному циклу осадконакопления широко развитого на Сибирской платформе. В этом комплексе проведена корреляция отражающего горизонта Б, отождествляемого с кровлей тэтэрской свиты, и отражающего горизонта А, образующегося вблизи кровли осинского горизонта.

5. Пятый комплекс – это верхне- и средне-кембрийские отложения. Рассмотрение этого комплекса геологическим заданием не предусматривалось.

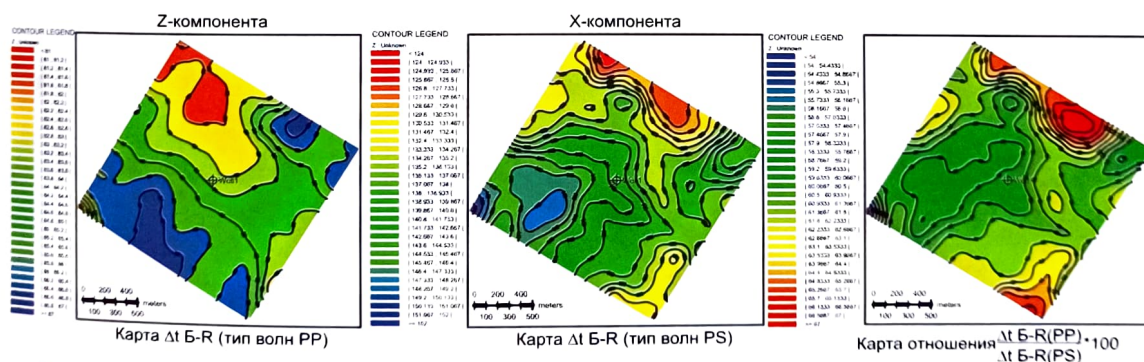


Рис. 8. Карты временных интервалов между ОБ B-R и их соотношение

то, что основным объектом в данном регионе являются пласты, относящиеся к рифейскому возрасту, вендские отложения достаточно перспективны на поиск углеводородов, особенно в зонах выклинивания по борту Камовского свода, где возможны залежи углеводородов неструктурного типа. С учетом испытания скважины Камовская-1, можно говорить о том, что вендские отложения очень перспективны и на данном участке и являются поисковым объектом.

Кроме того, выделяется сейсмическая особенность волновой картины вблизи скважи-

В заключении хотелось бы отметить, что, несмотря на ограниченность площади, где проведены сейсмические исследования 3D-3С, а также наличие всего одной скважины – получены положительные результаты. Проведена обработка материалов 3D-3С, выполнена увязка разреза по всем типам волн и скважинным данным. Выделен перспективный объект в вендских отложениях. Результаты, полученные в данной работе, показывают, что применение технологии 3D-3С является мощным сейсмическим инструментом для изучения геологического строения и поиска углеводородов.

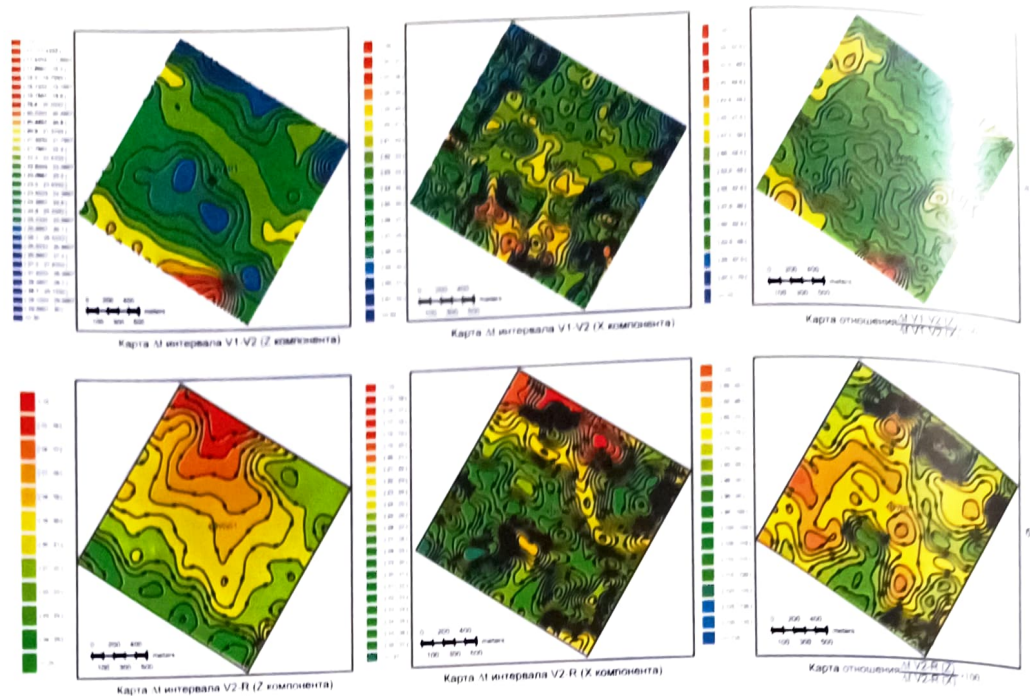


Рис. 9. Карты временных мощностей между ОБ: а) V1-V2 б) V2-R и их соотношение

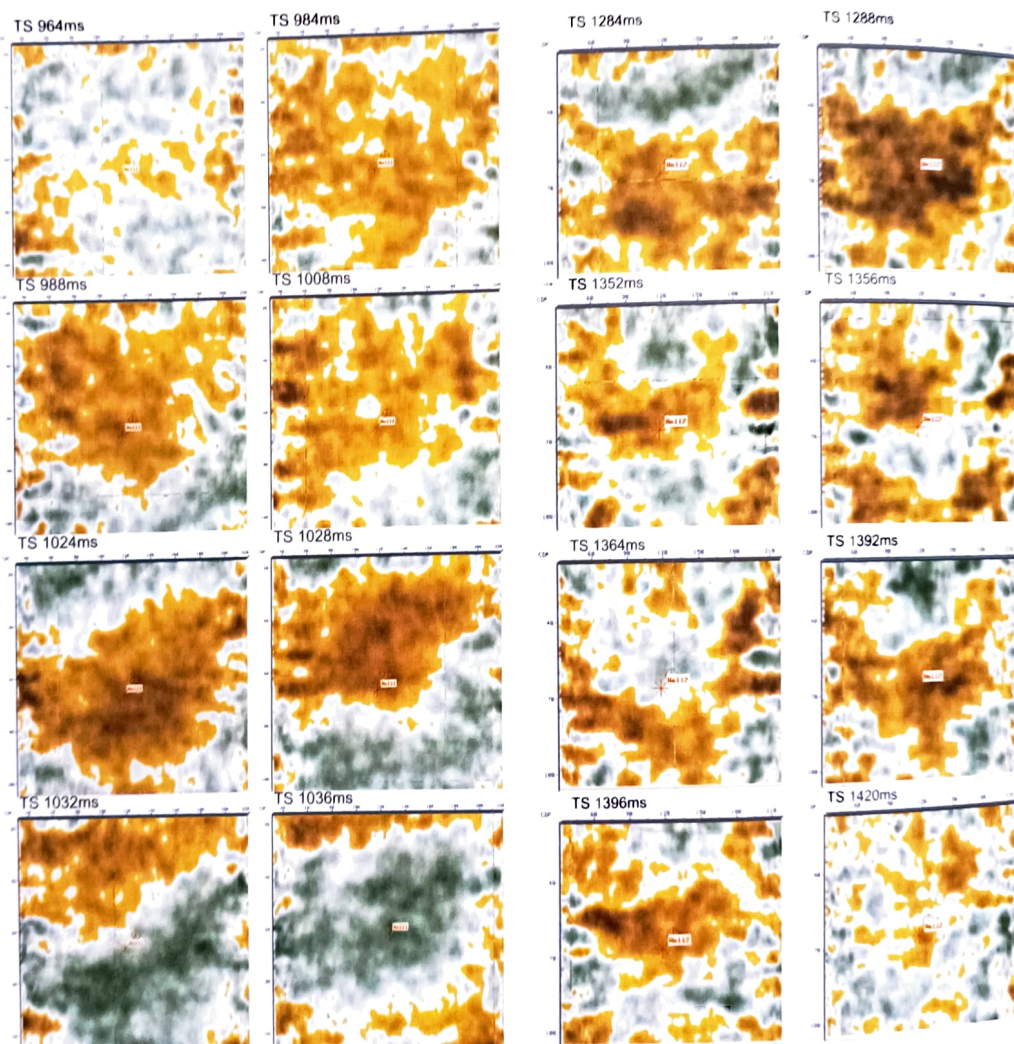


Рис. 10. Горизонтальные срезы Z-компонента

Рис. 11. Горизонтальные срезы X-компонента

Возможности прогнозирования залежей бишофита по материалам сейсморазведки

А.В. Иванкин, А.М. Голиченко, Г.Н. Андреев, ЗАОр "НП "Запприкаспийгеофизика", г. Волгоград.
Ф. Вальххофф, В.А. Ермаков, ЗАО «Бишофит-Авангард», г. Волгоград

Калийно-магниевые соли – ценное минеральное сырье, применяемое в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и других отраслях народного хозяйства. Бишофит – шестиводный кристаллогидрат хлорида магния, может стать одним из богатейших сырьевых источников магния, брома, молибдена, лития и других редких химических элементов. Этим обусловлена актуальность вопроса о методах поиска и увеличения запасов бишофита.

В Волгоградской области на Городищенской, Наримановской, Сарпинско-Тингутинской, Светловской и др. площадях при бурении глубоких скважин выявлены залежи бишофита. Авторами статьи приведены исследования по детальному расчленению соленосной толщи в межскважинном пространстве на основе материалов сейсморазведки. С этой целью осуществлен анализ волновых сейсмических картин в сопоставлении с данными ГИС на Наримановской и Сарпинско-Тингутинской площадях.

В тектоническом отношении исследуемый участок относится к южной части Приволжской моноклинали и ограничен с востока бортовой зоной Прикаспийской впадины. Соленосная толща сложена хомогенными отложениями кунгурского яруса нижней перми.

В пределах Приволжской моноклинали соленосная толща имеет пластовое залегание и явно выраженную ритмичность осадконакопления. Пласты разнородных хомогенных отложений хорошо выделяются на диаграммах и уверенно коррелируются по площади ГИС [1]. В разрезе хомогенных отложений снизу вверх выделяются следующие ритмопачки [2-3]: I-Волгоградская, II-Балыклейская, III-Карпеневская, IV-Приволжская, V-Луговская, VI-Погожская, VII-Антиповская, VIII-Пигаревская, IX-Долинная, X-Ерусландская.

Погожская и Антиповская ритмопачки являются наиболее перспективными для поиска бишофита. Подошва Погожской ритмопачки отождествляется с двойным пластом ангидрита небольшой мощности, над которым залегает толща каменной соли. В кровельной части выделяется карналлито-бишофитовый пласт, перекрытый пропластком галита. Антиповская ритмопачка в основании имеет регионально явно выраженный пласт ангидрита, над которым залегает каменная соль. В кровельной части ритмопачки присутствует карналлито-бишофитовый пласт, который перекрывает чередующимися пропластками галита и карналлита.

На диаграммах ГИС, Рис. 1 карналлит уверенно опознается по высоким значениям ГК, АК, диаметра скважины и по низким значениям НГК, сопротивление. Пласты бишофита подстилаются и перекрываются слоями карналлита, обуславливая характерную запись на диаграммах ГИС в интервале залежи бишофита.

Уменьшение значений НГК до минимума, на диаграммах ГК бишофит имеет минимальные

значения, а карналлит высокие показатели, которые образуют характерную форму кривой в виде «зачаков» на фоне относительно пониженных значений НГК.

Сопротивление бишофитосодержащего интервала разреда является минимальным.

Изменение диаметра скважины и акустическая каротажная максимальная, что обусловлено соответствием интенсивным разрывом порожистых пород (бишофит и карналлит) и понижением скорости распространения продольных волн в калийно-магниевых солях.

Как правило, в подошве ритмопачек залегают ангидрит доломитовые породы, отличающиеся физическим свойствам от основной массы каменной соли, что обуславливает наличие в соленосной толще опорных сейсмических отражающих границ [4,5].

В целом, ритмопачки соленосной толщи на корреляционных схемах ГИС и сейсмических отражения на волновых картинах вдоль соответствующих линий хорошо идентифицируются, то есть, принципиально возможно с высокой степенью достоверности детально расчленить разрез хомогенных отложений и прогнозировать структурные особенности ритмопачек по данным сейсморазведки (рис. 2).

На профиле 10.95.01, отработанному по методике высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) [6,7] и проходящему через скважины 10, 14, 7, 200, 2, 15-Наримановские (Табл. 1), где были вскрыты пласты калийно-магниевых солей.

Карналлито-бишофитовому пласту Антиповской ритмопачки на волновых картинах соответствуют отрицательные экстремумы сейсмического сигнала над отражением «Р1кг(VII)» в диапазоне времен 1,32-1,34с (рис. 2). В целом, пласт калийно-магниевых солей Антиповской ритмопачки имеет по площади сопоставимую толщину и в его пределах бишофит замещается карналлитом без заметного увеличения общей мощности залежи. Кроме того, скоростные и плотностные характеристики карналлита и бишофита различаются незначительно, поэтому ярко выраженных аномалий сейсмической записи не отмечается, за исключением небольшого увеличения амплитуды сигнала в пределах залегания бишофита (рис. 3).

Карналлито-бишофитовому пласту Погожской ритмопачки соответствует волновая картина под отражающим горизонтом «Р1кг(VII)» в диапазоне времен 1,36-1,42 с. Толщина пласта калийно-магниевых солей Погожской ритмопачки изменяется, увеличиваясь, в основном, за счет бишофита, от 10 до 70м, что уже сопоставимо с длиной сейсмической волны в соленосном разрезе (50-80м), поэтому залежь бишофита (ски. 7, 200, 2 Наримановские) отображается на сейсмическом разрезе в виде аномалии сейсмической записи с образованием в подошве пласта дополнительной оси синфазности в форме локального прогиба и с ярко выраженным увеличением амплитуды сигнала эффект «яркого пятна» (рис. 3).

Кроме того, граница «Р1кг(VI)», характеризующая строение Луговской ритмопачки, залегающей ниже по разрезу, образует синклиналичную форму, что указывает на формирование залежи бишофита в условиях палеопрогиба.

Аналогичные выводы были получены при анализе материалов на профиле 202.89.02, отработанном

Таблица 1 Мощности карналлито-бишофитовых пластов Наримановской площади

№ скважины	Мощность карналлито - бишофитового пласта Антиповской ритмопачки (м)		Мощность карналлито - бишофитового пласта Погожской ритмопачки (м)	
	общая	в т.ч. бишофита	общая	в т.ч. бишофита
10-Нар.	25	-	7	-
14-Нар.	25	-	24	-
7-Нар.	30	21	62	35,5
200-Нар.	32	20	70	64
2-Нар.	32	20	50	42
15-Нар.	36	22	18	6

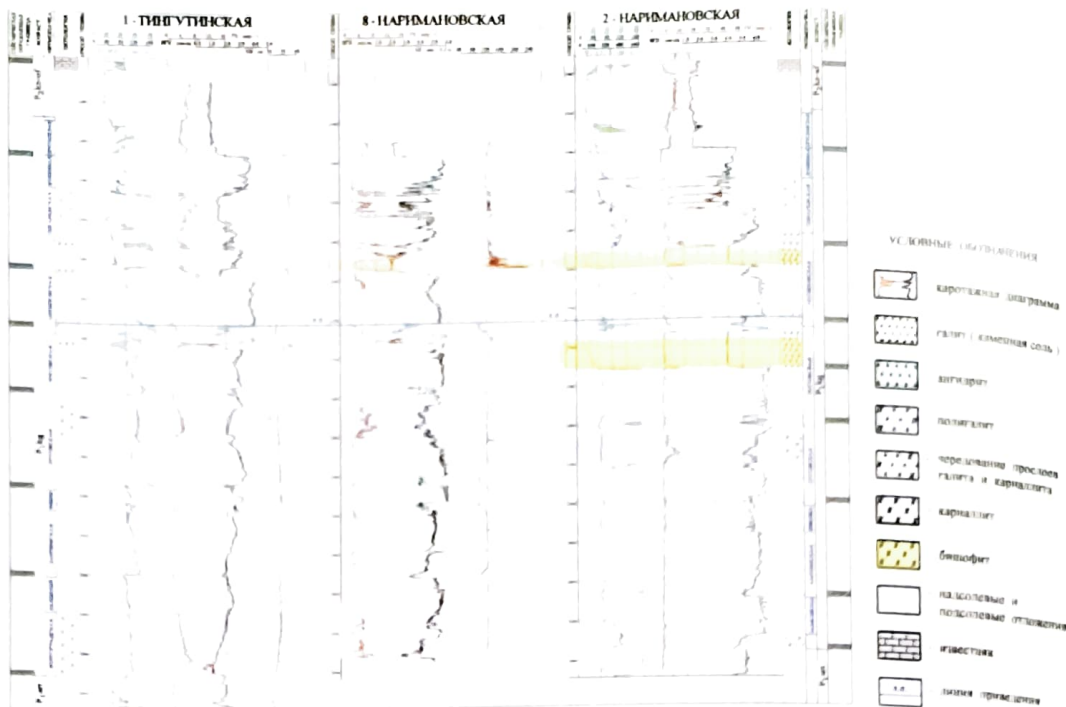


Рис. 1. Выделение разнородных солей по диаграммам ГИС

с использованием шпуровых зарядов и проходящем через скважины 30, 28, 27-Сарпинско-Тингутинские и 4, 14, 3 - Тингутинские (рис. 4). По данным геофизи-

ческих исследований в 28-Сарпинско-Тингутинской и 4-Тингутинской скважинах выделяются бишофитосодержащие пласты в Антиповской и Пожежской ритмопачках:

№ скважины	Мощность карналлитобшофитового пласта Антиповской ритмопачки (м)		Мощность карналлитобшофитового пласта Пожежской ритмопачки (м)	
	общая	в т.ч. бишофита	общая	в т.ч. бишофита
28-Сар-Тин.	36	20	42	24
4-Тин.	48	30	42	24

Вероятно, залежь бишофита Антиповской ритмопачки обусловлена сейсмической аномалией по амплитуде сигнала, которая выделяется в районе пикетов 131-151 на уровне времен 1,31-1,38с (рис. 4).

Бишофитосодержащий пласт Пожежской ритмопачки отождествляется с сейсмической аномалией по

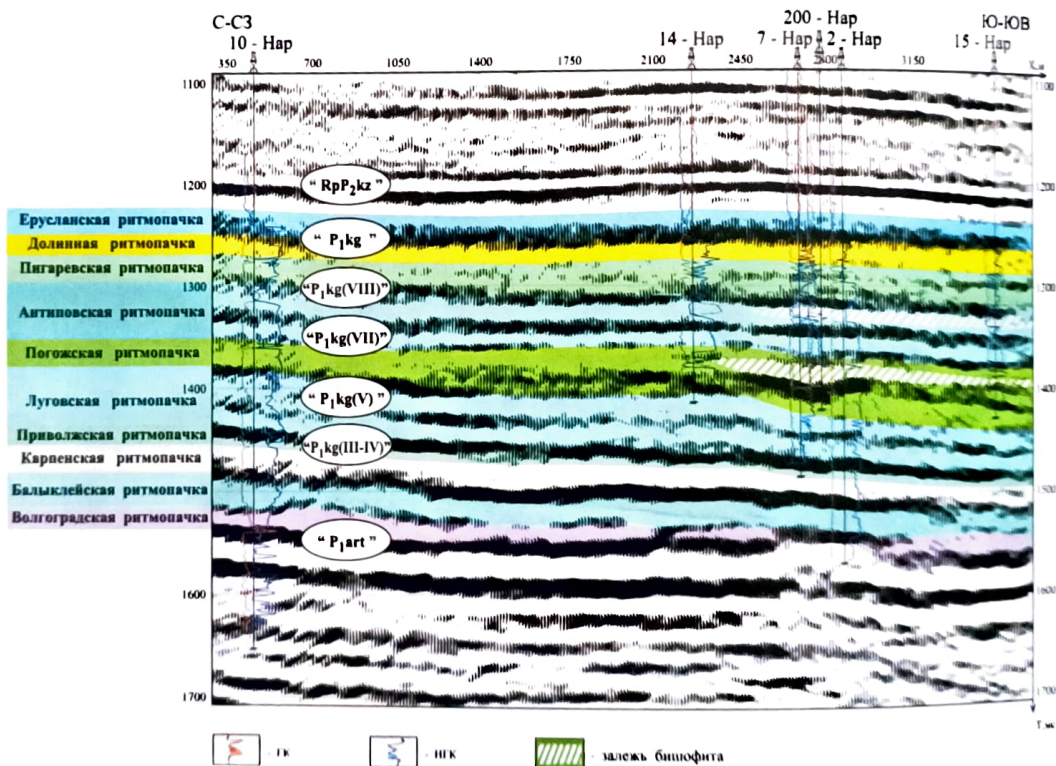


Рис. 2. Фрагмент временного мигрированного разреза по профилю 10.95.01 (ВРС), характеризующий соленосную толщу

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

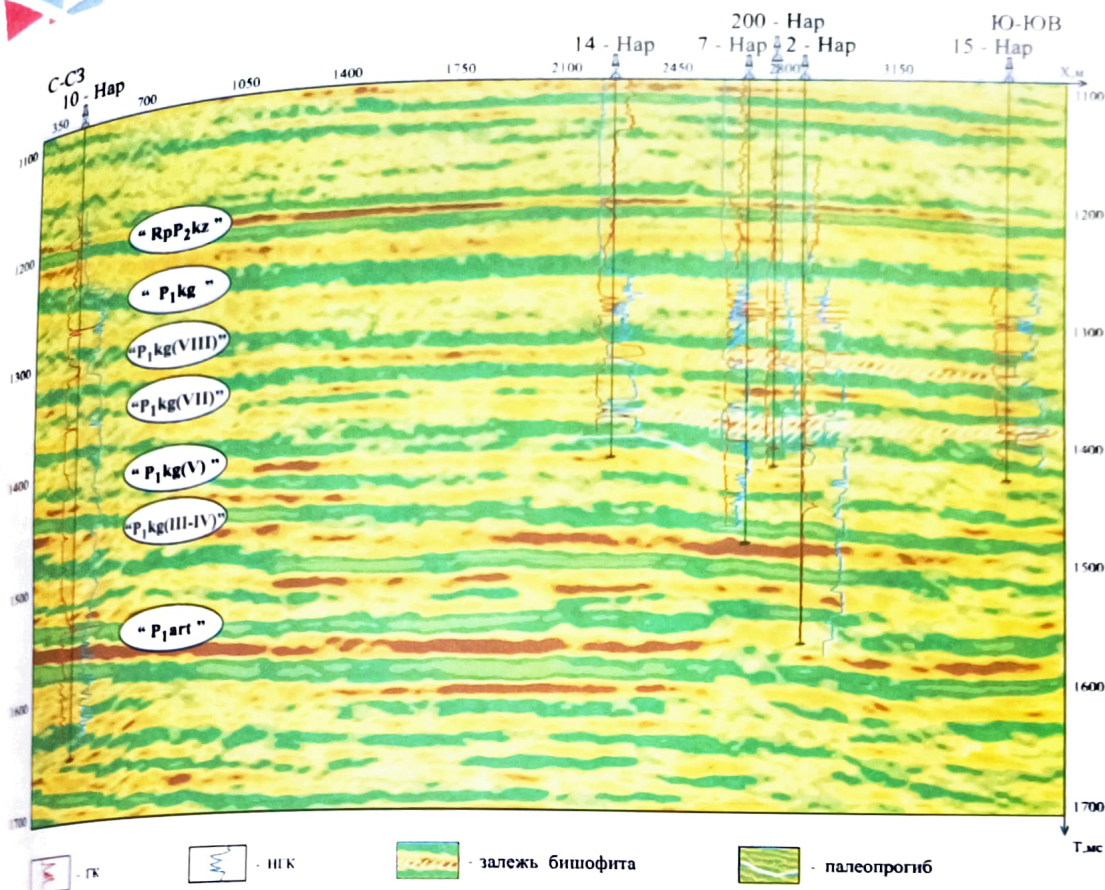


Рис. 3. Фрагмент цветокодированного временного мигрированного разреза по профилю 10.95.01 (ВРС), характеризующий соленосную толщу.

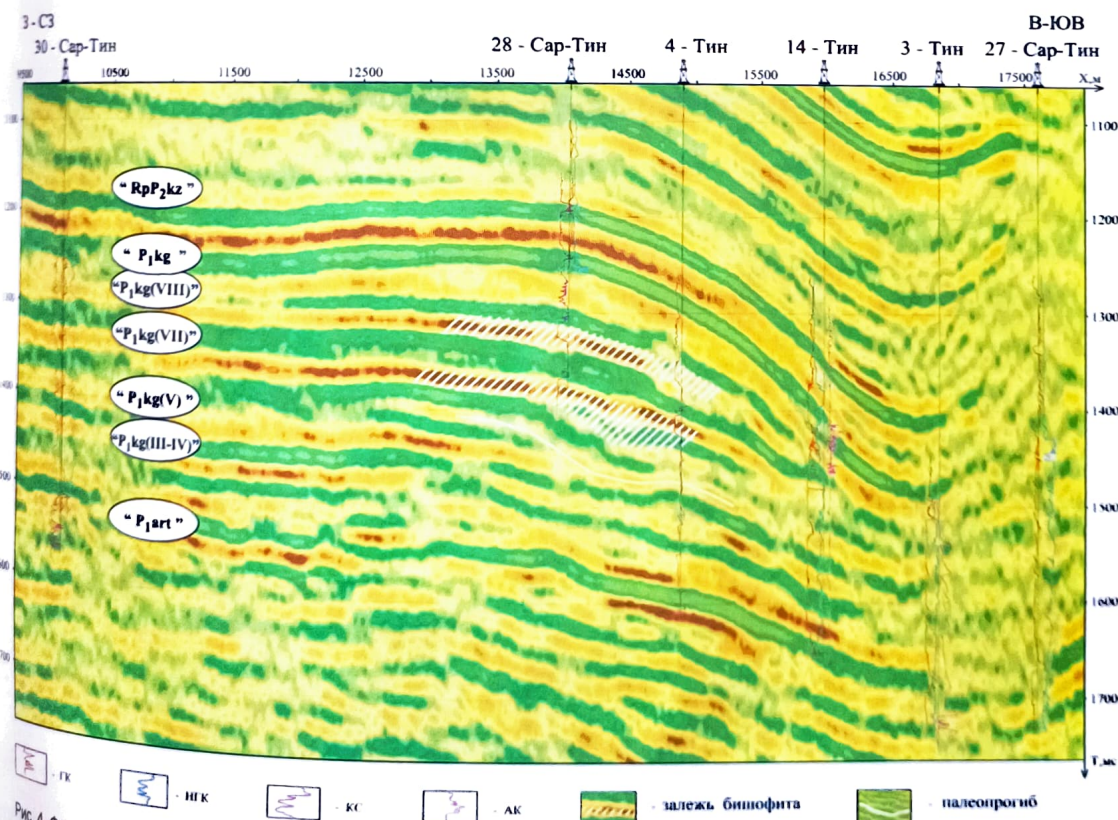


Рис. 4. Фрагмент цветокодированного временного мигрированного разреза по профилю 202.89.02 (способ штуровых зарядов), характеризующий соленосную толщу.



амплитуде сигнала, которая прослеживается от ПК 121 до ПК 151 на уровне времен 1,36-1,43 с (рис. 4). Кроме того, отмечается наличие дополнительной оси синфазности вблизи подошвы залежи бишофита и формирование синклиналичного прогиба (ПК 139-149) в интервале времен 1,42-1,47 с, соответствующих отложениям Луговской ритмопачки. Хорошо видно, что залежь бишофита Погужской ритмопачки формировалась в условиях палеопргиба, который, вероятно, существовал здесь в различной степени выраженности вплоть до времени садки калийных солей Пугаревской ритмопачки (отражающий горизонт «Р1кг (VIII)»).

По результатам проведенных исследований можно определить следующие критерии выделения бишофита по материалам сейсморазведки:

1. Калийно-магневые залежи Антиповской ритмопачки имеют незначительные различия по мощности, в пределах которой бишофит замещается карналлитом, поэтому на волновых картинах зона распространения бишофита выделяется только по аномалиям сейсмической записи с высокими значениями амплитуд сигнала (эффект "яркого пятна"), без каких-либо выраженных структурных особенностей. Достоверность прогнозирования залежей бишофита Антиповской ритмопачки при стандартных методах сейсморазведки невелика, потому что недостаточна разрешенность по латерали амплитуд сигнала отражающих горизонтов.

2. Для залежей бишофита Погужской ритмопачки наряду с наличием сейсмических аномалий по амплитуде сигнала, обусловленных отложениями хлормagneсовых солей в разрезе, характерно присутствие дополнительной оси синфазности в виде локального прогиба, образующейся за счет увеличения общей мощности карналлит-бишофитового пласта. Кроме того, нижележащие горизонты, особенно Луговской ритмопачки, в пределах залежи бишофита тоже образуют локальные синклиналичные формы (рис. 4). Это подтверждает мнение о формировании залежей бишофита в условиях палеопргиба [2-3].

В связи с вышесказанным выгодно отличаются материалы ВРС, полученные при возбуждении упругих колебаний минимизированными зарядами, где уверенно выделяются структурно-динамические особенности волнового поля, отображающие детальное геологическое строение разреза. При выявлении

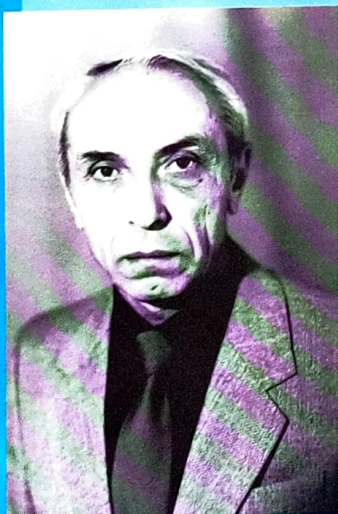
палеоморфологического фактора достоверность прогноза залежей бишофита сильно возрастает, поэтому поиск скоплений калийно-магневых солей в пределах Приволжской моноклинали, на наш взгляд, проводить обязательно с использованием технологий палеообработки [6,7] по материалам ВРС.

Отметим, что прогнозирование распространения калийно-магневых солей также имеет практическое значение в нефтеразведке, для определения оптимальной конструкции скважины и исключения аварийных ситуаций при проходке соленосной толщи [4,5]. Это связано с тем, что в интервалах залегания хлормagneсовых солей образуются большие каверны, в пределах которых из-за разницы напряжений может происходить деформация бурового инструмента. Кроме того, поступление бишофита в буровой раствор может значительно изменить его физические свойства до осаждения отдельных составляющих на забой скважины, что зачастую приводит к прихвату бурового инструмента.

Литература

1. Акулова Р.С. Рациональный комплекс ГИС и особенности дифференциации разреза хемьенной толщи. В сб.: Технология строительства скважин в сложных условиях Прикаспийского региона, Волгоград, Волгоград-НИПИнефть, 1990, с. 91-97.
2. Деревягин В.С., Сулицкий В.И., Ермаков В.А., Гребенников Н.П., Свидзинский С.А. Беофиты Нижнего Поволжья. Ростов-на-Дону, издательство Ростовского университета, 1989.
3. Ермаков В.А., Гребенников Н.П. Закономерности строения бишофитных залежей соленосной толщи Нижнего Поволжья и палеогеографические условия их накопления. - В кн.: Проблемы соленакопления. т. П. Новосибирск, Наука, 1977, с. 40-45.
4. Самойленко Ю.Н., Иванкин А.В., Титов В.И. Оценка возможности прогнозирования рапирований в кунгурских отложениях Прикаспийской впадины. В сб.: Геология, разведка и разработка месторождений углеводородов Прикаспийской впадины и обрамления, Волгоград, Волгоград-НИПИнефть, 1991, с. 105-112.
5. Иванкин А.В. Сейсмогеологические критерии прогнозирования рапосных горизонтов в пределах Прикаспийской впадины. НТХС. Сер. «Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений», Москва, ВНИИОЭНГ, 1992, вып. 9, стр. 13-17.
6. Патент № 2107310 на изобретение «Способ высокоразрешающей сейсморазведки методом общей глубины точки (МОГП) с использованием взрыва зарядов», авт. Кобылкин И.А. и др., 1997.
7. «Методика и технология высокоразрешающей сейсморазведки на основе использования оптимизированных источников» (Рекомендации). Авторы: Кобылкин И.А. и др. Фонды ЗАО «НП "Запикаспийгеофизика", Волгоград, 1993.

Феномен личности



30 ноября 2007 года исполнилось 80 лет известному специалисту геофизического приборостроения-Константину Михайловичу Порожнякову, проработавшему многие годы в Саратовском СКБ сейсмического приборостроения.

Творческая деятельность Константина Михайловича в СКБ СП началась с участия в разработке знаменитого комплекса вводовыводных устройств «Поток», обеспечивших переход в стране на цифровую обработку геофизической информации.

Под руководством и при непосредственном участии Константина Михайловича были созданы такие изделия как: накопители НЦС-48 и НЦС-96, корреляторы КНС-24 и КНС - 96, предназначенные для сейсмостанций Прогресс - 3, Прогресс-96 и Пргресс - 96В. Эти изделия обеспечили широкое использование

в стране источников возбуждения при проведении сейсморазведочных работ. За выдающиеся успехи в разработке и внедрении в производство сейсмостанций ряда «Прогресс» Константин Михайлович стал лауреатом Премии Совета Министров СССР.

Еще одним, несомненно выдающимся качеством Константина Михайловича, является его талант учителя, воспитателя молодых кадров. В результате, в настоящее время его бывшие ученики стали ведущими разработчиками СКБ СП и успешно продолжают дело всей жизни своего ушедшего на пенсию наставника.

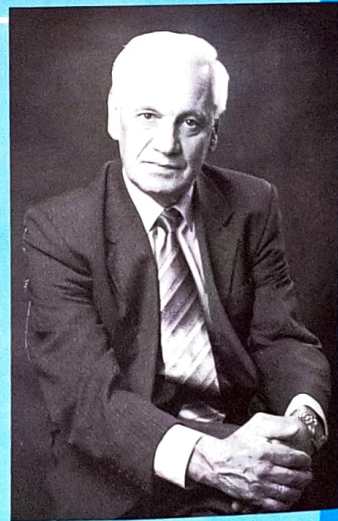
Друзья и коллеги из геофизических организаций искренне поздравляют Константина Михайловича с юбилеем, желают ему здоровья, благополучия, света и радости в его доме.

24 августа 2007 года исполнилось 70 лет известному саратовскому геофизику, писателю-краеведу и большому другу нашего журнала- Виктору Николаевичу Семенову.

Творческий путь Виктора Николаевича в геофизике ярост, плодотворен и неразрывно связан с проблемами поиска нефтяных и газовых месторождений в саратовском Поволжье: комплекс работ по определению типов неантиклинальных, перспективных на нефть и газ, поиски которых возможны с помощью сейсмических методов, послужил основой для защиты В.Н. Семеновым диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

В.Н. Семенов состоялся не только как специалист и ученый-геофизик, но и как инициатор создания регионального научно-практического журнала «Недра Поволжья и Прикаспия», как профессиональный писатель, поэт, краевед и бард. Широко известны его книги «Саратов геологический», «Саратов геофизический», «Саратовская высшая геологическая школа».

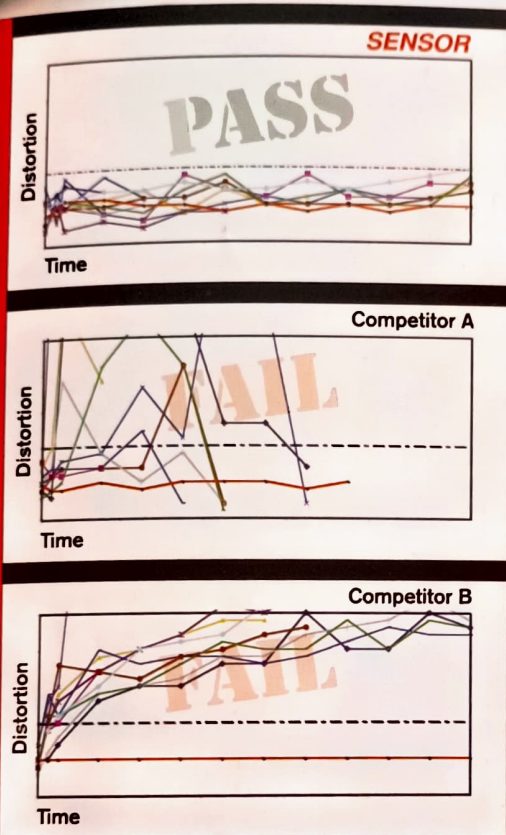
Редакция, коллеги и друзья поздравляют В.Н. Семенова с юбилеем и желают успехов в работе, творчества и здоровья, здоровья, здоровья.





Программа испытания сейсмоприемников компании Sensor просто поразительна. Сейсмоприемники испытываются на прочность во вращающемся барабане на протяжении более чем 10 часов, и в течение этого времени они более 12 000 раз подвергаются ударам при 1500 g. Каков же результат? Сейсмоприемники Sensor сохраняют свои технические характеристики. Образцы конкурентов буквально разваливаются на части. Сейсмоприемники Sensor – качественные данные с каждого пункта взрыва

Более подробную информацию о результатах тестирования можно найти на сайте www.geophone.com



SENSOR
an I/O company

Rouwkooplaan 8
2251 AP Voorschoten
The Netherlands
Phone +31 (0)71 5601234
www.geophone.com

ПОРАЗИТЕЛЬНО

www.intromarin.ru



XZone

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

BOTTOM
FISH

MARSH
LINE

FLY
LANDER

МОРЕ

ТРАНЗИТНАЯ
ЗОНА

СУША

...работают везде...



СИ Технолоджи
www.intromarin.ru

353477 Россия, Краснодарский край, г. Геленджик, ул. Ручейная, 6
тел.: (86141) 26615, 26511, факс: (86141) 26601, e-mail: office@intromarin.ru