

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ

03/2004

ТЕМА НОМЕРА:

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРО СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Аппаратура для работы на мелководье
Логистика для геофизиков

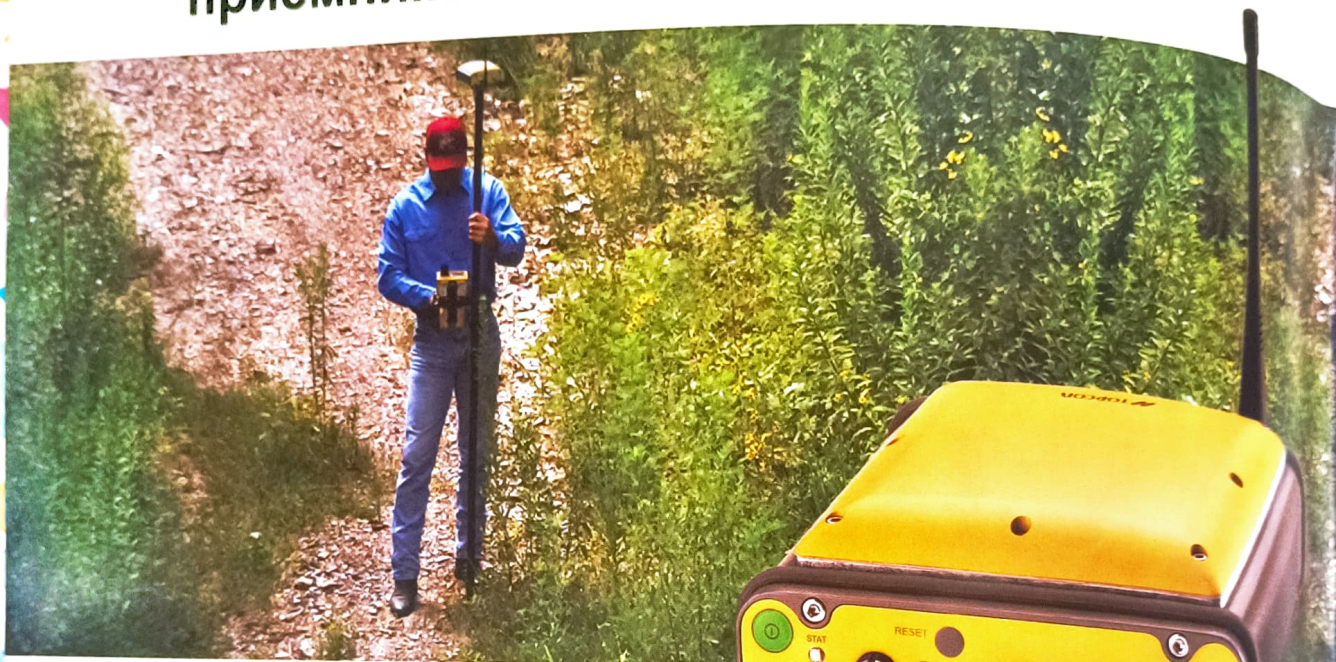
Страницы истории геофизического приборостроения



ПРИН

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР TOPCON
ПРЕДСТАВЛЯЕТ

новую серию GPS/ГЛОНАСС приемников HiPer



Приемники HiPer

делают GPS-съемку чрезвычайно простой.

Антенна, приемник, аккумуляторы, память и управление сосредоточены в прочном, защищенном, эргономичном, компактном и легком корпусе.

Особенности:

- Архитектура процессора Paradigm позволяет осуществлять прием спутниковых сигналов по 40 универсальным каналам
- Технологии Advanced Multipath Reduction и Co-Op Tracking позволяют получить лучшие результаты при низких уровнях сигнала
- Модели с маркировкой "+" имеют встроенный модуль BlueTooth™
- Беспроводной комплект для статической, кинематической и RTK/DGPS съемок



125993, Россия, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, дом 4, тел.: +7 (095) 785-57-37 (многоканальный),
+7 (095) 158-69-66/67/68/69, факс: +7 (095) 158-69-65; survey@prin.ru, www.prin.ru

Наши партнеры:

Москва (095) 459-14-10, geo-mir@prin.ru; Санкт-Петербург (Оптика) (812) 430-97-56, geo-spb@prin.ru; Санкт-Петербург (GPS) (812) 449-01-54, spb@prin.ru; Нижневартовск (3466) 613-006, nvartovsk@prin.ru; Казань (8432) 643-092, kazan@prin.ru,
Новосибирск (3832) 779-537, nsibirsk@prin.ru; Иркутск (3952) 511-229, irkutsk@prin.ru; Пермь (3422) 198-322, perm@prin.ru

■ Колонка редактора

Нам два года
Турлов П.А.

04

■ Тема номера: Вибросейсмические технологии

■ Тематический обзор

Наземная невзрывная сейсморазведка - сейсморазведка XXI века
Шнеерсон М.Б., Жуков А.П.

05

■ Приборы и системы

Высокопроизводительный ВиброСейс
Denis MOUGENOT (Франция)

09

Совершенствование систем управления и контроля электрогидравлических
вибрационных источников сейсмических сигналов

Асан-Джалалов О.А., Гридин П.А.

31

Пути повышения качества в изготовлении
вибрационных источников сейсмических сигналов

Алелюхин Н.П., Насыбулин Е.Х., Базылев А.А.

46

■ Теория

Об амплитудной и энергетической эквивалентности вибрационной
и импульсной сейсморазведки

Юшин В.И.

12

■ Метрология

Качество вибрационного излучения

Циммерман В.В.

19

■ Инновация

Об одной возможности применения мощных низкочастотных
сейсмических вибраторов для диагностики физического
состояния зданий и сооружений

Чичинин И.С.

22

■ Геофизические технологии

Технология региональных исследований методом ГСЗ
с вибрационным источником

Еманов А.Ф., Соловьев В.М., Кузнецов В.Л., Сагайдачная О.М., Сальников А.С.

25

■ Технология

О целесообразности применения комбинированных сигналов
в современной вибросейсморазведке

Кострыгин Ю.П., Барулин Д.А.

36

■ Испытания

Повышение нефтеотдачи сейсмическим воздействием на пласт

Алелюхин Н.П., Асан-Джалалов А.Г., Барабанов В.Л., Лавров В.С., Николаев А.В.

39

■ Экология и безопасность

К вопросу определения уровней воздействия наземных невзрывных
источников сейсмических колебаний на наземные и подземные сооружения

Шнеерсон М.Б.

42

■ Обмен опытом

Опыт применения виброисточников СВ-27/150-362
(ЗАО "ГЕОСВИП") в ОАО "Самаранефтегеофизика"

Силонов С.Ю., Алелюхин Н.П.

43

■ Страницы истории

Страницы истории отечественного
геофизического приборостроения

Зайченко В.Ю.

47

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор:
Турлов П.А.

Выпускающий редактор:
Павлов И.Г.

Менеджер проекта:
Мокрушова Е.И.

Ответственный секретарь:
Слонова Е.Г.

Дизайн, верстка:
Мокрушова Д.В.

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

E-mail: skbp@san.ru

Тел: (8-452) 84-14-32
Факс: (8-452) 84-14-52

Тираж отпечатан
в типографии "КРОСС"
т. (8452) 223-552, 223-881

Тираж: 500 экз.

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

От редколлегии:
Ответственность за подбор и изло-
жение фактов в статьях несут
авторы. Редколлегия может
публиковать статьи, не разделяя
точки зрения авторов.



Нам два года!

Турлов П.А., СО ЕАГО, г. Саратов

Уважаемые коллеги и читатели журнала! Как главный редактор не могу не поздравить вас, коллектив редакции и авторов публикаций с нашим первым маленьким юбилеем: журналу "Приборы и системы разведочной геофизики" исполнилось ровно два года! В первых восьми номерах журнала было размещено сто тридцать пять публикаций, подготовленных двумястами шестидесятью семью авторами. Таким образом, среднее количество публикаций в каждом номере 17 с объемом в 3 журнальных полосы каждая. За эти два года подтвердилась правильность выбранного направления тематики, актуальность публикаций, у нас уже сформировалась своя постоянная читательская аудитория. Важно и приятно отметить, что параллельно идет процесс формирования постоянного и солидного авторского коллектива! Журнал позитивно оценен независимой экспертизой, организованной Реферативным журналом "РЖ. Геология и геофизика", так что с середины 2003 года рефераты на все материалы нашего журнала публикуются в этом Российском издании.

Следующий этап развития журнала, поддерживаемый читательскими откликами и представительным мнением участников конференции "GEOTEX-2004", проходившей в Саратове 7-8 сентября с.г., мы видим в увеличении тиража журнала, в расширении его тематики с привлечением материалов по ГИС, сейсмическим методам разведки и рудной геофизике.

Редакция обращает внимание руководителей организаций - коллективных подписчиков журнала на то, что подписка только на один комплект журнала зачастую не обеспечивает доведение информации до всех заинтересованных лиц. Не жалейте денег на свежую информацию! Не задерживайте журнал на стеллажах библиотек и столах руководителей, непосредственные исполнители работ - специалисты, с нетерпением ждут его!

Хотим успокоить авторов еще неопубликованных статей: ваши материалы находятся в редакционном портфеле. Декабрьский номер журнала, как мы и анонсировали ранее, в связи с большим объемом имеющихся материалов вновь посвятим "Инновационным технологиям в геофизике".

Редакция сообщает своим авторам и читателям, что темой первого номера 2005 года будет "Техника и технологии работ на шельфе и мелководье". Уже сейчас мы готовы принять ваши материалы по этой тематике.

Главный редактор журнала

П.А.Турлов

Коллектив редакции сердечно поздравляет читателей с недавно отмечавшимся Днем работников нефтяной и газовой промышленности и желает всем крепкого здоровья, хорошего настроения, благополучия и удачи в профессиональной деятельности!

НАШИ ПАРТНЕРЫ



ОАО «Саратовнефтегеофизика»



ООО «Специальные геофизические системы»



ЗАО «СОЕДИНИТЕЛЬ»



Наземная невзрывная сейсморазведка - сейсморазведка XXI века

Шнеерсон М.Б., Жуков А.П., ООО "Геофизические системы данных", г. Москва

Возбуждение колебаний является основой основ сейсморазведки, так как без него нет волн, нет сейсмограмм-записей, нечего обрабатывать и нет подземного изображения среды.

Правда, известны и получили определенное применение методы и технологии изучения особенностей сред, основанные на регистрации волн от землетрясений, промышленных взрывов, действующих механизмов, например, бурового долота при проходке скважин, а также от собственных и вызванных тектонических подвижек, происходящих в пределах месторождений. Но эти методы решают, как правило, частные задачи, не заменяя сейсморазведку в качестве основного метода изучения строения земных недр, поиска и разведки полезных ископаемых.

Исторически сложилось так, что взрывы конденсированных зарядов взрывчатых веществ и их модификаций были до определенного времени единственным и наилучшим способом возбуждения упругих колебаний в наземной сейсморазведке. До сих пор бытует мнение, что взрыв является наилучшим способом генерирования волн. Отдавая должное взрывному возбуждению колебаний, необходимо отметить, что он обладает целым рядом существенных недостатков, которые заставили в свое время искать другие, более безопасные и экологически чистые невзрывные способы возбуждения волн.

По этому пути пошла морская сейсморазведка, в которой невзрывное возбуждение стало нормой, а взрывное - редким исключением.

Можно с большой долей уверенности говорить о том, что по такому же пути пойдет и наземная невзрывная сейсморазведка. Уже сейчас объемы невзрывной и взрывной сейсморазведки при работах на нефть и газ сопоставимы.

Не останавливаясь на достоинствах и недостатках каждого из способов генерирования волн, которые хорошо известны [1], отметим, что заказчиком и производителем работ приходится по целому ряду причин (экология, техника безопасности, наличие наземных и подземных сооружений и коммуникаций и др.) все чаще и чаще отказываться от взрывного возбуждения колебаний и переходить на невзрывное. Кроме того, современная практика работ показывает, что при невзрывном возбуждении возможно получение высококачественных материалов, обеспечивающих решение сложных задач поиска и разведки месторождений углеводородов, а также их прогнозирования по динамическим и спектральным особенностям зарегистрированных волн. Этому способствует высокий теоретический, технический и методический уровень современной невзрывной сейсморазведки: наличие весьма эффективных источников и приемников колебаний, регистрирующих систем и программного обеспечения, обеспечивающего обработку, визуализацию и интерпретацию материалов при небольших исходных отношениях сигнал/помеха.

Все это позволяет авторам говорить о том, что наземная невзрывная сейсморазведка имеет хорошие перспективы своего развития и в последующие годы может стать основным методом изучения земных недр, поиска и разведки полезных

ископаемых и, в первую очередь, месторождений нефти и газа.

А что же сейчас?

Вибрационная сейсморазведка уже получила определенное применение при глубинных и региональных работах и широко используется на всех стадиях геолого-разведочных работ на нефть и газ. Отметим, что "второе дыхание" обретает импульсная невзрывная сейсморазведка на основе использования новых, относительно недорогих электромеханических источников колебаний. Особенно эффективными они оказались при работах ВСП, а также при поисковых и детальных исследованиях в благоприятных сейсмогеологических условиях и глубинах залегания целевых горизонтов до 2,5-3,0 км. Сейсморазведка с импульсными невзрывными источниками в рамках своих возможностей имеет хорошие перспективы при работах на углеводородное сырье, а в малоглубинных исследованиях трудно найти альтернативу таким простым и недорогим источникам колебаний.

Тема номера журнала - вибрационная сейсморазведка. В этом обзоре мы остановимся на следующих основных областях применения вибрационных источников: глубинные и региональные исследования, поисково-разведочные работы и нетрадиционные технологии.

Глубинные и региональные исследования

До самого последнего времени считалось, что для возбуждения, устойчивого выделения и прослеживания волн от поверхности фундамента и более глубоких границ раздела необходимы взрывы больших зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Многолетняя практика ГСЗ и региональных работ подтверждала этот тезис. Тем более, что в свете существовавших ранее методических решений регистрация глубинных волн проводилась на больших удалениях (сто и более км) от соответствующих пунктов взрыва. Казалось естественным, что при таких выносах требуются заряды ВВ большой массы и перспективы невзрывной технологии невелики. Однако, и тогда имелись интересные данные, указывающие на определенные возможности невзрывной сейсморазведки при глубинных исследованиях. Так, многолетний опыт эксплуатации 100 - тонного вибратора на полигоне Сибирского отделения Академии Наук под Новосибирском показал, что возбуждаемые им предомленные и отраженные волны от глубоких границ раздела устойчиво прослеживаются на удалениях до 300-400 км, правда в режиме синхронного накопления длительных посылаемых в землю сигналов.

Перспективы и возможности использования вибрационных источников колебаний при глубинных и региональных исследованиях существенно возросли с переходом на регистрацию отраженных волн по технологии метода многократных перекрытий МОВ-ОГТ.

Эта технология имеет следующие особенности:

- относительно небольшие расстояния между пунктами возбуждения и приема колебаний, что повышает абсолютный уровень глубинных волн и отношение сигнал/помеха;
- широкое использование современных аппара-

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ТЕМАТИЧЕСКИМ ОБЗОР





турных и методических средств по усилению полезных сигналов и подавлению помех (группирование источников и приемников колебаний, синхронное накопление воздействий, высокая кратность наблюдений и суммирование сигналов по способу ОИТ, оптимизация параметров управляющих сигналов с учетом частоты и относительной интенсивности регистрируемых целевых волн).

Такая технология работ получила применение в нашей стране и к настоящему времени выполнена значительные объемы работ. В частности, пересечение Южного Урала и прилегающих территорий (программа и профиль "Уралсейс"), региональный профиль через северную вершину Русской платформы, профиль в Восточной Сибири и др. Опыт этих работ оказался успешным, так как он показал возможность использования вибраторов для освещения строения осадочной толщи отложений, прослеживания фундамента и, на отдельных участках, поверхности Мохоровичича. Кроме того, в результате этих работ получены дополнительные данные о строении земной коры в целом.

В качестве примера приведем краткие сведения о работах по профилю "Уралсейс" [2]. Методика полевых наблюдений была выбрана по результатам опытных исследований, которые предусматривали опробование различных параметров возбуждения колебаний в рамках возможностей вибрационной сейсморазведки (число источников в группе и ее протяженность, число накоплений, параметры управляющего сигнала) и выбор других оптимальных параметров. Кроме того, были уточнены параметры регистрирующей системы и группирования сейсμοприемников. В результате профиль протяженностью 500 км был отработан по следующей методике:

- источники колебаний - 4-5 излучателей СВ-10-180 с пиковым усилием 10 т;
- база группы вибраторов 50 м;
- параметры управляющего сигнала (свипа) - частоты, на отдельных участках:
 - профиля 8-60 Гц, 10-64 Гц, 10-72 Гц;
 - длительность - 30 с;
- система наблюдений - центральная, шаг между ПВ - 100, 150, 200 и 250 м;
- вынос - 9 км;
- прием колебаний - расстояние между центрами групп - 50 м, база группы 50 м;
- количество приборов в группе 12;
- кратность наблюдений - 90-36 в зависимости от шага между ПВ;
- время регистрации 55 с.

Выбранная методика работ обеспечила получение записей отраженных волн различного качества и прослеживаемости, которые в большей степени обусловлены особенностями района и изучаемой средой, а не какими-либо погрешностями выбранной методики полевых работ. Так например, на отдельных участках профиля четко выделяются волны, отнесенные к поверхности Мохор на временах до 15 с. Обеспечить же непрерывное прослеживание этих волн не удалось. По полученным записям были построены временные и глубинные разрезы, которые были использованы для интерпретации и геолого-геофизического анализа материалов.

Профиль "Уралсейс" был также отработан и с взрывами зарядов ВВ массой 80 кг в скважинах глубиной ≥ 30 м, но при меньшей кратности наблюдений. Полученные материалы были обработаны, построены соответствующие разрезы. Авторы работ [3] дают следующую сравнительную

характеристику вибро- и взрывным материалам. По разрешенности и детальности верхней части разреза (выше поверхности Мохор) предпочтение следует отдать вибрационным материалам, в то время как в области Мохор и нижней части коры взрывные материалы оказались лучше. Соглашаясь с мнением авторов, следует отметить, что работы на этом профиле были выполнены с десятичными вибраторами, которые в сегодняшней классификации относятся к источникам средней мощности. Можно предположить, что использование вибраторов большой мощности с усилиями 20-23 т позволило бы получить более информативные материалы, превосходящие материалы взрывной сейсмики. Такие вибраторы имеются у производственных геофизических организаций, и практика работ с ними показывает, что они позволяют получать более насыщенные глубинные разрезы, хотя характер материалов также прерывистый, что видимо, отражает специфику и изучаемых сред.

Поисково-разведочные работы

В комплексе работ по картированию границ раздела в осадочной толще отложений, поиску и разведке месторождений углеводородов вибрационная сейсморазведка занимает значимое место. В настоящее время отсутствуют опубликованные данные по объемам работ, которые выполняются с применением вибрационных источников колебаний, но можно с большой долей уверенности говорить о том, что они приближаются или равны 40 - 45% от общих объемов сейсморазведочных работ на нефть и газ. Это подтверждается тем, что целый ряд крупных геофизических организаций в силу разных причин полностью отказал от использования взрывчатых веществ для возбуждения колебаний в сейсморазведке. Резко возросшее качество вибрационных источников, цифровые системы по управлению и контролю за их работой, цифровые регистрирующие устройства в сочетании с современными методиками полевых работ, обрабатываемыми системами, а также высоким уровнем специалистов, обеспечили получение качественных первичных и результирующих материалов, не уступающих итоговым данным взрывной сейсмики. Более того, в достаточно большом числе случаев только применение вибрационных установок обеспечивает получение качественных сейсмических записей, позволяющих решать сложные поставленные задачи. Есть, однако, и противоположные примеры.

За годы применения вибрационной сейсморазведки сформировались общие и частные подходы к выбору и обоснованию методики полевых работ и обработки материалов. Не очень быстро, но идет модернизация и совершенствование технических средств, методики и технологии работ. Эти процессы сдерживаются резким сокращением объемов опытно-методических работ, так как геофизические организации-исполнители чаще всего не имеют собственных средств для их проведения. Во многих случаях и заказчики не финансируют эти затраты, рассчитывая на имеющийся зарубежный аппаратный и методико-технический опыт и уровень работ. В результате опытно-методические работы или не проводятся вообще, или выполняются в незначительных объемах, носят дежурный характер. Все это отрицательно влияет на развитие отечественной сейсморазведки и ведет к ее отставанию от мирового уровня. По нашему мнению, такое положение с опытными работами недопустимо и требует кардинального изменения.

Тем не менее, в рамках общепринятой теории вибрационной сейсморазведки с учетом получае-

мых материалов, задач и условий проведения работ выработаны определенные стандарты методики полевых наблюдений, которые включают параметры управляющих сигналов и группирования, число источников в группе и накоплений, системы наблюдений и кратность и т.д. Повсеместно съемки ведутся методом ОГТ с кратностью, превышающей 24 при профильных наблюдениях. Как правило, частотный диапазон управляющих сигналов выбирается в полосе от 10-15 Гц до 90-110 Гц в зависимости от задач, целевых глубин, уровня поверхностных волн и других помех. Управляющий сигнал длительностью до 10 с, линейный или нелинейный, для подъема высоких частот. Более длительные сигналы себя не оправдывают из-за снижения производительности работ, замедления роста отношения сигнал/помеха и собирания шумовых помех профиля. При высоком уровне помех более эффективно или увеличение числа установок, или переход на работу в тихое время суток. Число накоплений на точке редко превышает 8-10. Количество одновременно работающих на точке вибраторов равно 3-4, редко 5. Один вибратор держится в резерве. Непременным условием проведения работ является контроль качества каждого воздействия каждым вибратором. Тестирование производится с помощью специальной аппаратуры и регистрируется на пленке для последующих анализа и заключения о работе вибраторов. Начальная обработка материалов - корреляция полученных виброграмм с посылаемым в землю сигналом проводится, как правило, в поле на сейсмостанции. В качестве сигнала корреляции берется электрический аналог управляющего сигнала. Корреляция в поле снижает нагрузку на вычислительный центр, но ограничивает возможности производителя работ по улучшению качества материалов за счет оптимизации параметров сигнала-корреляции, а также исключает применение ряда новых технологий. Некоторые из них будут рассмотрены далее. В этой связи авторы считают, что часть полевых записей вообще не следует коррелировать в поле, а нужно передавать на вычислительный центр в виде виброграмм для последующей обработки и анализа. Особенно это актуально при проведении опытных работ, разработке новых технологий и для уточнения сигнала корреляции при использовании нелинейных управляющих сигналов.

Особенностью вибрационной сейсморазведки является знание посылаемых в землю сигналов и определенная зависимость спектральных характеристик регистрируемых волн от средней частоты управляющего сигнала. Это позволяет направленно выбирать его параметры, учитывая требуемую разрешенность записей, характер решаемых задач и частотный состав регистрируемых волн. На этом основана "адаптивная вибрационная сейсморазведка" [4] и некоторые способы выбора нелинейных управляющих сигналов.

Последние годы характеризуются увеличением объемов работ по пространственным системам наблюдений, сейсморазведка 3D и 4D, которые характеризуются высокой плотностью наблюдений и возможностью проведения работ в промышленных и культурных зонах. В этой связи роль и объемы вибрационной сейсморазведки будут существенно возрастать, особенно при повторных съемках 4D на месторождениях, в пределах которых применение взрывчатых веществ для возбуждения колебаний полностью исключено. При работах 3D и 4D особенно актуальным является повышение производительности и, как следствие, снижение себестоимости работ. В этом

направлении вибрационная сейсморазведка обладает определенными возможностями, так как она позволяет реализовать режим одновременной работы двух или более групп вибраторов на одну расстановку сейсмодатчиков. Разделение записей производится в процессе обработки данных на вычислительном центре по специальным программам. Такая технология повышает производительность полевых работ, но требует дополнительного числа вибраторов, специального оборудования и обученного технического персонала. Известно несколько модификаций этой технологии. Первая и самая старая из них основана на использовании встречных по частоте управляющих сигналов и изменении полярности одного из них в процессе накопления сигналов [1]. Она была опробована при работах ВСП и профильных наблюдениях ОГТ. Конечные монтажи сейсмограмм ВСП и временные разрезы по качеству практически не отличались от стандартных. Однако практического применения эта модификация не получила. Другой способ повышения производительности работ получил название "скользящий свип, slip - sweep" [5]. Эта технология была успешно применена при работах на Среднем Востоке, в пустынных районах, благоприятных для быстрого перемещения источников с пикета на пикет. Ее суть заключается в том, что интервал времени между последующими воздействиями разных групп вибраторов выбирается равным временной глубине разведки, как правило 4-5 секунд. Сигналы с разных пунктов возбуждения принимаются одной расстановкой сейсмодатчиков и заносятся на станции в память большого объема. Так как частота посылаемых в землю сигналов меняется с определенной скоростью, то записи последующих воздействий будут отличаться по частоте от предыдущих из-за временного сдвига между ними. Для разделения записей суммарная виброграмма коррелируется с исходным управляющим сигналом, но каждый раз с известным временным сдвигом, что и позволяет разделить записи и получить корелограммы с каждого пункта возбуждения. Следующий способ повышения производительности работ основан на использовании фазо-кодированных управляющих сигналов [5]. Вибраторы на двух или более пунктах взрывов возбуждают сигналы, сдвинутые по фазе на определенную заданную величину, например 45 или 60 градусов. Знание фазового сдвига позволяет рассчитать оптимальный фильтр, который разделит записи с каждого пункта возбуждения. Эта технология заслуживает внимания и полевого опробования, но пока отсутствуют сведения о ее практическом применении.

Нетрадиционные технологии вибрационной сейсморазведки

Основное внимание при развитии теории и практики вибрационной сейсморазведки уделялось возбуждению колебаний, повышению отношения сигнал/помеха, расширению спектрального состава регистрируемых волн, увеличению глубинности метода и др. Процессы, происходящие в среде при передаче нагрузок грунту и при распространении волн в толще пород, оставались, как правило, вне поля зрения сейсморазведчиков. Однако в последние годы этим вопросам стали уделять большее внимание. В результате теоретических и экспериментальных работ было показано, что колебания, возбуждаемые вибрационными источниками, несмотря на их небольшую интенсивность, оказывают заметное влияние на углеводородосодержащие пласты и приводят к образованию нелинейных явлений,



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕМАТИЧЕСКИМ ОБЗОР



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

которые проявляются в образовании волн с кратными, разностными и суммарными частотами, соответственно волны гармоник и волны взаимодействия. Последние образуются при взаимодействии двух и более гармонических или квазигармонических колебаний. На основе этих явлений разрабатываются и получают определенное практическое применение два новых направления вибрационной сейсморазведки.

Первое из них связано с нелинейными явлениями, возникающими при возбуждении волн и их распространении в сложных многокомпонентных средах месторождений углеводородов [4]. Исходные причины нелинейности обусловлены физическими свойствами реальных тел, приближенностью в связи с этим закона Гука, а также особенностями конструкции вибрационных источников. Они заключаются в том, что инерционная масса вибратора в процессе излучения колебаний свободно перемещается относительно своего центрального положения на величину до 5-7 см, а смещения связанных с ней поршня и плиты ограничены сопротивлением грунта и составляют всего несколько миллиметров. Такой дисбаланс приводит к искажению формы возбуждаемых колебаний и образованию волн-гармоник с кратными частотами. Эти волны распространяются в земле, и их регистрация на поверхности земли позволяет увидеть разрез в смещенной, кратной полосе частот. Наиболее значима для сейсморазведки вторая гармоника, что позволяет до полутора раз повысить частотный состав регистрируемых отраженных волн и разрешенность регистрируемых волн. Технология работ с использованием вторых гармоник опробована в ряде районов и везде показано наличие подобных волн и возможность построения разрезов повышенной разрешенности. Определенными ограничениями технологии являются отказ от корреляции виброграмм в поле и повышенное затухание высокочастотных составляющих волнового поля, что ограничивает глубинность исследований.

Теоретические и экспериментальные работы последних лет показывают, что двух и трехфазные среды, содержащие углеводороды обладают нелинейными свойствами. Одной из причин этого является наличие в них пузырьков газа, которые под действием внешних, даже очень небольших, нагрузок деформируются и изменяют физические свойства коллектора. Из этого следует, что уровень нелинейности нефтегазонасыщенных пород должен быть выше, чем у вмещающих пород, содержащих воду практически без газовых включений. Основываясь на этом, можно предположить, что при проведении сейсморазведочных работ в пределах месторождений углеводородов следует ожидать проявления целого ряда нелинейных явлений, а именно:

- изменение частотного состава волн и уровня гармоник;
- образование волн взаимодействия с разностными и суммарными частотами при облучении залежи разными по частоте гармоническими или квазигармоническими колебаниями;
- нелинейная зависимость между уровнем возбуждаемых колебаний и амплитудами отраженных волн.

Очевидно, что обнаружение нелинейных свойств среды возможно на основании достаточно точных и достоверных методов анализа, который характерен для вибрационной сейсморазведки. Поэтому только на ее основе возможно выделение эффектов, обусловленных нелинейными свойствами

ми нефтегазосодержащих пород. Опытные методические работы, выполненные на известных месторождениях, подтвердили обоснованность, что в пределах контура месторождений показались изменения динамических параметров волн (частоты и амплитуды), а также уровня гармоник.

Второе новое направление применения вибраторов связано с активизацией применения с помощью вибровоздействия, добычи нефти поверхности земли у устья скважин. В процессе распространения волн определенной частоты через резонансные явления, которые приводят к раскрытию трещин в пласте-коллекторе и как результат повышение нефтеотдачи [6]. Эта технология успешно опробована на ряде месторождений России и других стран, обеспечив прирост добычи нефти.

Заключение

Вибрационная сейсморазведка, предложенная первоначально как альтернатива импульсному возбуждению волн, за последние годы получила широкое развитие и применение, заняв одно из первых мест в общем комплексе геолого-разведочных работ. Возможности этого метода геофизики еще далеко не исчерпаны и следует ожидать новых открытий и нестандартных решений, базирующихся на особенностях вибрационной сейсморазведки. Анализируя ее современное состояние и перспективы дальнейшего развития, можно очертить круг первоочередных задач, требующих своего решения:

1. Создание новых эффективных образцов вибрационных источников колебаний, способных возбуждать продольные и поперечные волны различной поляризации, и на их основе развитие многоволновых методов изучения сред, поиска и разведки полезных ископаемых;
2. Автоматизация выбора параметров управляющих сигналов, адаптированных к задачам и условиям проведения работ, а также к изменениям поверхностных отложений и качества получаемых записей;
3. Разработка новых технологий, направленных на повышения качества и производительности работ, в первую очередь, при съемках 3D и 4D;
4. Развитие и продолжение работ по применению и опробованию нестандартных технологий вибрационной сейсморазведки (нелинейные явления, вибровоздействия для прироста добычи и др.);
5. Увеличение объемов теоретических и экспериментальных, полевых работ, направленных на совершенствование и развитие метода.

Литература

1. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки / Под редакцией М.Б. Шнейерсона - М. "Издательство "Недра", 1998.
2. Теория и практика полевого сейсмического эксперимента Уралсейс, Р.Г. Берзин, А.К. Сулейманов, Н.К. Юнусов, С.Н. Кашубин. В сб. "Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс)", Тверь: ГЕРС, 2001, с.13-21.
3. Обработка близвертикальных данных МОБ-ОПТ А.К. Сулейманов, Р.Г. Берзин, Т.В. Давыдова, А.П. Жуков В сб. "Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс)", Тверь: ГЕРС, 2001, с. 22-30.
4. Жуков А.П., Шнейерсон М.Б. Адаптивные нелинейные методы вибрационной сейсморазведки - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000.
5. Union HFVS with slip-sweep for improved spatial resolution and acquisition efficiency, J.M. Hufford, J. May, T.Brown, N. Pardue, J.W. Thomas, p 39-42, Expanded Abstracts. SEG, Dallas, 2003.
6. Садовский М.А., Абасов М.Т., Николаев А.В. Перспективы вибрационного воздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи. Вести АН СССР. 1986-№9 - с. 95-99.



Для обеспечения больших и более плотных приемных сетей наблюдения число сейсмических каналов, регистрируемых наземными сейсмическими партиями, удваивается каждые пять лет. Параллельно, увеличивается плотность пунктов возбуждения, поскольку для сейсмических изображений пространственное распределение энергии источника также важно. Однако стоимость одного пункта возбуждения превышает стоимость пункта приема. Это приводит к необходимости развертывания больших активных расстановок, имеющих до 8000 активных каналов, подключенных к сотням тысяч геофонов тысячами километров кабеля.

Затраты на приобретение, поддержку и развертывание такой большой расстановки увеличились до такой степени, что может быть, по крайней мере для открытых районов и для ВиброСейса, более экономично увеличивать число пунктов возбуждения вместо дополнительных пунктов приема.

В открытых пустынных районах большие 3D партии, использующие ВиброСейс, смогли значительно увеличить число вибрационных возбуждений (VP) в час. Благодаря использованию нескольких групп вибраторов (до 4-х) был сокращен временной цикл (интервал между двумя последовательными свипами), что привело к увеличению производительности наземной партии до уровней (215 VP/час), сравнимых с производительностью в морской сейсморазведке (до 360 возбуждений пушки в час). Эта высокая производительность позволяет проводить большие 3D наблюдения (1000 км²/мес, кратность 60) в течение временного периода, необходимого для предыдущих плотных 2D наблюдений и увеличить кратность 3D наблюдений в шумящих районах до 960 (9600 %), удерживая стоимость работ на приемлемом для клиента уровне.

Этот успех стал возможен благодаря тесной интеграции электроники вибратора с регистрирующей системой. В данной статье описаны дополнения, сделанные Sercei в регистрирующих системах SN388 и 408UL для достижения этих уровней вибросейсмической производительности с использованием вибраторной электроники VE432. Сначала показан вклад новых вибросейсмических методик в сокращение временного цикла. Затем описаны аппаратные и программные усовершенствования, обеспечивающие управление работами источником возбуждения, использование сверхбольших расстановок (только для 408UL) и системы контроля качества в реальном времени (также для Ve416).

Вибросейсмические методики

Производительность, прежде всего, зависит от числа возбуждений (VP), которые вибраторы могут выполнить в течение часа или дня. Для упрощения примем, что каждое VP выполняется с одиночным свипом, как это все чаще и чаще имеет место для регистрации 3D для увеличения плотности пунктов возбуждения.

Регистрация с одиночной группой вибраторов

В случае одного вибратора или одиночной группы вибраторов временной цикл представляет

собой сумму длительности свипа и времени перемещения (Рис. 1). Для заданной вибросейсмической записи (длительность свипа + время прослушивания) временной цикл зависит от времени перемещения, особенностей местности и расстояния между последовательными пунктами возбуждения. С точки зрения регистрации время перемещения является потерей времени. Максимальная производительность, даже в случае короткого 12 с свипа и расстояния между пунктами возбуждения 5 м, составляет менее 100 возбуждений в час.

Вибросейсмическую запись удобно представить на диаграмме "частота/время" в виде параллелограмма. По горизонтали отображается каждая излучаемая частота свипа (от F_{min} до F_{max}) в течение постоянного временного интервала, называемого временем прослушивания. Эта F/T диаграмма свидетельствует, что между двумя записями остается большой F/T промежуток. Поскольку наивысшие частоты (HF) подавляются до достижения ими поверхности, в конце времени прослушивания регистрируются лишь шумы. Таким образом, время прослушивания после возбуждения свипа может быть сокращено без потери качества данных (возможно лишь в UL408 для версии 8.1).

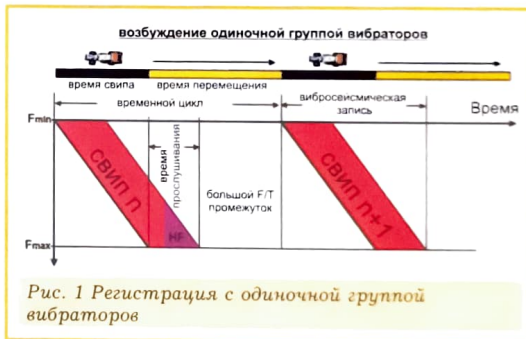


Рис. 1 Регистрация с одиночной группой вибраторов

Регистрация с несколькими группами вибраторов: режим flip-flop

В начале 90-х годов в 3D партиях стали внедрять вторую группу вибраторов. Идея заключалась в том, чтобы в то время как одна группа вибраторов проводит возбуждение (время свипа), другая группа вибраторов перемещается на следующий пункт возбуждения (время перемещения). Эта вибросейсмическая методика известна как Flip-Flop возбуждение (Рис. 2). Это уменьшает F/T промежуток, связанный со временем перемещения. В лучшем случае, временной цикл может стать равным сумме времени свипа и времени прослушивания (при более коротком временном цикле две последовательные вибросейсмические записи перекроются).

Такая регистрация в режиме Flip-flop в настоящее время стала обычной практикой в открытых районах. Две группы вибраторов могут осуществлять возбуждение в центре расстановки (как для геометрии двойного зигзага) или вне расстановки, на обоих ее концах. Производительность может достигать 155 VP/час. Для партий, работающих в непрерывном режиме, число возбуждений в день зачастую превышает 3000 VP.

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

при производительности регистрации более 3700 VP/день. В случае, когда продвижение вдоль одной из сторон полосы возбуждения затруднено, иногда используют три группы вибраторов. Поскольку группы вибраторов могут перемещаться сбоку (в линию) по отношению к расстановке, требуется активировать вдоль профилей различные пункты приема. Этим объясняется, почему в регистрирующей системе 408UL предусмотрена возможность формирования активной расстановки для каждой группы вибраторов в считанные секунды.



Рис. 2 Регистрация в режиме Flip-flop

Регистрация с несколькими группами вибраторов: скользящий свип (slip-sweep)

В основе регистрации в режиме slip-sweep лежит начало возбуждения следующей группой вибраторов в то время, когда предыдущая группа вибраторов еще продолжает возбуждение. Как это видно на F/T диаграмме, два перекрывающихся вибросейсмических возбуждения не интерферируют друг с другом, когда они излучают различные частоты. F/T промежуток теперь ограничивается узкой полосой (Рис.3). Временной цикл, названный slip time, должен быть длиннее, чем время прослушивания, чтобы обеспечить возможность полной записи для каждой из частот. Последовательности (называемые "залпами") перекрывающихся вибросейсмических возбуждений сохраняются в памяти регистрирующей системы до проведения корреляции с исходным свипом. Используя Отметку Моента (ОМ) каждого возбуждения, "залповая" запись разделяется для воссоздания отдельных возбуждений. Следует отметить, что в зависимости от времени перемещения (например, от характера местности и расстояния) slip-slip возбуждения могут не перекрываться, как это имеет место в режиме flip-flop, и затем снова перекрываться. Вибраторная электроника VE432 и регистрирующая система рассчитаны на эти особенности.

Регистрация в режиме скользящего свипа впервые была испытана в 1995 г. в Омане и использовалась в работах для PDO с 1998 г., когда Sercel внедрило данную методику с помощью VE432 (P. Burger и др., The Leading Edge, Октябрь,



Рис. 3 Регистрация в режиме скользящего свипа (slip-sweep)

1999). Эти ранние работы показали, что и нелинейных искажений шум от одного возбуждения может загрязнять последующее возбуждение, влияя на качество данных. Этот эффект увеличивается по мере того, как slip time приближается ко времени прослушивания. Однако, этот шумовый загрязнение может быть вычислено и удалено, чтобы поддерживать slip time как можно ближе к времени прослушивания (HPVA от CGG). Производительность регистрации в режиме скользящим свипом с использованием 4-х групп вибраторов составляет 215 VP/час. Потенциальный максимум производительности с HPVA оценивается в 360 VP/час (с использованием 16-х Slip time и 4-х групп вибраторов). Удивительно, но регистрация в режиме скользящего свипа редко используется вне Омана. Одной из причин является необходимость иметь отдельные радиочастоты и DPG (часть VE432) для каждой группы вибраторов (для регистрации в режиме flip-flop достаточно одной радиочастоты).

Новые достижения в области ВиброСейса

Работа с несколькими группами вибраторов базируется на взаимосвязанных достижениях в области аппаратных и программных средств, которые включают: управление работой источником возбуждения, сверхбыстрая расстановка и контроль качества в реальном времени.

Управление работой источником возбуждения

Группа вибраторов часто расположена в нескольких километрах от центральной системы регистрации, а оператор не может начать регистрацию до того, как группа готова к возбуждению. Таким образом, более эффективно разрешить группе вибраторов начать возбуждение сразу же по достижении ею нужного пункта возбуждения. Этот вид работы назван "управление работой источником возбуждения", поскольку находится под контролем вибраторов, помощью вибраторной электроники (VE432).

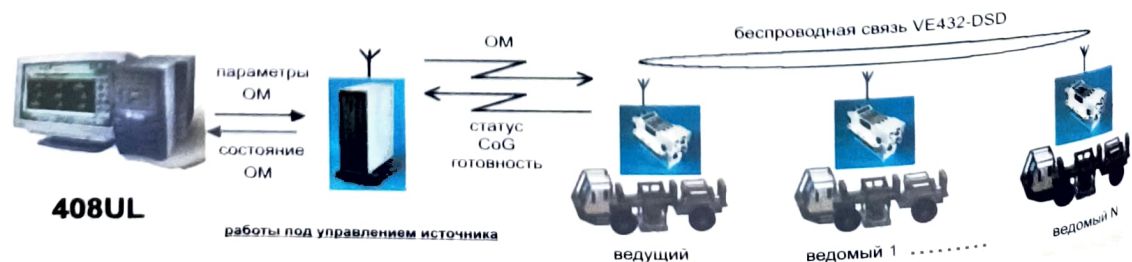


Рис. 4 Управление работой источником возбуждения

разделенной на отдельные блоки (Рис. 4)

- Цифровой генератор свипа (DPG), подключенный через Ethernet к регистрирующей системе, который действует в качестве ведущего управляющего блока.

- Цифровой сервогенератор (DSD), устанавливаемый на каждом вибраторе, обеспечивающий управление свипом в реальном времени и передачу соответствующих атрибутов по радио в DPG.

Каждый вибратор группы позиционируется с помощью дифференциального GPS. Для определения положения центра гравитации (CoG) и состояния каждого вибратора связь между вибраторами управляющей группы осуществляется по местной беспроводной связи. Когда управляющая группа вибраторов сообщает DPG о готовности вибраторов, 408UL формирует активную расстановку, соответствующую положению CoG и вырабатывает команду "Огонь" (FO) для DPG.

Сверхбольшие расстановки

Задержка с формированием активной расстановки, соответствующей каждому пункту возбуждения, становится заметной (до 4 с) по мере увеличения размера расстановки. Для уменьшения этой задержки до величин менее 1 с Sercel выдвинула концепцию сверхбольшей расстановки и реализовала ее в 408UL. Сверхбольшая расстановка это шаблон, включающий все развернутые каналы, в границах которого находятся все активные расстановки, соответствующие нескольким последовательным пунктам возбуждения (Рис. 5). Все каналы сверхбольшей расстановки подключены к центральной регистрирующей системе и обрабатываются в ней. Для записи на ленту с помощью соответствующего SPS файла отбираются только те каналы, которые относятся к активной расстановке. Это сокращение временного цикла на несколько секунд обеспечило увеличение общей производительности больших вибросейсмических партий в среднем на 15%. Однако, концепция сверхбольшей расстановки предполагает одновременное развертывание большого числа каналов и наличие достаточной памяти в центральной регистрирующей системе.

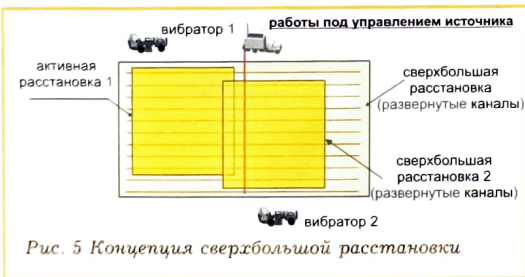


Рис. 5 Концепция сверхбольшей расстановки

Контроль качества источника возбуждения в реальном времени

Для обеспечения надежности данных, получаемых высокопроизводительными партиями, обязателен непрерывный контроль полевой аппаратуры, данных и работ. Контроль качества (QC) в реальном времени особенно важен для ВиброСейса, поскольку форма сигнала зависит от характеристик грунта (твердость и вязкость). VE432 вычисляет для каждого свипа и для каждого вибратора среднюю и пиковую фазовую ошибку, общее нелинейное искажение и пиковое усилие. Эти параметры отображаются в виде гистограммы со значением последнего VP в сравнении с текущим средним значением предыдущих 50-ти VP (Рис. 6). В конце дня все эти значения статистически анализируются для проверки качества данных и выявления

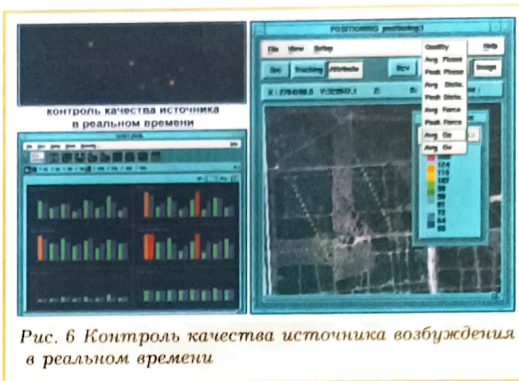


Рис. 6 Контроль качества источника возбуждения в реальном времени

вибраторов, нуждающихся в превентивном обслуживании.

Для соотношения измерений QC с окружающей средой, в которой они проводились, в контрольных изображениях используются спутниковые фотографии Географической Информационной Системы (GIS) (Рис.6). Это облегчает установление возможной связи между характером местности и изменениями сигнала.

Заключение

Работа с несколькими группами вибраторов и создание новых аппаратных (VE432) и программных (сверхбольшая расстановка, QC) средств обеспечили возможность существенного увеличения производительности источников возбуждения. Это усиление акцента на источник возбуждения уже доказало свою предпочтительность для сейсмических изображений из-за более симметричного пространственного квантования между возбуждением и приемниками (G.Vermeer, 3D seismic survey design, SEG 2002). Например, регистрация типа "пункт возбуждения/пункт приема" требует одновременного плотного пространственного квантования приемной линии (вдоль профиля) и линии возбуждения (поперек профиля) для получения непрерывно квантованных наборов предварительно суммированных данных (поперечная расстановка) для подавления поверхностной волны.

Другими достижениями в области повышения производительности ВиброСейса являются:

- свободное позиционирование вибраторов (вибраторы позиционируются в реальном времени, а не по предварительно установленным вехам);
- использование тяжелых вибраторов (типа Nomad 90T) для уменьшения длительности свипа и более плотного размещения вибраторов в пункте возбуждения.

Возможно ли еще больше сократить временной цикл? Единственной возможностью является использование непрерывной регистрации вибро-сейсмических возбуждений (подобно режиму непрерывного прослушивания системы 408UL) и внедрение другой системы управления группой вибраторов. Конечно, все эти существующие и будущие улучшения в вибросейсмической регистрации имеют смысл в случае финансовой заинтересованности геофизического подрядчика со стороны Заказчика в увеличении производительности работ.

Благодарности

Автор признателен Daniel Boucard, менеджеру Sercel в области разработки наземного оборудования, за его поддержку.

(перевод И.М. Кузнецова, ОАО СКБ СП, г. Саратов)

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Об амплитудной и энергетической эквивалентности вибрационной и импульсной сейсморазведки

Юшин В.И., СО РАН, г. Новосибирск

Введение

Задача сопоставления сейсмических данных, полученных с помощью различных источников волн, на практике возникает весьма часто. Обычно производители программ обработки сейсмограмм, но в большей степени ориентируются на визуальные, качественные, а значит, субъективные экспертные оценки полученных данных. Наибольшие трудности возникают при сопоставлении сейсмограмм от импульсных и вибрационных источников. На практике чаще всего пользуются простейшими относительными оценками, сравнивая по форме нормированные по амплитуде сейсмограммы или их безразмерные спектры. При этом очевидное эмпирическое требование к сравниваемым исходным материалам состоит в приблизительно одинаковом уровне стороннего шума на записях. Примечательно, что, выдвигая такое требование, мы тем самым неосознанно подчиняемся фундаментальному закону оптимального приема сигналов и согласованной фильтрации [1]: выходное отношение сигнал/шум (ОСШ) после оптимальной процедуры всегда равно отношению полной энергии сигнала *независимо от его формы* к спектральной плотности входного шума. Значит, добиваясь одинакового ОСШ на сравниваемых, например, импульсных и вибрационных, сейсмограммах, мы тем самым достигаем равенства сейсмических энергий, обеспечивших их получение. Однако, строить методику сопоставления, ориентируясь на остаточный шум, было бы непрактично. Нужны строгие правила, работающие независимо от наличия или отсутствия стороннего шума. Вопросу обоснования таких правил корректного сопоставления импульсных и вибрационных сейсмограмм с энергетической точки зрения посвящена настоящая работа. Другие возможные критерии сравнения, как то: разрешающая способность, производительность и т.п., - мы здесь не рассматриваем. Задачу сформулируем следующим образом.

Пусть даны две сейсмограммы - импульсная и вибрационная, полученные в одной и той же расстановке ПВ-ПК с помощью импульсного и вибрационного источников, соответственно. Условимся о терминологии. *Сейсмограмма*, или *импульсная сейсмограмма* - запись колебаний импульсного источника в точке приема. *Виброграмма* - первичная запись вибрационных колебаний в той же точке. *Вибрационная сейсмограмма* - обращенная в импульсную форму виброграмма.

Импульсная сейсмограмма и виброграмма могут быть легко представлены в размерности каких-либо единиц движения, например, колебательной скорости, смещения или ускорения, поскольку являются первичными записями, а существующие сейсмодатчики тарируются в именно в таких единицах. Значит, для сравнения необходимо в таких же единицах представить и вибрационную сейсмограмму, полученную путем вычисления взаимной корреляционной функции (ВКФ) виброграммы и зондирующего сигнала.

Обычно корреляционная функция имеет размерность мощности сигнала. В сейсморазведке, как правило, вместо зондирующего сигнала используется его подобие, называемое опорным (иногда, управляющим) сигналом, имеющее такую же частотно-фазовую, но иную амплитудно-временную структуру. В этом случае размерность ВКФ есть произведение амплитудностей коррелируемых сигналов. Естественно потребовать, чтобы размерности виброграммы и последней должна иметь размерности совпадали, то есть, размерности сопоставляемых сигналов. Но при этом, подобно тому, как изменение волнового поля во времени, то есть, интенсивность возмущающего воздействия (взрыва, удара), амплитуда воздействия должна быть пропорциональна амплитуде воздействия (а не его квадрату, как это было бы при строгом выполнении алгоритма взаимной корреляции). И здесь возникает вопрос, какую из характеристик первичного колебания должна отображать вибрационная сейсмограмма? Таких характеристик мы видим две. Это либо фактическая амплитуда принятого вибрационного колебания, очищенного от стороннего шума, либо некая воображаемая амплитуда, несущая информацию об общей энергии зондирования. Будем называть соответствующие подходы к калибровке вибрационных сейсмограмм амплитудным и энергетическим.

При амплитудном подходе мы можем получить ответ на вопрос, каков был фактический уровень вибрационных колебаний, соответствующих той или иной волне в импульсной сейсмограмме. При энергетическом подходе мы задаем вопрос, каков был бы уровень колебаний, в этом же волновом импульсе, если бы вся сейсмическая энергия, сгенерированная за время непрерывного зондирования вибрационным источником, была бы "выплеснута" им мгновенно (с сохранением ее спектрального состава)?

Каждый из подходов решает свои задачи. Чаще всего используется энергетический подход. Впервые он в общем виде разработан И.С.Чичиным в основополагающей работе [2] и позже неоднократно воспроизводился или адаптировался применительно к конкретным задачам [3, 4]. Этот подход дает объективную характеристику энергетической эффективности источника колебаний. В частности, он позволяет по пробным вибровоздействиям определить необходимые параметры зондирующего сигнала, требуемое количество источников и число накопленных, а также сформировать закон нелинейной развертки частоты, оптимизирующий разрешающую способность виброзондирования [5]. Однако вопрос о непосредственном сопоставлении амплитуд вибрационных и импульсных сейсмограмм в правильной размерности тех и других проработан не был.

Альтернативный амплитудный подход был впервые целенаправленно применен в работе [6] для оценки фактического уровня вибрационных колебаний на разных удалениях от вибратора в



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕОРИЯ

условиях, когда их амплитуды были значительно ниже уровня шума. Помимо этой упомянутой задачи он необходим для анализа некоторых нелинейных явлений в упругой среде, например, нарушений принципа пропорциональности и, наоборот, для исследования эффекта статистической вибрационной линейризации, когда регулярный сигнал, будучи меньше уровня квантования, уверенно выделяется при корреляционном приеме. Кстати упомянуть здесь еще и о проблеме поиска кванта механического движения. Если таковой существует, методика его обнаружения и измерения может быть основана на использовании вибросейсмического метода с амплитудным критерием восстановления вибрационных сейсмограмм.

Преобразование виброграммы с сохранением энергии и размерности сигнала

Как известно, математическая основа алгоритма обработки сигналов в корреляционной модификации вибрационной сейсморазведки (метод "Вибросейс") заимствована из теории оптимальной фильтрации и статистической теории связи [1, 7, 8]. Коррелятор, восстанавливающий из виброграммы импульсную сейсмограмму, можно рассматривать как линейный фильтр, определенным образом связанный с формой зондирующего сигнала, так называемый, согласованный фильтр.

Пусть $h(t)$ - весовая (импульсная переходная) функция геологической среды, на вход которой поступает зондирующее воздействие $b(t)$. Если система-среда линейна, датчик на ее выходе зарегистрирует колебание

$$v(t) = \int_0^x h(\lambda) b(t - \lambda) d\lambda \quad (1)$$

правда, осложненное сторонним шумом $n(t)$. Свертка (1) описывает регулярную, то есть, детерминированную составляющую сейсмического колебания независимо от типа зондирующего сигнала, будь то импульс взрыва или воздействие вибратора. В частотной области эта свертка отображается произведением комплексного спектра Фурье $B(jf)$ воздействия $b(t)$ на комплексную частотную характеристику $H(jf)$ среды:

$$V(jf) = H(jf) B(jf) \quad (2)$$

Потребуем, чтобы размерность выходного сигнала $v(t)$ совпадала с размерностью входного $b(t)$. Нетрудно увидеть, что для этого достаточно, чтобы ее комплексный спектр $H(jf)$ был бы безразмерен, и, стало быть, размерность весовой функции среды $h(t)$ как преобразования Фурье от $H(jf)$ должна быть обратной времени.

Рассмотрим важнейший частный случай: зондирующее воздействие $b(t)$ представляет собой свип-сигнал с постоянной скоростью развертки частоты β (размерность Гц/с) в полосе от начальной частоты f_1 до конечной f_2 и медленно меняющейся амплитудой $B(t)$:

$$b(t) = B(t) \cos(2\pi f_1 t + \pi \beta t^2), \quad 0 < t < T \quad (3)$$

где T - длительность свипа. Величина β равна

$$\beta = \frac{f_2 - f_1}{T} \quad (4)$$

Свертка (1) представляет собой виброграмму в отсутствие стороннего шума. Преобразование такой виброграммы в импульсную форму будем

выполнять, путем вычисления интеграла $k(\tau)$ взаимной корреляции $v(t)$ с опорным сигналом $c(t)$, который по своей фазовой структуре подобен зондирующему $b(t)$, но имеет постоянную амплитуду c_0 и некоторую другую размерность

$$k(\tau) = \int_0^T c(t) v(t + \tau) dt \quad (5)$$

где

$$c(t) = c_0 \cos(2\pi f_1 t + \pi \beta t^2), \quad 0 < t < T \quad (6)$$

Мы здесь, используем выражение для интеграла корреляции без нормировки на длительность T . В этом есть определенный смысл, подчеркивающий связь корреляции и согласованной фильтрации. Если же в ходе решения задачи нормировка на длительность, действительно, окажется необходимой, она неизбежно проявится в амплитудном коэффициенте c_0 опорного сигнала.

Найдем амплитуду опорного сигнала $c_0 = c_E$, необходимую для корректного отображения амплитуды вибрационной сейсмограммы по энергетическому критерию, потребовав, чтобы энергия вибрационной сейсмограммы (коррелограммы) была равна энергии породившей ее виброграммы (не принимая во внимание сторонний шум). Это требование можно назвать *принципом сохранения энергии* полезного сигнала при корреляционном преобразовании виброграмм. Интеграл (5) отображается в частотной области произведением комплексного спектра $V(jf)$ виброграммы и комплексно сопряженного спектра $C^*(jf)$ опорного сигнала:

$$K(jf) = C^*(jf) V(jf) \quad (7)$$

Энергия вибрационной сейсмограммы (5) согласно теореме Парсеваля выражается двояко (во временной и частотной областях):

$$E_K = \int_0^T k^2(\tau) d\tau = 2 \int_0^{f_2} |K(jf)|^2 df = 2 \int_0^{f_2} |C(jf)|^2 |V(jf)|^2 df \quad (8)$$

Если модуль спектра опорного сигнала сделать равным безразмерной единице в полосе рабочих частот вибратора:

$$|C(jf)| = \begin{cases} 1, & f_1 < |f| < f_2 \\ 0, & |f| < f_1, |f| > f_2 \end{cases} \quad (9)$$

то из равенства (8) последует, что

$$E_K = \int_0^T k^2(\tau) d\tau = 2 \int_{f_1}^{f_2} |V(jf)|^2 df \quad (10)$$

то есть, энергия коррелограммы окажется равной энергии виброграммы. Остается найти, какова должна быть амплитуда опорного свипа (6) для выполнения соотношения (10). Для этого вновь обратимся к теореме Парсеваля, но теперь уже для свип-сигнала.

$$\int_0^T c^2(\tau) d\tau = 2 \int_{f_1}^{f_2} |C(jf)|^2 df \quad (11)$$

Подставляя в левую часть этой формулы выражение (6), а в правую - (9), получаем

$$\frac{c_0^2 T}{2} = 2(f_2 - f_1) \quad (12)$$

откуда с учетом формулы для скорости свипа (4), находим амплитуду опорного свип-сигнала

$$c_0 = c_E = 2 \sqrt{\beta} \quad (13)$$



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕОРИЯ

и его размерность 1/с. Таким образом, пользуясь при корреляции опорным свип-сигналом вида

$$c(t) = 2\sqrt{\beta} \cos(2\pi f_1 t + \pi \beta t^2), \quad 0 < t < T \quad (14)$$

мы всегда получаем вибрационную сейсмограмму, сейсмическая энергия которой равна энергии виброграммы. Это означает, в частности, что теперь можно непосредственно сравнивать вибрационную сейсмограмму (коррелограмму) с записью взрыва или удара, будучи уверенным, что *соотношение амплитуд полезных волн на обеих сейсмограммах отображает истинное соотношение сейсмических энергий породивших их источников.*

Но еще более важно, и это следует из выражений (8-10), что энергетические и амплитудные спектры виброграммы и импульсного сигнала, выраженные в одинаковых размерных единицах, например, спектров плотности мощности электрического сигнала ($V^2/Гц$) или спектров плотности мощности колебательной скорости почвы ($m^2/с$), можно сравнивать в этих абсолютных единицах. Единственное очевидное требование состоит всего лишь в соблюдении правил выполнения преобразования Фурье с учетом физической размерности.

Вместе с тем, подчеркнем, что все вышеизложенное относится к сопоставлению одиночных воздействий: одиночного импульса и одиночного свипа. В случае работы с накоплением повторных воздействий необходимо привести записи либо к одиночному воздействию, либо к их энергетической сумме. В первом случае это делается с помощью простой процедуры вычисления среднего по ансамблю воздействий, то есть делением их суммы-"штабеля" на число n воздействий. Во втором случае, когда мы хотим выполнить полную энергетическую оценку (по сумме n воздействий, при которых энергия источника возрастает в n раз), мы должны полученную сумму-"штабель" разделить на $\sqrt{n}$.

Обращение импульсной сейсмограммы в виртуальную виброграмму (декорреляция)

Выше мы рассмотрели условия энергетически корректного сопоставления импульсных и вибрационных сейсмограмм в импульсной форме и в спектральной области. На практике в силу существенно различных спектральных характеристик импульсных и вибрационных источников такое сопоставление не всегда достаточно информативно. Иногда полезно провести анализ импульсной записи в пространстве виброграмм. Для этого вообразим, что данная реальная импульсная сейсмограмма, полученная, например, от взрыва, является результатом корреляции некоторой виртуальной виброграммы, которая в свою очередь порождена гипотетическим виброисточником, вырабатывающим свип-сигнал, параметры которого мы можем задать произвольно. Поскольку, в конечном счете, речь идет о сопоставлении реального импульсного с реальным вибрационным источником и конкретным опорным свип-сигналом, то параметры гипотетического (виртуального) опорного свип-сигнала следует выбрать почти такими же, как у реального. Далее задача сводится к решению интегрального уравнения (5) относительно подынтегральной функции $v(t)$ при заданных функциях $k(t)$ и $c(t)$, то есть, к обратной задаче. Как известно, решение такой обратной задачи, относящейся к классу некорректных, обычно выполняется в частотной области на основе

соотношения (7) с дополнительной регуляризацией. В данном случае мы достигнем регуляризации не добавлением малого параметра в знаменатель, как обычно, а расширением полосы частот виртуального опорного свип-сигнала в сравнении с фактическим свипом, нулевой частоты и вверх приблизительно на 10-20%. Главное условие - спектр виртуального опорного свипа должен быть шире спектра импульсной сейсмограммы. Виртуальный опорный сигнал будет иметь ту же скорость разбегания амплитуды (13), что и основной, однако вследствие расширенной полосы частот он будет иметь большую продолжительность $T_1 > T$.

$$c_1(t) = 2\sqrt{\beta} \cos(\pi \beta t^2), \quad 0 < t < T_1 \quad (15)$$

Модуль спектра $C_1(jf)$ этого опорного сигнала в рабочей полосе частот также будет равен 1, и декорреляции не будет нарушен. Теперь можно найти спектр виртуальной виброграммы как отношение спектра импульсного сигнала к сопряженному спектру виртуального свипа, а саму ее через обратное преобразование Фурье (IFT) этого отношения:

$$V(jf) = \frac{K(jf)}{C_1^*(jf)} \Rightarrow IFT \Rightarrow v(t) \quad (16)$$

Здесь необходимо сделать замечание технического характера: перед выполнением обратного преобразования Фурье (16) следует обнулить самые крайние по частоте спектральные компоненты числителя или частного в правой части равенства (16), не допуская резких разрывов спектра на его границах, вызываемых малыми величинами знаменателя (16).

Преобразование виброграммы с сохранением амплитуды и размерности сигнала

В отличие от энергетического "амплитудный" подход позволяет представить вибрационную сейсмограмму в масштабе фактических движений почвы, проигнорировав возрастание амплитуды вследствие накопления энергии за счет корреляционного сжатия и многократных воздействий. Разумеется, в действительности все указанное процедуры должны присутствовать хотя бы для того, чтобы выделить полезный сигнал из помехи, преобразовать его в импульсную форму. Найдя амплитуду c_1 опорного сигнала, обеспечивающего такое масштабирование вибрационной сейсмограммы.

Пусть весовая функция геосреды представляется совокупностью дельта-функций элементарных отражателей

$$h(t) = \sum_i h_i \delta(t - t_i) \quad (17)$$

Зондирующий $b(t)$ и опорный $c(t)$ свип-сигналы возьмем в упрощенном виде, начиная с нулевой частоты

$$b(t) = B \cos(\pi \beta t^2), \quad 0 < t < T \quad (18)$$

$$c(t) = c_1 \cos(\pi \beta t^2), \quad 0 < t < T \quad (19)$$

Виброграмма будет иметь вид:

$$v(t) = \sum_i B h_i \cos \pi \beta (t - t_i)^2 \quad (20)$$

Рассмотрим элементарное отражение, полагая, что его задержка равна нулю, что нарушает общности рассуждений в рамках амплитудного анализа:

$$v_i(t) = B h_i \cos(\pi \beta t^2) \quad (21)$$

В результате вычисления интеграла взаимной корреляции с опорным сигналом (19) мы получим выражение для амплитуды этого элементарного сигнала

$$a_i = \int_0^T B h_i c_i \cos^2(\pi \beta t^2) dt \approx \frac{B h_i c_i T}{2} \quad (22)$$

откуда видно, что для выполнения требования 55 опорный сигнал должен иметь амплитуду

$$c_i = \frac{2}{T} \quad (23)$$

С другой стороны, если бы вычисления выполнялись с опорным сигналом (15), мы получили бы для этой волны "энергетическую" амплитуду

$$e_i = \int_0^T B h_i 2\sqrt{\beta} \cos^2(\pi \beta t^2) dt \approx B h_i T \sqrt{\beta} = B h_i \sqrt{FT} \quad (24)$$

Следовательно, "энергетическая" амплитуда i -го импульса коррелограммы определяется через фактическую амплитуду i -го луча виброграммы формулой

$$e_i = a_i \sqrt{FT} \quad (25)$$

в которой легко увидеть аналогию с известным соотношением между входным и выходным отношениями сигнал/шум при корреляционном приеме [1].

Таким образом, выбирая амплитуду опорного сигнала при корреляции (5) по формулам (13) или (23), мы получаем вибрационную сейсмограмму, соответственно, в "энергетическом" или в "амплитудном" масштабе. Отметим кстати, что наиболее распространенное в литературе выражение для коррелограммы с нормировкой на длительность в виде

$$k(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T c(t)v(t+\tau) dt \quad (26)$$

с опорным сигналом $c(t)$, имеющим безразмерную единичную амплитуду, например, $c(t) = \cos(2\pi f_0 t + \pi \beta t^2)$, соответствует, так сказать, "половинно-амплитудному" масштабированию вибрационной сейсмограммы: вычисленное значение амплитуды любого волнового импульса будет равно половине амплитуды соответствующей непрерывной компоненты виброграммы.

Преобразование шума коррелятором

Виброграмма как правило, сопровождается аддитивным сторонним независимым шумом. В силу линейности процесса корреляции (согласованной фильтрации) процесс преобразования аддитивного шума коррелятором можно рассматривать независимо от виброграммы. Пусть входной стационарный шум характеризуется спектральной плотностью мощности $N(f)$. Спектральная плотность выходного шума $Q(f)$ выражается через входную $N(f)$ и квадрат модуля частотной характеристики преобразующего фильтра, то есть, через спектр $C(jf)$ опорного сигнала известным соотношением [1]

$$Q(f) = N(f)|C(jf)|^2 \quad (27)$$

Поскольку при "энергетическом" преобразовании амплитудный спектр опорного сигнала в рабочей полосе равен единице (9), выходной шум остается на уровне входного. При этом ОСШ возрастает в $\sqrt{FT}$ раз только за счет роста

регулярной составляющей коррелограммы

Легко показать, что при "амплитудном" преобразовании с амплитудой опорного сигнала (23) наблюдается противоположная картина: амплитуды волновых импульсов будут сохраняться равными соответствующим непрерывным гармоническим компонентам виброграммы, а спектральная плотность шума снизится в FT раз, что также даст повышение амплитудного ОСШ в $\sqrt{FT}$ раз

Обсуждение результатов и примеры их использования

Практическая проверка принципа сохранения энергии на численной модели и в натурных экспериментах.

Синтетическая виброграмма от свип-сигнала вида (3) единичной амплитуды с полосой частот 78-312 Гц длительностью 1,1 с, состоящая из 3 задержек (0,03, 0,04 и 0,1 с), не содержащая стороннего шума, подвергнута "энергетической" корреляции. На рис. 1 показаны совместно указанная виброграмма (А) и полученные из нее две коррелограммы: Б - в "энергетически корректном" масштабе, и В - в амплитудном. Расчет по формуле (10) энергии виброграммы А и коррелограммы Б показал разницу в 2%. По сейсмограммам А и Б на рис. 1 можно оценить возрастание амплитуды "энергетической" коррелограммы по отношению к виброграмме. Оно равно 1:16 для каждой из волн, что как раз соответствует теоретической величине $\sqrt{FT} = \sqrt{232 \cdot 1,1} = 16$. Следует, однако, заметить, что визуально воспринимаемая разница в амплитудах виброграммы и коррелограммы на рис. 1 меньше 16, и при прочих равных, будет тем меньше, чем больше отдельных волн присутствует в сейсмограмме. Так, разница в интенсивности реальной виброграммы и ее "энергетической" коррелограммы может оказаться вообще незначительной. Типичный пример такой пары (виброграмма и коррелограмма) показан на рис. 2.

Сравнительный анализ сейсмограмм импульсного и вибрационного источников в пространстве импульсных сейсмограмм и виртуальных виброграмм по энергетическому критерию эквивалентности.

В натурном эксперименте в Новосибирской области при одной и той же расстановке были получены импульсная и вибрационная сейсмограммы. В качестве импульсного источника использовалась легкая кувалда и 100-мм стальная платформа. Энергия одиночного удара кувалды была измерена и оказалась равной около 100 Дж. Вибрационный источник пьезокерамического типа был разработан и изготовлен Г.В. Егоровым. Источник состоял из пакета активных шайб с рабочей платформой диаметром 400 мм на

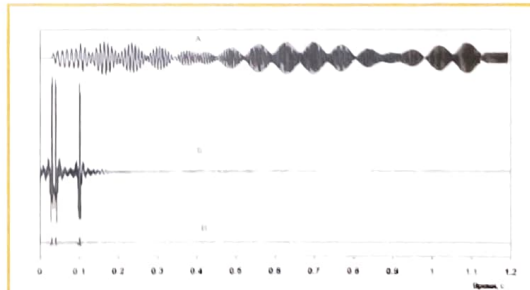


Рис. 1 Синтетическая виброграмма (А), состоящая из 3 волн, и ее "энергетическая" (Б) и "амплитудная" (В) коррелограммы



ТЕОРИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ

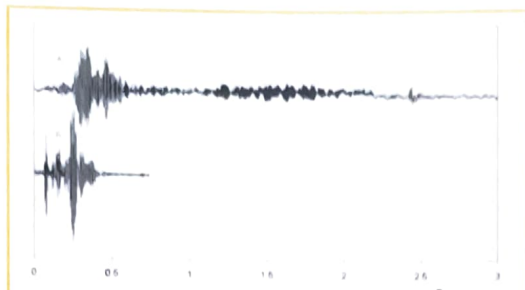


Рис. 2 Виброграмма (А) и коррелограмма (В) от пьезокерамического источника (вынос 40 м) в энергетическом масштабе

одном конце пакета и инертной массой 60 кг - на другом. Он устанавливался на грунт и дополнительно нагружался вспомогательным грузом. Источник питался силовым тиристорным преобразователем вольт-амперной мощностью 300 ВА. Однако активная электрическая мощность, идущая от преобразователя на источник, оказалась не более 1 Вт. Точнее активную мощность измерить не удалось вследствие существенно импульсного характера напряжения, вырабатываемого преобразователем, и исключительно реактивного характера входного электрического импеданса источника. Регистрация в обоих случаях проводилась с накоплением 16 воздействий (использовалась портативная цифровая сеймостанция "Лакколит X-M" разработки ООО "Логические системы"). Сейсмограммы и виброграммы приводились к одиночному воздействию и выражались в абсолютных значениях виброскоростей почвы.

Для импульсного источника было построено два волновых поля - открытым каналом (рис.3) и после полосовой фильтрации в полосе пропускания 78-312 Гц (рис.4), уравнивающей рабочую полосу импульсного источника с вибрационным. Третье волновое поле на этой же расстановке было построено для пьезокерамического источника на основе вибрационных сейсмограмм, прокоррелированных по энергетическому критерию (рис.5). В помощь сравнительному анализу этих трех сейсмограмм (рис.3-5) на рис.6 дана сборка "одноименных" трасс, по одной из каждого волнового поля (вынос 40 м).

Рассматривая сейсмограммы на рис.3-6, мы видим, что основная энергия импульсного источника находится вне (ниже) полосы частот вибрационного источника. Энергетический анализ импульсных сейсмограмм во временной области показывает, что на частотный диапазон виброисточника 78-312 Гц, то есть, на отфильтрованную сейсмограмму на рис. 4, приходится менее 1% энергии импульсной сейсмограммы от кувалды в широкой полосе

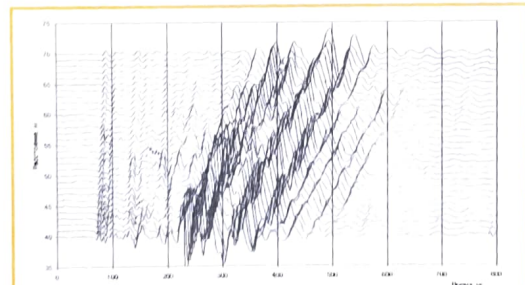


Рис. 3 Сейсмограмма поверхностного импульсного источника (кувалда с энергией удара 100 Дж) на базе 40-70 м

(рис.3). Правда, большая часть энергии удара кувалды сосредоточена в поверхностных волнах, они почти исчезают после фильтрации, тогда как на головную волну фильтрация оказала значительно меньшее влияние. Сравнивая далее равноценные по подосе частот волновые поля, созданные кувалдой и вибратором (рис. 4 и 5), можем заметить, что вибратор дает лучшее разрешение на объемных волнах. Так, на рис.5 на времени 80-90 мс уверенно разделяется головная волна на две, тогда как на рис. 4 это не очевидно.

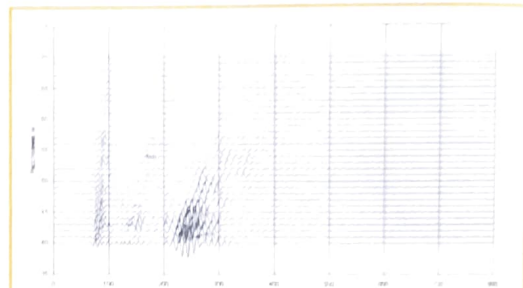


Рис. 4 Та же сейсмограмма от удара кувалды, что на рис.3, подвергнутая прямоугольной полосовой фильтрации с полосой пропускания 78-312 Гц

Спектральный анализ, несомненно, может оказать весьма существенную помощь для объективного сравнения импульсных и вибрационных источников. Как было отмечено выше, амплитудные и энергетические спектры импульсных сейсмограмм и виброграмм можно сопоставлять в абсолютных единицах, не прибегая к каким-либо коэффициентам пропорциональности, а просто соблюдая правила преобразования Фурье в абсолютных физических размерностях. Тем не менее, следует обратить внимание на использование виртуальных виброграмм, поскольку последние могут отображаться не только в функции времени, но и функции частоты. Для иллюстрации такого анализа на рис.7 показаны виртуальные виброграммы, полученные с помощью декорреляции (16) импульсных сейсмограмм, изображенных на рис.6 (в той же последовательности А, Б, В). При декорреляции использовался свип-сигнал вида (15) в полосе частот 0-340 Гц и параметром β таким же, как и у реального свипа. Поэтому ось абсцисс, являющаяся осью времени, отградуирована в мгновенных частотах виртуального свип-сигнала. Сборка виртуальных виброграмм на рис.7 дополнена четвертой трассой - реальной виброграммой пьезокерамического источника (рис.7Г). В соответствии с начальной частотой реального свипа начало реальной виброграммы смещено на графике на частоту 78 Гц.

Последним замечанием мы еще раз хотим

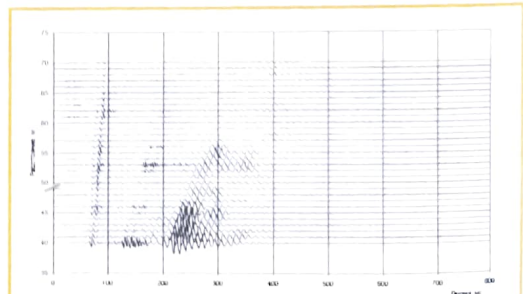


Рис. 5 Вибрационная сейсмограмма от пьезокерамического источника на той же расстановке, что и на рис.3 и 4, в полосе частот 78-312 Гц

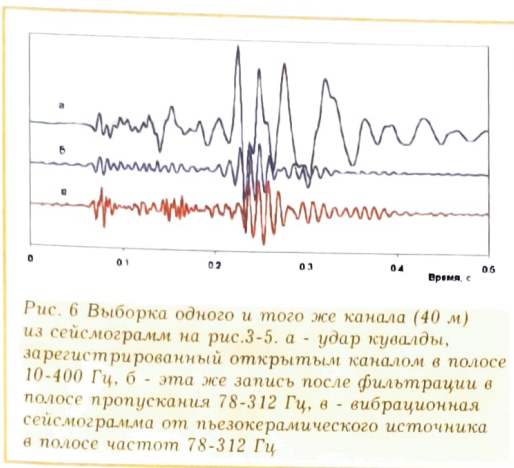


Рис. 6 Выборка одного и того же канала (40 м) из сейсмограмм на рис.3-5. а - удар кувалды, зарегистрированный открытым каналом в полосе 10-400 Гц, б - эта же запись после фильтрации в полосе пропускания 78-312 Гц, в - вибрационная сейсмограмма от пьезокерамического источника в полосе частот 78-312 Гц

подчеркнуть важный для понимания процедуры декорреляции факт - виртуальный свип-сигнал должен начинаться с нулевой частоты и заканчиваться выше верхней частоты реального свип-сигнала и выше верхней частоты импульсного сигнала. Это требование является достаточным для существования решения данной обратной задачи, и никакой другой регуляризации не требуется.

Из рис.7 видно, что вибрационный источник, существенно проигрывая в общей энергии импульсному, в области высоких частот имеет вполне заметное преимущество, что проявляется, как мы видели, в лучшем разрешении объемных волн. Напрашивается задача синтеза комбинированной импульсно-вибрационной сейсмограммы, которая могла бы обладать значительно большей выразительностью и информативностью, чем каждая из них в отдельности. Но это отдельная и достаточно сложная проблема.

Выводы

1. Рассмотрены два подхода к сопоставлению сейсмограмм, полученных с помощью импульсных и вибрационных источников: энергетический и амплитудный. При энергетическом подходе обеспечивается такой масштаб прокоррелированных сейсмограмм, при котором энергия коррелограммы равна энергии виброграммы. Этот подход назван "принципом сохранения энергии" при корреляции. При амплитудном

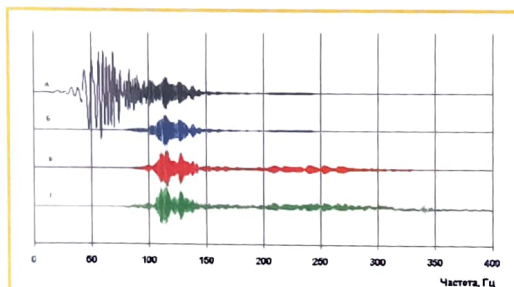


Рис. 7 Энергетически корректное сопоставление амплитуд виртуальных и реальных виброграмм импульсного и вибрационного источника для импульсных сейсмограмм, показанных на рис.6: а - виртуальная виброграмма записи импульсного источника (дальность 40 м) в полосе частот 10-340 Гц; б - то же после прямоугольной полосовой фильтрации с полосой пропускания 78-312 Гц; в - виртуальная виброграмма вибрационной сейсмограммы, полученная в полосе 10-340 Гц; г - реальная виброграмма в этой же точке профиля, полученная с помощью свип-сигнала в полосе 78-312 Гц

подходе устанавливается такой масштаб преобразования, при котором амплитуды коррелированных импульсов равны амплитудам породивших их компонент виброграммы. Оба подхода сводятся к выбору соответствующих амплитуд опорного сигнала при корреляции.

2. Отмечено, что в рамках энергетического подхода можно сопоставлять амплитудные или энергетические спектры сейсмограмм импульсного источника и виброграмм вибрационного в абсолютных единицах и естественных размерностях, не прибегая к каким-либо коэффициентам и, тем более, к нормировке, как это, к сожалению, зашито в большинстве стандартных пакетов. Надо всего лишь соблюдать правила преобразования Фурье с учетом размерности сигналов и времени.

3. Показано теоретически и практически проверено, что сравнение источников разного типа можно выполнять не только в области импульсных сейсмограмм или спектров, но и в пространстве виброграмм, что позволяет совместить временное и спектральное представление сейсмических сигналов. При этом виброграмма виброисточника используется в ее естественном виде, а запись импульсного источника обращается в виртуальную виброграмму.

В подготовке и проведении полевых экспериментов принимали участие Н.И. Геза, Г.В. Егоров, В.М. Носов, И.В. Сапрыкин, К.Б. Квасов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 03-05-64944.

Литература

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. "Сов. радио", М., 1966, 678 с.
2. Чичинин И.С. Вопросы теории сейсмического вибросондирования. / Методика сейсморазведки. М, Наука, 1965, с. 147-164.
3. Майоров В.В., Шнеерсон М.Б., Гродзенский В.А. Сравнительная помехоустойчивость импульсного и вибрационного способов возбуждения колебаний. Разведочная геофизика, вып. 91, М, Недра, 1980, с. 12-17.
4. Юшин В.И. Обоснование методики сопоставления энергетической эффективности импульсных и вибрационных источников сейсмических волн /Излучение и регистрация вибросейсмических сигналов.// Изд. АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и геофизики, Новосибирск, 1986, с.57-65.
5. Геза Н.И. Управление спектром вибросигнала с помощью нелинейных разверток частоты (на примере вибропросвечивания Байкальской рифтовой зоны). / Распределенная обработка информации. Труды международного семинара, 23-25 июня 1998 г, Новосибирск, Сибирское отделение РАН, 1998, с.446-456.
6. Юшин В.И., Геза Н.И. Метод абсолютных измерений амплитуд вибросейсмических колебаний по результатам их корреляционного накопления. /Вибросейсмические методы исследования Земли (Материалы Всесоюзной конференции), // АН СССР, Сиб. отд-ние, Вычислительный центр, Новосибирск, 1982, с.55-62.
7. Klauder J.R. The design of radar signals having both high range resolution and high velocity resolution. The Bell System Tech. Journ., 1960, v. 39, № 4. ("Зарубежная радиоэлектроника", 1961, № 1).
8. Klauder J.R., Price A.C., Darlington S., Albersheim W. J. The theory and design of Chirp radars. The Bell System Tech. Journ., 1960, v. 39, № 4. ("Зарубежная радиоэлектроника" 1961 г. № 1).
9. Чичинин М.С. Евчатов Г.П. Об одном способе расчета режима работы вибрационного источника с произвольным наперед заданным спектром. Геология и геофизика, №4, 1969, с.87-92.



ТЕОРИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ



Area Links

ТРАНСПОРТИРУЕМ ВСЕ. ВСЕГДА. ВЕЗДЕ

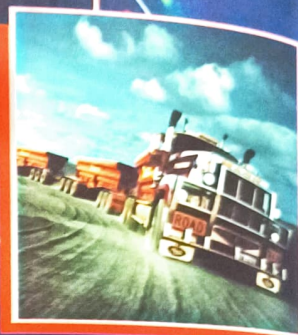


Авиаперевозки

международные и внутренние по России и странам СНГ

Автомобильные перевозки

международные и внутренние по России и странам СНГ



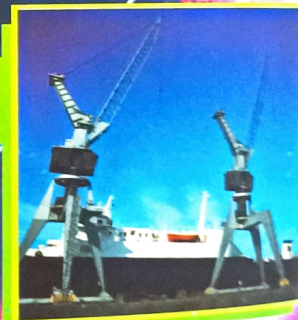
Доставка грузов

в режиме внутритаможенного транзита по территории РФ



Доставка грузов

“от двери Отправителя до двери Получателя”



Логистика

организация мультимодальных схем перевозок



5 ЛЕТ УСПЕШНОЙ РАБОТЫ С ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ!

ООО “Эреа Линкс”

117419, Россия, г. Москва, 2-й Рощинский проезд, д. 8, стр. 7, оф. 917
т./ф.: (095) 958-0068, 725-6336 / 37 / 38 E-mail: arealinks@mail.ru



Суть вопроса

В составе требований со стороны заказчика к выполнению геофизических изысканий вибрационными методами имеются два пункта, которые вызывают у наших исполнителей некоторую растерянность. Речь идет о величине вибрационного усилия и уровне нелинейных искажений. Их предназначение - обеспечить надлежащее качество работ. Практика сегодняшнего дня такова, что эти параметры "спускаются сверху" с требованием их неукоснительного исполнения. Часто возникают случаи, когда выполнить их оказывается невозможным. Вполне исправная вибрационная группа, хорошо зарекомендовавшая себя на предыдущей площади, по каким-то причинам вдруг теряет мощность и качество излучения. Возникает конфликтная ситуация, грозящая срывом контракта.

Цель данной статьи - помочь разобраться в этой ситуации.

Термины

Вибрационное усилие (или как его часто называют - мощность излучения) - это то усилие, с которым вибратор воздействует на поверхность грунта. Измеряется оно косвенным методом с помощью двух акселерометров, установленных на реактивной массе и опорной плите возбuditеля вибрации. Поскольку величина его зависит от многих внутренних и внешних факторов, в электронной системе управления вибратором имеется функция автоматического поддержания его на заданном уровне (*Force Control*).

Исторически сложилось так, что задание усилия осуществляется не в единицах измерения усилия (ньютонах, килограммах или тоннах), а в процентах от величины расчетного усилия вибратора (*Peak Force*). В этом есть свои плюсы и свои минусы. Для получения реальной величины усилия приходится производить некоторые вычисления. С другой стороны, всем понятно, что если вибратор в состоянии развивать 90-95% от расчетного усилия - это хороший вибратор, а у вибратора, способного обеспечить лишь 40-50%, наверняка есть проблемы. Иногда процент вычисляют от усилия прижима плиты (*HDW*), которое ниже расчетного усилия.

Уровень нелинейных искажений - это расчетная характеристика, оценивающая содержание в излучаемом сигнале посторонних составляющих, а именно - составляющих с кратными частотами (*гармоники*). По своей природе электрогидравлический вибратор является нелинейным устройством и не может излучать идеально чистый сигнал. Геофизики, вынужденные с этим смириться, разработали методы исследований, при которых помехи в виде гармоник не мешают (в известной степени) работе.

Выбор мощности излучения

Мощность излучения лишней не бывает. Лишь экономические соображения, ограничи-

вающие количество вибраторов на профиле (а также их тип), заставляют придерживаться того минимума, который обеспечивает получение материала с приемлемым качеством. От конкретного же вибратора, попавшего на профиль, стараются выжать все возможное. При этом, задавая требования по мощности, во внимание обычно принимают не данную конкретную ситуацию, а прецедент, то есть ссылаются на предыдущий случай. Это и является причиной возникновения конфликтной ситуации.

Возможности электрогидравлического вибратора, как и любого другого излучателя, ограничены его энергетическими ресурсами. Более того, он очень чувствителен к величине и характеру нагрузки. При неподвижной опорной плите (работа на жестком грунте) от вибратора легко получить его расчетное усилие, то есть все 100%. При подвижной плите цена за усилие возрастает: чем податливее нагрузка и чем больше амплитуда колебаний плиты, тем больше требуется энергетических затрат на поддержание заданного усилия. В том случае, когда ресурсов вибратора не хватает, вибрационное усилие падает ниже заданного уровня. Одновременно ухудшается и его качество.

Таким образом, один и тот же вибратор, попадая в различные условия работы, меняет свои излучающие способности. Прежде чем формулировать требования к характеристикам излучения, было бы правильным предварительно оценить возможности вибраторов в конкретных условиях работы. Без экспериментов здесь не обойтись, поскольку специфику каждого данного случая определяют множество факторов. К ним относятся не только реологические характеристики грунта на профиле, но и состояние его поверхности, а также сезонные и климатические условия.

Суть эксперимента состоит в следующем. После выбора рабочего диапазона частот вибраторов производится запись семейства амплитудно-частотных характеристик вибрационного усилия при постепенно возрастающем уровне мощности, начиная с минимального (40-45%), и заканчивая максимальным (95-99%), с шагом приращения 5%. Полученная картина наглядно демонстрирует не только предельные характеристики излучения, но и позволяет

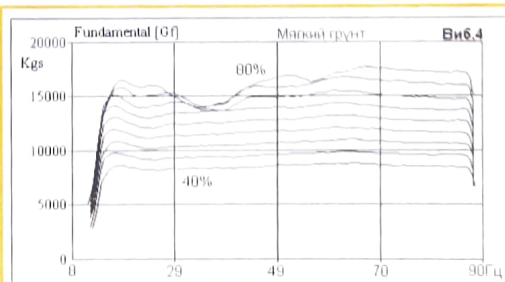


Рис. 1 Семейство АЧХ вибрационного усилия



выявить ограничивающие факторы. Эти факторы могут быть как объективными, не зависящими от исполнителя (параметры конструкции вибратора, нагрузочные характеристики грунта), так и связанными с техническим состоянием вибратора (неисправность или неоптимальная настройка). Если технические проблемы исполнитель может (и обязан) устранить, то объективные факторы остается лишь принять во внимание при выставлении требований к параметрам излучения.

Такие эксперименты приходится проводить в нескольких характерных местах исследуемой площади, чтобы позднее учесть все возможные условия излучения на ней. На основании полученных данных может быть выбран не только оптимальный уровень мощности излучения, но и определен допустимый процент некондиционных излучений, которые неизбежно будут случаться при попадании вибраторов на сложные участки профиля.

Оценка нелинейных искажений

Гармонический состав сигнала сложный и подвержен сильному влиянию множества факторов. Благодаря этому гармоники содержат в себе уникальную диагностическую информацию, позволяющую судить как о техническом состоянии вибраторов, так и об условиях излучения. В общих словах механизм образования гармоник выглядит следующим образом:

Первичными источниками гармоник являются: силовой электрогидравлический привод возбудителя вибрации, несимметричность силового взаимодействия опорной плиты с поверхностью грунта и одностороннее действие силы веса. В каждом случае формируется свой характерный спектр гармоник.

- Первичный уровень гармоник преобразуется резонансными свойствами конструкции возбудителя вибрации и излучающей системы "вибратор - грунт" в целом.

- Первичный уровень гармоник и интенсивность резонансных проявлений зависят от мощности излучения, нагрузочных характеристик грунта и качества контакта плиты с грунтом.

- В идеальных условиях вибратор имеет некоторый минимум гармоник. Любые отклонения от нормы или возникшие проблемы сопровождаются изменением их количественного и качественного состава. Следует знать, что в электронной системе управления вибратором нет технических средств подавления гармоник. То есть, нельзя непосредственно влиять на их уровень. Мы в состоянии убрать лишь незначительную часть искажений, которая вызвана неправильной настройкой вибратора. Например, можно предотвратить отрыв плиты в начале свива, оптимизировав процесс нарастания сигнала.

Оценить реальный уровень нелинейных искажений в условиях данной площади можно с помощью того же семейства характеристик, получаемого при разных уровнях мощности излучения. При этом графики следует строить отдельно для четных и для нечетных гармоник, чтобы не потерять диагностическую информацию. Как правило, на этих графиках можно обнаружить некоторое пороговое значение мощности, превышение которого вызывает резкое увеличение содержания гармоник.

Сравнивая характеристики отдельных вибраторов легко определить, какая часть искажений

носит объективный характер, не поддаваясь нашему влиянию, а какая связана с техническим состоянием конкретного вибратора и может быть устранена.

Действия супервайзера (исполнителя)

Итак, для правильного определения требуемого сигнала для конкретной вибрирующей площадки, следует получить семейство нагрузочных частотных характеристик вибратора, усилия и семейства характеристик вибрирующей площадки, содержания четных и нечетных гармоник нескольких характерных участков вибрирующей площадки, провести их диагностический анализ, выявить и исключить проблемы, связанные с техническим состоянием или настройками виброкомплекса, и определить затем пороговые значения, обусловленные объективными факторами, действующими на данной вибрирующей площадке. Полученные таким способом характеристики носят объективный характер и могут быть выставлены формально.

В качестве инструмента для выполнения этой работы идеальным образом подходит аппаратно-программный комплекс "Нилебик" (Pelton Co., Inc.). Для интерпретации результатов следует использовать соответствующие методические пособия.

Энергетические ресурсы вибратора

Многолетние наблюдения работы виброкомплексов показали, что:

- Одни и те же вибраторы действительно ведут себя по-разному на разных площадках и в разных климатических условиях. При этом оптимальный уровень мощности излучения может принимать значения от 40 до 80%.

- Конструкция вибратора оказывает значительное влияние на величину оптимальных параметров. По этой причине некоторые типы вибраторов, проигрывающие в одних условиях, могут получить преимущества при работе в других условиях. По той же самой причине вибраторы одной силовой категории, но разного типа, обладают различной эффективностью. Как правило, вибраторы отечественного производства уступают зарубежным.

Последнее обстоятельство не может не вызывать недоумения, поскольку уже давно из наших вибраторов используется импортная силовая комплектация и по энергетическим ресурсам наши вибраторы ни в чем не уступают зарубежным.

Причина видится в следующем. Даже не секрет, что возбудители вибрации, преобразующие первичную гидравлическую энергию в вибрационное усилие, отличаются различной эффективностью. В свое время была проделана большая работа по оптимизации их параметров, которая свелась к конкретным рекомендациям по выбору величин активной и реактивной масс, размерам плиты, силового гидроцилиндра и т.д. Не умаляя значения этих работ, хотелось бы обратить внимание на один элемент конструкции возбудителя вибрации, которому не уделяется должного внимания, хотя, на мой взгляд, он играет ключевую роль в проблеме мощности и качества излучения. Это опорная плита.

Проблема состоит в том, что плоскость плиты, обладающая упругими свойствами, прогибается под действием усилия. Величина и характер

прогиба зависит не только от прикладываемого вибрационного усилия, но и от условий контакта плиты с поверхностью грунта. Негативные последствия состоят в том, что:

1) прогиб плиты приводит к увеличению амплитуды колебаний штока силового гидроцилиндра и, как следствие, к увеличению потребления гидроцилиндром потока рабочей жидкости. Расход ее на прогиб плиты зачастую превышает расход на деформацию грунта;

2) прогиб плиты создает условия для дополнительного низкочастотного резонанса в системе "вибратор - грунт", эффективность излучения на котором падает;

3) плоскость упругой плиты имеет собственные высокочастотные резонансы, которые приводят к резкому увеличению гармоник.

В зависимости от условий в зоне контакта плиты с грунтом эти эффекты проявляются в большей или меньшей степени. Неровности грунта не только снижают мощность и качество излучения, но и делают его нестабильным от точки к точке. Чем "мягче" плита вибратора, тем в большей степени страдают вибраторы от этих последствий.

Много лет назад проблема жесткости плиты была успешно решена: 10-тонный вибратор СВ-10/180 с новой жесткой плитой продемонстрировал резкое увеличение сейсмической эффективности по сравнению с предыдущей конструкцией. Но с переходом на амплитуды усилия 20 и более тонн, проблема возникла вновь. Серьезность ее может охарактеризовать, например, тот факт, что у некоторых вибраторов фазовая неоднородность колебаний плоскости плиты может достигать 100-180 (!) градусов, даже при работе на ровной площадке.

Электронная система управления

Электронная система управления не содержит средств, которые могли бы напрямую повлиять на предельную мощность излучения или на содержание гармоник. Тем не менее, она влияет на них косвенно. Один тип электроники способен обеспечить устойчивую работу вибратора при высоком уровне искажающих факторов, в то время как другой - "нервно" на них реагирует. Поэтому, при одном типе электроники вибратор может проявить свои возможности и использовать свой энергетический ресурс в полной мере, а при другом часть их остается нереализованной.

Выводы

- Мощность и качество излучения зависит не только от технического состояния вибратора, но и от нагрузочных характеристик грунта на профиле, которые подвержены сезонным изменениям. Требования к величине усилия и нелинейным искажениям следует определять экспериментально для каждой конкретной площади.

- Существует различие в сейсмической эффективности у вибраторов, относящихся к одной силовой категории. Причина различий - конструкция возбудителя вибрации. Наиболее важный элемент - опорная плита.

- Электронная система управления не содержит эффективных средств влияния на предельную мощность излучения или качество вибрационного сигнала. Но разные типы систем управления имеют разные диапазоны устойчивой работы. За счет чего один тип электроники позволяет использовать ресурсы вибратора полнее чем другой.



МЕТРОПОЛИЯ

Разработка и изготовление

электрических
соединителей
специального
назначения



Россия,
г. Миасс Челябинской обл.,
E-mail: sdn@chel.surnet.ru



ЗАО "СОЕДИНИТЕЛЬ"

Об одной возможности применения мощных низкочастотных сейсмических вибраторов для диагностики физического состояния зданий и сооружений

Чичинин И. С., Институт Геофизики СО РАН, г. Новосибирск

1. Мощные низкочастотные вибрационные источники В 1980-х годах усилиями ряда институтов Сибирского отделения Академии Наук СССР (СО АН СССР) было развито научное направление в области сейсмологии, основанное на использовании вибрационного источника сейсмических волн [2]. Был разработан дебалансный вибратор с амплитудой силы около 100 тонн ($100 \cdot 10^4$ Н). Рабочие частоты этого вибратора могут настраиваться на полосы 1,5 - 3 Гц, 3 - 6 Гц, 5 - 10-12 Гц. Потом для целей ГСЗ был сделан 40-тонный передвижной вибратор, который в настоящее время настраивается на полосу 5 - 12-15 Гц.

Длительность вибрации может быть задана от нескольких минут до любого времени. На практике обычно ограничивались длительностью до одного часа. В варианте, когда 100-тонный вибратор настроен на полосу от 5 до 10-12 Гц, при 45-минутном сеансе получают кондиционные импульсные сейсмограммы на расстояниях до 350 км. По интенсивности они эквивалентны взрыву 5 тонн тротила на дневной поверхности. В монохроматическом режиме надежное выделение амплитуды и фазы сейсмических колебаний, излучаемых вибратором на берегу Обского моря, было осуществлено на берегу озера Балхаш (на расстоянии 1400 км).

Следует отметить, что мощные низкочастотные вибраторы представляют собой увеличенную в размерах копию сейсморазведочного вибратора комплекса "Вибролокатор", который был создан в 1970-х годах по инициативе автора при активном творческом участии Юшина В.И., Кулакова В.Ф., Евчатова Г.П., Комлягина А.Г., Михаэлиса Ю.В., Сагайдачного В.К. и других. Внедрить тогда "Вибролокатор" в широкую практику сейсморазведки не удалось. Была предпринята отчаянная попытка наладить изготовление "Вибролокаторов" в США. По инициативе американского бизнесмена Т. Рассела и МинГеоСССР (в лице Р. И. Шустова) в декабре 1989 г. "Вибролокатор" был доставлен в Техас. Там на "Вибролокаторе" параллельно с наиболее мощным тогда американским вибратором Y-2400 типа "Вибросейс" был отработан профиль ОГТ. Полученные разрезы ОГТ оказались на глаз не

отличимыми друг от друга. Существенное различие между вибраторами было в цене: стоимость "Вибролокатора" по расчетам в 5 - 7 раз меньше, чем "Вибросейса".

На рис. 1 приведено фото "Вибролокатора" работающего на профиле в Техасе. Вибраторы Y-2400 и "Вибролокатор" сравнивались лишь при вертикальной ориентации силы вибратора, так как вибраторов "Вибросейс" с горизонтальной ориентацией тогда еще не было. После развала СССР эти переговоры прекратились. В настоящее время реанимировать "Вибролокатор" пока нет возможности, хотя теперь при наличии компьютерной техники он был бы еще проще и еще дешевле.

Таким образом, "Вибролокатор" живет в настоящее время в виде мощных низкочастотных вибраторов. Они предназначены для решения следующих задач.

1. Мониторинг земной коры в сейсмически активных регионах с целью поиска предвестников землетрясений.

2. Глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ) для уточнения строения земной коры.

3. ГСЗ для калибровки пунктов приема сейсмических сигналов при решении задачи контроля выполнения международных соглашений о запрете ядерных взрывов.

4. Сейсмическое микрорайонирование территории при выборе площадок для строительства зданий и сооружений.

5. Диагностика физического состояния каркаса и фундамента существующих промышленных сооружений (высоких плотин ГЭС, жилых зданий, мостов, атомных электростанций и др.).

Опыт применения передвижных 40-тонных вибраторов при работах по ГСЗ описан в настоящем сборнике, в статье "Технология региональных исследований методом ГСЗ вибрационным источником". Остальные задачи, как видим, представляют собой задачи научного характера, много "посадочных мест" для геофизиков там не предвидится. Исключением может быть 5-я задача, которая в будущем по своей "кадроемкости" может оказаться одного порядка с сейсморазведкой нефтяных и газовых месторождений. Фронт работ в этом направлении не будет уменьшаться. А когда будет заканчиваться срок службы "хрущевок", надо будет "латать" и геофизики должны будут указывать, что и как "лечить", в каждом доме индивидуально. Здесь и электроразведчики найдется много работы: места утечки в трубах, смонтированных в стены, кто же может найти, кроме электроразведчиков!

2. Исследование существующих инженерных сооружений на микросейсмах.

Технология обработки длительных вибросейсмических сигналов натолкнула исполнителей описываемых ниже работ на открытие очень оригинального способа применения микросейсм [1].

В работе [1] описаны экспериментальные исследования при помощи метода, который позволяет увидеть колебания протяженных сооружений (плотин, мостов, домов и т.п.) так, как будто бы в этих объектах с густым шагом было установлено много сотен трехкомпонентных сейсмоприемников. Здесь говорится "как будто бы", так как поставить большое количество



Рис. 1 Сибиряки в Техасе. Январь 1990 г., "Вибролокатор" работает в молодой бамбуковой роще, на ранчо бизнесмена Т. Рассела. На нем стоит В.К. Сагайдачный - один из разработчиков его конструкции и программ обработки на советских ЭВМ

сейсмоприемников практически невозможно. В указанном методе используется следующий способ: один 3-х компонентный сейсмоприемник, установленный в некоторой точке, остается неподвижным. Несколько таких же сейсмоприемников переставляются от точки к точке. Источником колебаний являются всевозможные микросейсмы (уличный шум, топот людей и т.д.). Оказалось, что авто- и взаимно-корреляционные функции колебаний от этих датчиков стабилизируются по форме при длительности наблюдения микросейсм около 5-7 минут. Таким образом, 2-3 человека за несколько дней могут произвести съемку колебаний протяженного сооружения, никому при этом не мешая, не останавливая работы на объекте. Потом, при компьютерной обработке, эти записи "сшиваются", и в результате получается такая картина, как будто бы во всех точках наблюдения приемные датчики стояли все время.

На записях, получаемых при помощи микросейсм, хорошо выделяются десяток первых мод и формы этих мод по длине и высоте исследуемого сооружения. По ним можно определить "усиление" колебаний от подвального этажа до чердака, а также добротность колебаний на каждой моде. (Если, например, какое-то перекрытие или элемент здания держится "на честном слове", то на соответствующей моде этот элемент раскачается с большой амплитудой.)

Моды явно соответствуют изгибным колебаниям объекта [3]. Заметим, что "формами" и "модами" в разных источниках называют одно и то же: это колебания объекта на своих "собственных" частотах, то есть на своих резонансных частотах. То, что эти колебания можно вызвать при помощи различных источников и, в частности, при помощи микросейсм, хорошо видно на камертоне: он будет колебаться на своей "собственной" частоте при любом воздействии на него. А то, что эти колебания изгибные, видно невооруженным глазом. При этом никто не сомневается, что первопричиной этих колебаний являются упругие волны, только самих волн (продольных и поперечных) там не видно. Видно только, что эти колебания "как бы стоят", поэтому они называются "стоячими".

По своей оперативности метод, основанный на использовании микросейсм, можно называть экспресс-методом. Более трудоемким является метод, основанный на использовании волн, приходящих от удаленного сейсмического вибратора. Чем эти методы дополняют друг друга, будет ясно из дальнейшего.

3. Метод диагностики физического состояния инженерных сооружений при помощи волн, приходящих от удаленного сейсмического вибратора.

Для определенности рассуждений предположим, что исследуемое сооружение имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Длинная сторона этой "коробки" расположена по оси x , короткая сторона - по оси y , ось z направлена вверх. Предполагается, что нижняя часть параллелепипеда выполняет функции фундамента, то есть эта часть на какую-то глубину внедрена в породы, служащие основанием фундамента.

Съемка колебаний сооружения производится путем перестановки 3-х компонентных сейсмоприемников по "профилям" x (по коридорам этажей, включая чердак и подвальный этаж). Процедура съемки колебаний, возбуждаемых микросейсмами и удаленным вибратором, может быть совмещена во времени, по можно это делать и в разное время. (Для выделения вибросейсмических сигналов съемку лучше проводить ночью, когда уровень уличного шума минимален.) По зарегистрированным вибросейсмическим колеба-

ниям от удаленного вибратора восстанавливается импульсная сейсмограмма. Значительная удаленность источника необходима, чтобы приходящие волны были почти плоскими, а так же чтобы продольные и поперечные волны хорошо разделились во времени.

В начальной части сейсмограммы обычно наблюдаются продольные волны, которые подходят к поверхности земли от удаленного источника по лучам, близким к вертикали. Реакция исследуемого сооружения на продольные волны будет приблизительно такой же, как при испытании этого сооружения силами, действующими по вертикали. В последующих вступлениях сейсмограммы наблюдаются поперечные волны, которые имеют интенсивные горизонтальные компоненты. Характер колебания элементов сооружения на временах прихода поперечных волн будет близок к тому, как если бы это сооружение подвергали горизонтальным смещениям. Из сказанного ясно видно, чем отличаются друг от друга оба метода. Возьмем тот же камертон. Если колебания придут вдоль ножек камертона, то камертон будет, конечно, колебаться на своей собственной частоте, но слабо. Если те же колебания придут поперек ножек, в плоскости их изгиба, то ножки размахнутся с большой амплитудой. Но опыт, полученный экспресс-методом, будет полезен и во втором методе, так как мы заранее будем знать величины собственных частот и тем самым будем знать, какой вибратор нам нужен. Из сказанного ясно также и то, что нам нужен именно сейсмический вибратор, так как по вибросейсмическим колебаниям потом надо будет восстанавливать импульсную сейсмограмму.

Смещения в элементах сооружения регистрируются с достаточно густым шагом, чтобы можно было определить деформацию в этих элементах по разностям смещений в точках регистрации. Самих трехкомпонентных сейсмоприемников требуется немного: расставили сейсмоприемники, и по радиотелефону просим включить вибратор. Зарегистрировали сеанс вибрации, переставили приемники на следующие точки и опять просим включить вибратор и т.д. После выделения на сейсмограммах продольных и поперечных волн, по смещениям в этих волнах строятся карты деформаций на нескольких собственных частотах, то есть на частотах, на которых колебания имеют преобладающую амплитуду. Составляется прогнозная карта, отвечающая (в линейном приближении) на вопрос, как будут колебаться те или иные элементы здания при приходе землетрясения с силой N баллов. (В линейном приближении предполагается, что вид карты деформаций для слабых и сильных землетрясений остается неизменным, различаясь лишь масштабным множителем.)

По полученной прогнозной карте определяются места, где при приходе землетрясения с силой N баллов деформации выйдут за линейный участок. (Для хрупких материалов это означает, что на этом месте появится трещина. Для многих материалов верхним пределом упругих деформаций является величина порядка 0,001 - 0,002. За этой зоной закон Гука не выполняется.) Кроме того, определяются мониторинговые признаки для слежения за состоянием пород, служащих основанием фундамента.

Калибровка импульсных сейсмограмм, восстановленных из вибросейсмических колебаний, производится следующим образом. Обозначим расстояние от вибратора до исследуемого сооружения через R . По круговому профилю $R = \text{const}$ с 3-х компонентными сейсмоприемниками выполняют наблюдения и получают импульсные



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ИННОВАЦИОННО

сейсмограммы, восстановленные из вибросейсмических колебаний, возбуждаемых при "стандартном" сеансе вибрации. На этом профиле в точке, где нет крупных зданий, необходимо получить запись сигналов от какого-либо удаленного землетрясения при помощи тех же 3-компонентных сейсмоприемников, которые использовались для регистрации вибросейсмических колебаний. Эту точку регистрации будем называть "стационарной точкой". Специалисты-сейсмологи должны определить балльность наиболее интенсивной волны, зарегистрированной на сейсмограмме от естественного землетрясения. Удаленность стационарной точки от крупных зданий необходима из-за того, что такие здания искажают приходящие сигналы, так как они начинают колебаться на своих собственных частотах. Получаемые при этом записи будут такими, как если бы не искаженную сейсмограмму "пропустили" через фильтры, которые "прозрачны" лишь на частотах в окрестности собственных частот.

Имея сейсмограммы от удаленного землетрясения и от вибратора, полученные в "стационарной точке" на одних и тех же приемниках, можно будет утверждать, что в сейсмограмме, полученной от "стандартного" сеанса вибрации в исследуемом сооружении, группа волн, например, в области первых вступлений, слабее (или сильнее во столько-то раз) сигналов землетрясения интенсивностью M баллов. На вибрационных сейсмограммах, регистрируемых в точках исследуемого сооружения, эта волна будет искажена, тем не менее ее можно будет распознать по времени прихода и утверждать, что эти колебания соответствуют землетрясению в M баллов.

Вибратор для описанных экспериментов, как говорилось выше, должен быть установлен на значительном расстоянии от исследуемого сооружения. Из опыта предыдущих работ исполнителей известно, что 40-тонным передвижным вибратором можно освещать территории в радиусе до 100 - 200 км. Но в городских условиях на исследуемых объектах уровень шумов будет высоким, поэтому расстояние вибратор-сооружение не должно быть больше 30 - 40 км. В то же время вибратор должен стоять на удалении не менее 10 км от жилых домов, чтобы жители не чувствовали, работает наш вибратор или нет. (Для сведения: на Быстровском полигоне, который находится на берегу Обского моря, работу 100-тонного вибратора человек может ощутить в тихую ночь на расстоянии до 2 - 3 км.)

Приведенные выше рассуждения в формулах, в очень сжатом изложении, выглядят следующим образом.

В импульсной сейсмограмме, восстановленной из вибросейсмических колебаний точки (x, y, z) , смещения по направлениям x, y, z обозначим $X(x, y, z, t)$, $Y(x, y, z, t)$, $W(x, y, z, t)$. Сначала рассмотрим вертикальную компоненту колебаний, $W(x, y, z, \omega)$, на какой-то собственной частоте ω , которую можем заранее определить по наблюдениям микросейсм. Рассматриваем эту компоненту в вертикальной плоскости, проходящей посередине здания.

Забегая несколько вперед, спросим, какую информацию несет эта компонента. Представим себе, что в левой половине здания, в точках $x \leq x_0$, породы, лежащие под фундаментом, перестали выполнять роль "постели", то есть эта часть здания просто висит над "пустотой". Когда снизу придет плоская волна с вертикальной ориентацией смещения, то "висящая" часть здания начнет колебаться с большей амплитудой.

В плоскости нормального сечения $(x=x_0)$ на

чердаке здания ($z=h_{max}$) и в нижней границе нашего параллелепипеда ($z=h_{min}$) возникнут растягивающие и сжимающие по направлениям деформации ϵ_{xx} . При какой-то амплитуде колебаний $W(x, y, z, \omega)$ эти деформации приблизятся к границе области деформации, линейный закон Гука не выполняется, за который дальнейшему росту амплитуды на указанных местах возникнет трещина. На какой-то высоте $z=z_{max}$ (нам неизвестной) растягивающие и сжимающие деформации будут равны нулю. Эта высота описывается функцией x в сопромате называется "нейтральной линией" (или, что то же самое, "нейтральной линией"). Наклон нейтральной линии можно описывать углом $\phi=W_x$, где W_x - производная смещения W по x . Растягивающие и сжимающие по направлению x деформации описываются формулой

$$\epsilon_{xx}=(z-z_{max}) \cdot (d/dx) \phi = (z-z_{max}) W_x$$

где W_{xx} - вторая производная смещения. В верхней границе параллелепипеда деформация будет максимальной. $\epsilon_{xx,max}=(h_{max}-z_{max}) \cdot (d/dx) \phi = (h_{max}-z_{max}) W_x$. Если на каком-либо участке здание просто висит над пустотой, то на этом участке нейтральная линия будет проходить на средних этажах здания. Если же "постель" здания (то есть породы, являющиеся основанием фундамента) хорошо выполняют свои функции, то нейтральная линия будет проходить гораздо ниже, возможно, на подвальном этаже. Таким образом, положение нейтральной линии по высоте является важным параметром, характеризующим состояние "постели".

Из физических соображений ясно, что наибольшую амплитуду будут иметь изгибные колебания по оси y . Сейсмограммы, полученные на приборах y -ориентацией, мы обозначили $Y(x, y, z, t)$. Рассмотрим сначала сейсмограммы, полученные на высоте $z=z_0$.

Пусть нейтральная линия проходит по точке $y=y_{0xx}$. При изгибе здания возникнут растягивающие и сжимающие деформации $\epsilon_{yy}=(y-y_{0xx}) Y_{xx}(x, z_0, \omega)$, то есть при изгибе здания в точках y_{0xx} , $y_{min}-y_{0xx}$ растягивающие и сжимающие деформации будут максимальными. Если плоскость $z=z_{min}$ здания, соприкасающаяся с породами, являющимся основанием фундамента, равномерно сцеплена с "постелью", то нейтральная линия будет проходить посередине здания. Если же она сцеплена только по одной длинной стороне здания, а другая длинная сторона здания скользит по "постели" без сопротивления, то нейтральная линия будет смещена в ту сторону, где имеется хорошее сцепление.

Пусть в результате выполненного обследования здания узнали, что какие-то стены держат неплохо, потолок - слабо, а перекрытия - очень плохо, на честном слове. Для хозяина сооружения это мало: он должен также узнать, что же надо сделать, чтобы все было хорошо. Здесь открывается большой фронт работы для геофизиков материального склада ума: ведь надо рассмотреть различные варианты устранения недостатков и выбрать из них наиболее надежный и дешевый.

Литература

1. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А. и др. Пересечение стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях. Геология и геофизика, 2002, т. 43, № 3.
2. Чичинин И.С. Вибрационное излучение сейсмических волн. М., Недра, 1984.
3. Чичинин И.С. Изгибные колебания и волны наблюдаемые в зданиях и сооружениях, с точки зрения сейсмика. Геофизика, 2004, № 1.

Технология региональных исследований методом ГСЗ с вибрационным источником

Еманов А.Ф., Соловьев В.М., АС филиал Геофизической службы СО РАН, Кузнецов В.Л., Сагайдачная О.М., Сальников А.С., ФГУП "СНИИГГиМС", г. Новосибирск

Региональные исследования методом ГСЗ являются одной из составных частей геолого-геофизических работ на опорных профилях в комплексе с профильной сейсморазведкой глубинного ОГТ и КМПВ, гравиразведкой и аэромагнитной разведкой, профильными электро-магнитными наблюдениями МТЗ-АМТЗ и другими исследованиями. Этот комплекс позволяет получать качественно новую информацию, обеспечивающую решение геодинамических проблем и практических задач поиска и прогноза полезных ископаемых [3].

Наиболее полное освещение разреза на всю мощность земной коры (до поверхности Мохоровичича и глубже) достигается сейсморазведкой посредством применения комбинированных систем наблюдений, включающих близвертикальные системы МОВ-МОГТ и широкоугольные системы ГСЗ-КМПВ. Обеспечение повышенной детальности и глубинности исследований, возможность и необходимость проведения работ в населенных и промышленных районах, а также оптимизация материальных затрат диктует жесткие требования, прежде всего, к используемым системам наблюдений и источникам возбуждения сейсмических колебаний. Отметим, что в настоящее время в России и мире фактически закончился этап региональных глубинных сейсмических исследований с использованием взрывов большой мощности. Сейсмические работы методом ГСЗ, выполненные в 2001 г. на геотраверсе 2-ДВ с применением взрывов в скважинах в варианте непрерывных наблюдений на удалениях 0 ÷ 250 км при использовании одной многоканальной телеметрической станции, практически показали экономическую несостоятельность данного технологичес-

кого решения. Поэтому в последующем, по согласованию с Заказчиком работ - УПР по Магаданской области, глубинные сейсмические исследования на опорном профиле 2-ДВ стали проводить с вибрационным источником в варианте точечных (дифференциальных) зондирований с непрерывными и штрих-пунктирными системами наблюдений [6].

Ранее была выполнена апробация технологии региональных сейсмических работ методом ГСЗ с использованием мощного передвижного вибрационного источника и регистрацией на удалениях до 200 км в Алтае-Саянской складчатой области [1]. На опорном региональном профиле 2-ДВ в пределах Магаданской области (рис. 1) глубинные исследования с 40-тонным вибратором были проведены в производственном режиме.

Общая характеристика методики полевых работ.

Полевые работы ГСЗ с использованием непрерывных и штрих-пунктирных систем наблюдений проводили совместно Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН и ФГУП "СНИИГГиМС".

В 2002 г. в осенне-зимний период (сентябрь - октябрь) был отработан 320 километровый Южно-Магаданский участок профиля 2-ДВ (г. Магадан - п. Усть-Среднекан). На этом участке профиля, проходящем вдоль Колымской трассы, было отработано 6 пунктов возбуждения (ПВ) - постановок вибрационных источников. Южные ПВ (ПВ1 и ПВ2) и северные (ПВ5 и ПВ6) отработывались для получения данных преломленных и отраженных волн от поверхности Мохоровичича и размещались примерно через 40 км. В центральной части участка в области Армано-Вилигинского синклинария располагались ПВ3 и ПВ4 для получения информации о строении верхней части земной коры.

Экспериментальные исследования, выполненные перед началом работ, с целью изучения наблюдаемых шумов при регистрации вблизи автомобильного шоссе, показали, что необходимо устанавливать регистрирующие приборы на удалениях свыше 0,5 км от автодороги. Таким образом, можно было снизить абсолютные амплитуды шумов от движущегося транспорта более чем на два порядка при удалении от трассы на 400 - 700 м и более чем на порядок - при установке датчиков примерно в 100 м от трассы.

Пункты наблюдений располагались на расстоянии 2-3 км между автономными регистраторами Reftek (США). Многоканальные сейсмостанции СТС-24Р и "Байкал" устанавливались с шагом 10 - 30 км в специально подобранных местах и, как правило, на значительных удалениях от вибратора.

В качестве сейсмоприемников использовались вертикальные приборы СВ-5 в группе. Координаты установки группы сейсмоприемников и расстояния от вибратора определялись с использованием GPS-приемников.

В 2003 г. в летний период (июль - август) был отработан участок профиля 2-ДВ общей протяженностью 370 пог. км (п. Усть-Омчуг - р. Герба -

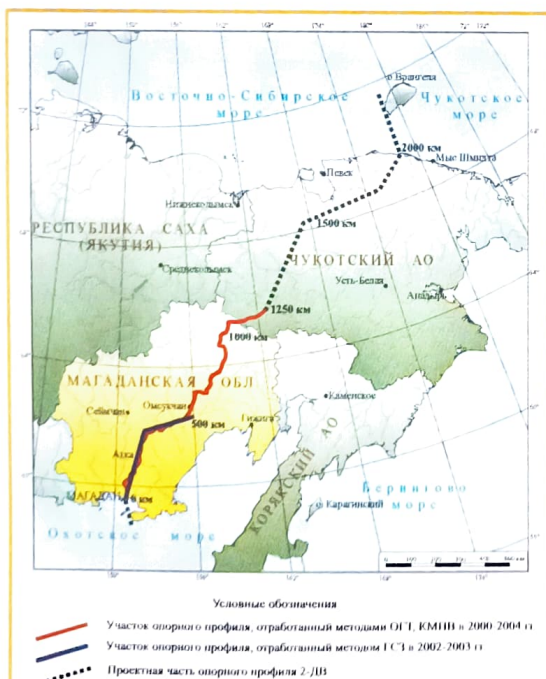


Рис. 1 Схема расположения геотраверсы 2-ДВ (п-ов Кони о. Врангеля)



Виброисточник от ГЕОСВИПа - источник Вашего успеха!



НАДЕЖНОСТЬ и КАЧЕСТВО
изделий гарантирует производитель -

ЗАО "ГЕОСВИП"



107140, Россия, г. Москва,
ул. Красносельская, д. 4
т./ф.: (095) 264-6787
E-mail: jsc.geosvip@relcom.ru



БУДЕМ РАДЫ ВИДЕТЬ ВАС В ЧИСЛЕ НАШИХ КЛИЕНТОВ!



р. Омсукач) с 8 ПВ. Схема наблюдений была несколько изменена из-за отсутствия импортных автономных одноканальных регистраторов. Применялась методика сейсмических зондирований с использованием дифференциальных многоканальных расстановок, которая позволяет выполнить корреляцию основных групп волн, используя волновые, физические и геологические признаки. Вдоль Омсукачской трассы расстановка регистрирующих сеймостанций осуществлялась с расстояниями между регистраторами в 10 км. Расстояние между первыми пунктами наблюдения на участке г. Магадан - п. Усть-Омчуг составляло 20 км. В районе Баханчичских гор из-за отсутствия дорог не удалось организовать точку регистрации и поэтому здесь расстояние между пунктами регистрации составило несколько более 40 км.

Вибрационный источник сейсмических колебаний для региональных исследований ГСЗ.

В качестве источника был использован мощный 40-тонный передвижной вибратор ЦВП-40 (рис. 2), разработанный на основе дебалансной схемы в Сибирском отделении РАН. Этапы создания мощных контролируемых сейсмических излучателей (вибраторов), становления и развития вибрационных геотехнологий подробно изложены в монографии [4], подготовленной авторским коллективом (А.С. Алексеев, И.С. Чичинин, Б.М. Глинский, А.Ф. Еманов, В.Н. Кашун, В.В. Ковалевский, В.С. Селезнев, В.М. Соловьев, В.И. Юшин и др.).



Рис. 2 Передвижной 40-тонный вибратор дебалансного типа ЦВП-40

Передвижной вибратор ЦВП-40 с пиковой амплитудой силы воздействия, равной 400 кН, позволяет получить кондиционные сейсмические данные, сравнимые с взрывными сейсмограммами, на значительных удалениях до 250 - 300 км от источника. Блочная сборно-разборная конструкция вибраторов обеспечивает достаточную технологичность их транспортировки. Перевозка осуществляется автомашинами типа КАМАЗ или КРАЗ, погрузка оборудования проводится с использованием автокрана. Демонтаж оборудования и монтаж на новом месте занимает около 5 часов (без учета времени перевозки).

При отработке Южно-Магаданского участка длительность вибросейсмических сеансов составляла около 50 минут, частотный диапазон управляющего сигнала вибратора находился в интервале 7.031 - 10.547 Гц. Выполнялось накопление отдельных сеансов (от 2-3 до 10-12) для уменьшения шумовых помех. По этой же причине рабочий сеанс виброндирования проводился в почное время суток.

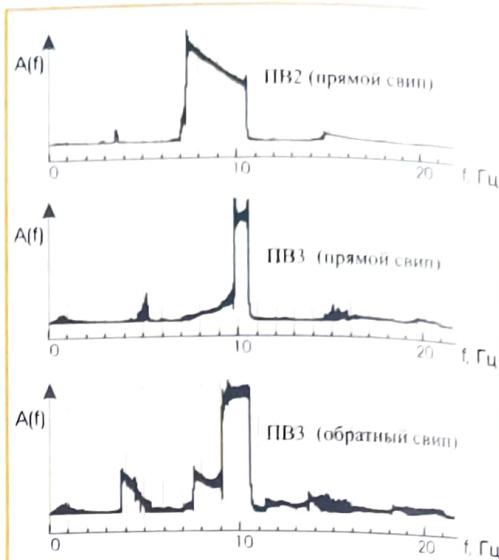


Рис. 3 Амплитудные спектры зондирующего сигнала вибратора в ближней зоне (2002 г.)

Помимо повышенного фона помех, обусловленного близким расположением трассы, качество полевого материала существенно зависит от спектра зондирующего сигнала вибрационного источника. Известно в частности, что на жестких грунтах спектр зондирующего сигнала может резко сужаться - становится крайне узкополосным. Это является закономерным следствием резонансной системы возбуждения упругих колебаний мощными дебалансными вибраторами [4]. Применение обратного свипа - сигнала с убывающей частотой или разверткой вниз (down-sweep-signal) позволило расширить полосу частот вибрационного сигнала излучения на жестких породах (рис. 3) и увеличить разрешенность полевых записей в дальней зоне.

При проведении работ в 2003 г. был учтен опыт работ на Южно-Магаданском участке. Прежде всего, был несколько расширен в сторону высоких частот спектр управляющего сигнала излучения вибратора (7.519-11.035 Гц), так как при интерпретации полевого материала 2002 г. было определено, что видимые частоты основных групп опорных волн близки к диапазону частот 7 - 11 Гц. Были выполнены некоторые технические усовершенствования вибратора, введены специальные конструкции анкеров для крепления вибратора с грунтом и др.

Регистрирующая аппаратура сейсмических данных при глубинных исследованиях с вибратором.

В качестве регистрирующей аппаратуры сейсмических данных при выполнении глубинных региональных исследований на опорном геофизическом профиле применялись в основном отечественные станции:

- шестиканальные сейсмологические станции "Байкал" (разработка Геофизической Службы СО РАН и Института лазерной физики СО РАН);
- многоканальная телеметрическая сейсмическая система CTC-24P (разработка ФГУП "СНИИГГиМС", [5]) в варианте из нескольких (до 5) пространственно распределенных мобильных станций APC (до 60 каналов) и синхронизированных через спутниковую систему GPS сигналами точного времени;
- трехканальные сейсмологические станции "Дельта-Геон" (разработка Центра ГЕОН им.

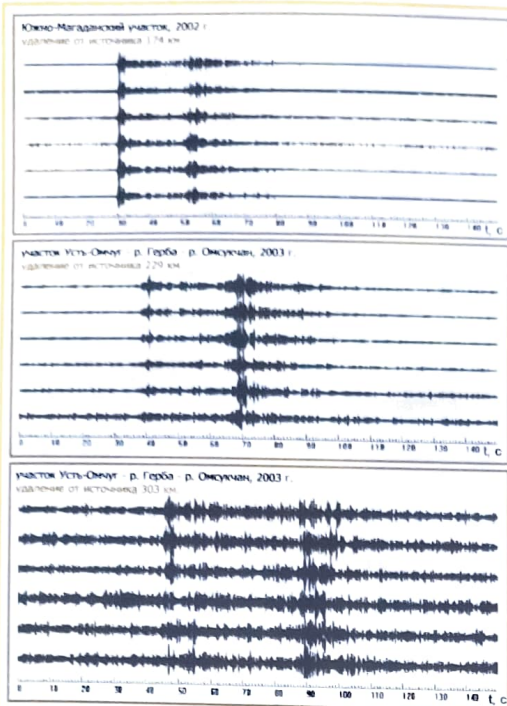


Рис. 4 Коррелограммы, полученные с 40-тонным вибратором. Регистрация станцией СТС-24Р

В.В. Федынского).

При отработке первых четырех ПВ на Южно-Магаданском участке профиля использовались специализированные одноканальные автономные регистраторы Reftek (США) в количестве 150 штук.

Основные технические характеристики станций "Байкал", СТС-24Р, Reftek приведены ниже в таблице. Базовые технические характеристики сейсмологических станций "Байкал" и "Дельта-Геон" практически совпадают [7].

Отечественная регистрирующая аппаратура (станции СТС-24Р и "Байкал") устанавливались, как правило, на самых больших удалениях до 250

- 300 км для получения на непрерывных многоканальных расстановках "опорных" данных преломленных и отраженных волн от поверхности Мохоровичича.

Качество полученного полевого материала можно оценить как хорошее, на коррелограммах уверенно выделяются волны в первых вступлениях от границ в верхней части земной коры (осадочного чехла), поверхности кристаллических пород и поверхности Мохоровичича (рис. 4).

Результаты промышленной апробации технологии региональных исследований методом ГСЗ с вибрационным источником

Реализованная система наблюдений была достаточной для прослеживания опорных волн от границ в земной коре и поверхности Мохоровичича и решения поставленных геологических задач. По результатам анализа кинематических и динамических характеристик продольных волн на опорном профиле 2-ДВ с использованием данных региональных работ ГСЗ со взрывами 1959 и 2001 гг. были выделены опорные волны (продольные преломленные (рефрагированные) волны из верхней, средней и нижней частей земной коры; продольные преломленные и отраженные волны от поверхности Мохоровичича; отраженные волны от границы в верхней мантии) и выполнена интерпретация с построением глубинного разреза [2].

Интерпретация волн в первых вступлениях проводилась способом сейсмической томографии на временных задержках рефрагированных волн. В качестве интерпретационной модели была выбрана непрерывная двухмерная неоднородная модель среды с нарастанием скорости с глубиной, допускающая наличие прерывистых волноводных включений. Наряду с интерпретацией по способу двумерной сейсмической томографии была выполнена стандартная интерпретация данных преломленных и отраженных волн от поверхности Мохоровичича. Обобщенный глубинный сейсмический разрез на геотраверсе 2-ДВ (в пределах Магаданской обл.), построенный по материалам ГСЗ, приведен на рис. 5. Основанием разреза

Таблица 1. Основные технические характеристики регистрирующей аппаратуры при работах ГСЗ

Параметры	"БАЙКАЛ - 15"	REFTEK - 125	СТС-24Р
Количество каналов	3	1	6 x n (n - количество регистраторов)
Количество разрядов АЦП	20	24	24
Частота дискретизации, Гц	800	25, 50, 100, 125, 200, 250, 500, 1000	62,5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000
Коэффициент нелинейных искажений - (20 Гц), %	< 0.02	-	< 0.002
Рабочая полоса (- 3 дБ), Гц	0.15 ÷ 30	1 ÷ 250	0.1 ÷ 2000
Коэффициент ослабления синфазных помех, дБ	> 110	> 70	110
Шум, приведенный ко входу (0.15 - 20 Гц), мкВ (эфф.)	< 0.08	-	< 0.1
Напряжение питания, В	9 - 15	3	12
Потребляемая мощность, Вт	< 3	0,375	2,5 на 6-канальный регистратор
Диапазон рабочих температур, °С	-35 ÷ +65	-40 ÷ +60	-40 ÷ +60
Длина линии связи, м	до 1500	автономный	330 x n, (n - количество регистраторов)





является поверхность Мохоровичича. Средняя скорость распространения сейсмических волн до нее составляет 6,3 – 6,5 км/с. Граничная скорость вдоль нее меняется от 7,7 до 8,2 км/с. Причем, наиболее низкие и пониженные значения скорости отмечаются, соответственно, в центральной части этого участка профиля и в юго-восточной. Размеры основных структурных элементов по латерали лежат в диапазоне от первых десятков до сотен километров, толщина составляет от 2 – 5 км до 30 – 55 км.

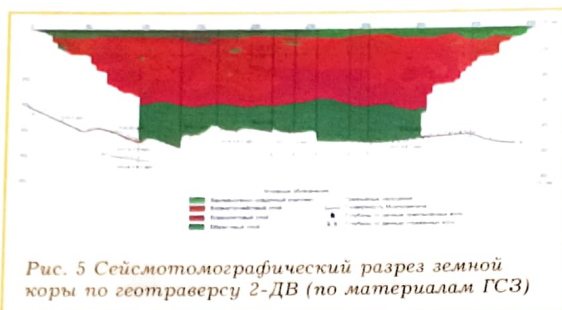


Рис. 5 Сейсмотомографический разрез земной коры по геотранверсу 2-ДВ (по материалам ГСЗ)

Основные выводы и рекомендации

Выполненные в период 2002 - 2003 гг. региональные работы методом ГСЗ в труднодоступных районах Охотско-Колымского региона показали, что применение новой технологии с мощными вибрационными источниками, мобильными и автономными регистрирующими станциями, позволяют с минимальными экологическими издержками, высокой безопасностью и снижением стоимости полевых наблюдений решать задачи, основанные на детальных глубинных сейсмических исследованиях.

Специфические климатические условия и условия строения (глубинные и орографические) района работ, а также его отдаленность определили рациональную методику полевых наблюдений, которая включает требования к параметрам систем наблюдений, условиям возбуждения сейсмических колебаний, их приема, важнейшие из них следующие:

- расстояния между ПВ.....10 - 15 км;
- расстояния между регистрирующими системами.....2-10 км;
- длина годографов.....до 300 км;
- система наблюдений.....центральная;
- тип съемки.....профильная дискретная;
- тип регистрации.....однокомпонентная и (или) трехкомпонентная;
- мгновенный динамический диапазон.....более 115 дБ;
- количество сейсмоприемников на канал.....6 - 12;
- тип группирования сейсмоприемников.....линейная /площадная;
- база группирования сейсмоприемников.....10 - 50 м;
- кратность перекрытий.....12;
- количество каналов на одной расстановке.....от 4;
- длина сейсмической расстановки.....300 - 1200 м;
- источник упругих колебаний.....вибрационный;
- пиковая сила.....400 - 600 кН;
- длительность вибросейсмических свансов.....до 60 минут;
- частотный диапазон.....3 - 30 Гц;
- количество накоплений.....4 - 6;
- установка точного времени.....по GPS

Сейсмические материалы, которые получены по методу ГСЗ, для повышения надежности результативных материалов и более полного

извлечения геологической информации целесообразно обрабатывать и интерпретировать по нескольким методикам, из которых основные следующие: метод т. метод точечных (дифференциальных) сейсмических зондирований; метод сейсмической томографии на временных задержках волн в первых вступлениях; метод ОГТ на водных, отраженных в близ- и закритической областях. Первые два подхода требуют получение встречных взаимовязанных и нагоняющих годографов для всех целевых волн. Последний метод реализуется с использованием многократных (не менее 6) систем наблюдения. В методе сейсмической томографии требуется обеспечить регистрацию волн в первых вступлениях. На основе анализа теоретических годографов и результатов полной обработки и интерпретации сейсмических материалов определяются основные характеристики целевых преломленных волн, главными из которых, для задач глубинных исследований, являются интервалы прослеживания волн в области первых вступлений, как наиболее достоверные для уверенной их корреляции. На этой основе можно уточнить параметры системы полевых наблюдений ГСЗ и, прежде всего, расстояния между ПВ и ПП, длину годографов.

Литература

1. Детальные глубинные сейсмические исследования сейсмоопасных территорий с использованием мощных передвижных 40-тонных виброисточников. - Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Соловьев В.М., Кашун В.Н., Сальников А.С., Сагайдачная О.М. / Проблемы региональной геофизики: Материалы геофизической конференции - Новосибирск: ООО "Типография Сибири", 2001.
2. Глубинное строение юго-западной части Охотско-Чукотского региона по результатам вибросейсмических исследований с мощными передвижными вибраторами. - Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Сальников А.С., Фельдман Л.Л., Кашун В.Н., Кузнецов В.Л., Марков В.М., Данилов И.А., Жемчугова И.В. /Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы международной конференции - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003.
3. Липилин А.В., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Проблемы комплексной интерпретации геофизических данных по региональным профилям и пути их решения. /Геофизика, 2002, 4.
4. Новые геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики геосфер. Вибрационные геотехнологии. /Под ред. Лаверова Н.П. М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, 2002.
5. Отечественная многоканальная телеметрическая станция СТС-24Р для сейсмических исследований. - Сагайдачная О.М., Мальцев А.И., Птицына Т.С. Сагайдачная А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н. /Геофизический вестник ЕАГО, 2002, 10.
6. Пузырев Н.Н., Крылов С.В., Потапов С.В. Точечные сейсмические зондирования. /Методика сейсмозвездки. М: Наука, 1965
7. Солодилов Л.Н., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Ясюлевич Н.И., Семейкин Н.П., Аппаратурно-технический комплекс для ГСЗ и совместной сети сейсмологических наблюдений и вибросейсмического мониторинга. /Разведка и охрана недр, 1995. 5.

Совершенствование систем управления и контроля электрогидравлических вибрационных источников сейсмических сигналов

Асан-Джалалов О.А., Гридин П.А., ЗАО "Геосвип", г. Москва

Современный электрогидравлический вибрационный источник сейсмических сигналов представляет собой сложное наукоемкое изделие, сочетающее в себе прецизионные механику и гидравлику, обеспечивающие точную отработку заданных сигналов, и "умную" электронику, дающую возможность максимально автоматизировать процесс работы вибрационного источника и обеспечить наиболее полный контроль его работы, как на самом вибрационном источнике, так и дистанционно, с места оператора сейсмостанции. Поскольку возможности совершенствования гидромеханических систем вибрационных источников практически исчерпаны, основной упор в настоящее время делается на улучшение эксплуатационных характеристик вибрационных источников и ужесточение текущего контроля их параметров за счет развития электронных систем управления и средств контроля, как встроенных в системы управления, так и внешних.

Современные системы управления должны обеспечивать:

- максимальную синхронность работы группы вибрационных источников;
- возможность генерирования широкого спектра свип-сигналов, а также импульсных воздействий;
- возможность управления амплитудой свип-сигналов;
- максимальное соответствие излучаемого сигнала заданному, как по фазе, так и по амплитуде;
- минимальные нелинейные искажения излучаемого сигнала;
- дистанционную (по радио) диагностику, как самой системы управления, так и вибрационного источника в целом;
- непрерывный дистанционный контроль за работой вибрационных источников в процессе отработки каждого воздействия с сохранением на электронных носителях основных характеристик излучаемого каждым вибрационным источником сигнала (полярность, амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики, нелинейные искажения, контрольные суммы свип-сигнала и параметров системы управления);
- автоматическую адаптацию системы управления вибрационным источником к параметрам грунта на пунктах возбуждения колебаний;
- автоматическую настройку системы управления на любой тип вибратора и проверку его исправности;
- дистанционную загрузку параметров свип-сигнала и вибратора;
- максимальный уровень автоматизации работ, обеспечивающий минимальное влияние оператора вибрационного источника на процесс возбуждения колебаний;

Кроме того, как показывает опыт, ведущие производители систем управления вибрационными источниками вынуждены вносить изменения практически в каждую новую партию под требования заказчиков. Поэтому современная система управления должна легко модифицироваться без особых аппаратных изменений.

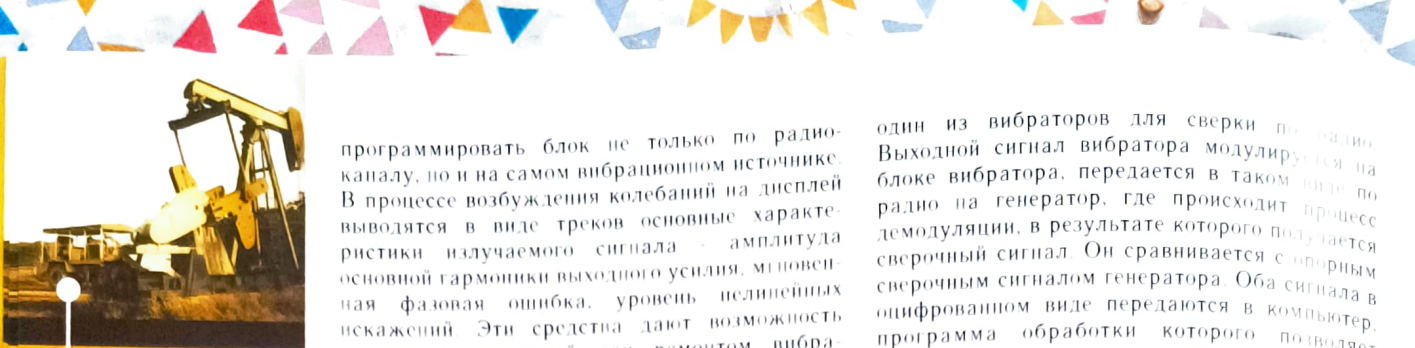
Стремительное развитие электроники имеет и свои теневые стороны. Разработка новых электронных компонентов в короткие сроки приводит к быстрому снятию с производства старых компонентов. Поэтому некоторые системы управления, еще не исчерпавшие свои ресурсы и вполне удовлетворяющие современным требованиям, производители вынуждены снимать с производства, так как электронные комплектующие к ним больше не выпускаются. Эксплуатация таких систем также затруднена из-за отсутствия запасных частей для ремонта. Производители вынуждены идти на новую разработку, основанную на новой элементной базе.

В 2004 г. ЗАО "Геосвип" закончило разработку своей системы управления вибрационных источников сейсмических сигналов. Новая система получила название "Vicont-002" (Рис.1). В процессе работы над ней разработчики старались построить систему, максимально удовлетворяющую вышеприведенным требованиям. Основой системы стал новый высокопроизводительный сигнальный процессор "Sharc". В качестве процессоров, управляющих работой отдельных плат, используются микроконтроллеры серии M16 производства Mitsubishi. Все платы имеют интерфейс для подключения компьютера через последовательный порт. Поэтому модернизацию функционального блока, уже находящегося в эксплуатации, можно произвести в считанные минуты загрузкой нового программного обеспечения, без изменений аппаратной части. Блок управления вибрационным источником оснащен жидкокристаллическим экраном и клавиатурой. Это позволяет



Рис. 1 Система управления вибрационных источников сейсмических сигналов "Vicont-002"

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

программировать блок не только по радиоканалу, но и на самом вибрационном источнике. В процессе возбуждения колебаний на дисплее выводятся в виде треков основные характеристики излучаемого сигнала - амплитуда основной гармоники выходного усилия, минимальная фазовая ошибка, уровень нелинейных искажений. Эти средства дают возможность заниматься наладкой или ремонтом вибрационного источника без привлечения аппаратуры, установленной на сейсмостанции, или другой дополнительной аппаратуры.

Комплект аппаратуры Vicont-002, предназначенный для управления электрогидравлическими вибрационными источниками сейсмических сигналов состоит из одного синхронизирующего генератора и нескольких блоков управления вибратором. Генератор обычно устанавливается на сейсмостанции и подключается к ней, а каждый из блоков устанавливается на вибрационном источнике. Генератор имеет удобный интерфейс для стыковки с сейсмостанцией.

К генератору подключается независимый IBM-совместимый компьютер. Этот компьютер требуется для управления работой генератора, загрузки параметров на все вибраторы, отображения и сохранения рапортов и анализа результатов сверки.

Основной задачей аппаратуры Vicont-002 является синхронизация выходных сигналов вибраторов с опорным сигналом генератора, записываемым на дополнительный канал сейсмостанции. Синхронизация запуска блоков достигается за счет телеметрической связи по радио между генератором и блоками. Кодовый сигнал, который осуществляет синхронизацию запуска, называется стартовым кодом. Vicont-002 имеет три разных стартовых кода для обеспечения работы нескольких сейсмопартий рядом.

После того, как стартовый код будет принят блоком, он начинает управлять процессом вибрационного излучения сейсмической волны в грунт. Аппаратура Vicont-002 предполагает широкий выбор различных свипов. Это линейные свипы, нелинейные сигналы со степенным, логарифмическим или кусочно-непрерывным изменением частоты во времени, последовательности линейных или нелинейных сигналов с различными сдвигами фаз, случайные свипы. Кроме того система позволяет генерировать импульсный сигнал. В процессе вибрации блок Vicont-002 управляет одновременно амплитудой и фазой выходного вибрационного сигнала усилия вибратора. Причем высокопроизводительный процессор позволяет управлять ими с высокой точностью.

Обычно на реактивной массе и опорной плите вибратора устанавливается две пары акселерометров. Для управления фазой выходного сигнала может использоваться или сигнал взвешенной суммы сигналов акселерометров, или сигнал ускорения реактивной массы, или же сигнал ускорения опорной плиты.

Одна пара акселерометров используется для управления процессом вибрации, а другая - для осуществления контроля качества излучения в системе сверки. Процедура сверки производится для того, чтобы проверять идентичность работы вибраторов. Во время свипа можно подключить

один из вибраторов для сверки по радио. Выходной сигнал вибратора модулируется на блоке вибратора, передается в таком виде по радио на генератор, где происходит процесс демодуляции, в результате которого получается сверочный сигнал. Он сравнивается с опорным сверочным сигналом генератора. Оба сигнала в оцифрованном виде передаются в компьютер, программа обработки которого позволяет просмотреть и сохранить следующие графики:

- трассы сигналов;
- фазо и амплитудно-частотные характеристики основной гармоники выходного усилия вибратора;
- фазовый и амплитудный спектры выходного усилия вибратора;
- сигнальная часть и огибающая функции взаимной корреляции опорного сигнала и выходного усилия вибратора;
- нелинейные искажения, как общие, так и по отдельным гармоникам;
- импеданс грунта.

Для одновременной сверки вибраторов может быть использована и проводная связь.

Во время свипа система управления Vicont-002 проводит многочисленные проверки. Результаты этих проверок передаются блоками на генератор в виде рапортов, которые содержат следующую информацию:

- максимальная и средняя фазовые ошибки;
- максимальная, минимальная и средняя амплитуды основной гармоники усилия;
- максимальный и средний уровень нелинейных искажений;
- GPS позиция вибрационного источника (дополнительная опция);
- сигнальная часть функции взаимной корреляции опорного сигнала вибратора и усилия;

Рапорты от блоков сразу же после свипа выводятся на экран компьютера, управляющего работой генератора. Кроме того, результаты сравниваются с заранее установленными оператором допусками. При превышении этих допусков автоматически включается индикация ошибок. Кроме того, на экран выводятся амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики выходного сигнала вибратора, полученные при обработке сигнальной части ФВК опорного сигнала и выходного усилия. Благодаря полноте контроля с помощью этого метода, проведение сверки требуется лишь изредка.

При отработке свипа система следит и не допускает превышения заданных пределов тока через ЭМП, перемещения распределительного золотника сервоклапана, перемещения реактивной массы. Кроме того, для выходного усилия она не допускает превышение 90%-го уровня от полного усилия прижима, таким образом предотвращая отрыв опорной плиты вибратора от грунта.

Параметры свип-сигналов и самого генератора заносятся в генератор с помощью компьютера. В блоки вибраторов параметры свип-сигналов и вибратора могут быть занесены с компьютера через генератор по радио, или на вибраторе с помощью клавиатуры и дисплея.

Адаптация блока управления к конкретному вибрационному источнику происходит автоматически в процессе калибровки. Блок может использоваться с любыми типами вибраторов.

Таблица 1 Технические характеристики системы Vicont-002

Максимальное количество вибраторов в группе, 4 группы	16	Максимальный ток через ЭМП, мА	100
Частотный диапазон, Гц	1...350	Синхронность запуска, мкс	±25
Точность часов, ppm	0.1	Потребляемая мощность, Вт	32
Питающее напряжение, В	9-36	Температурный диапазон, град. С	-40...+45
Максимальное число сегментов свипа	32	Размеры, мм	140x70x320
Максимальное число библиотечных свипов	16	Вес, кг	7,5

В качестве дополнительной опции система управления Vicont-002 может оснащаться системой GPS. Аппаратурная часть GPS-вибратора состоит из установленного внутри вибратора GPS-приемника, GPS-антенны и системы приема дифференциальной поправки. На сейсмостанции устанавливается опорная станция GPS, антенна которой расположена в точно известных координатах, для передачи на вибраторы дифференциальной поправки. Аппаратура GPS позволяет записывать координаты положения вибраторов на пунктах возбуждения и сохранять их в компьютере.

Все указанные выше возможности, современная элементная база, гибкость построения системы, позволяющая быстро доработать ее под дополнительные требования заказчика, свидетельствуют о том, что разработка выполнена на высоком техническом уровне и может конкурировать с лучшими зарубежными аналогами фирм "Sersel" (Франция) и "I/O" (США).

В таблице 1 приведены технические характеристики системы управления вибрационными источниками сейсмических сигналов Vicont-002.

Система управления Vicont-002 имеет встроенные средства контроля и диагностики вибрационного источника, достаточные для определения неисправностей, настройки и проверки вибраторов. Однако некоторые функции настройки и проверки требуют задействования всей системы в целом, в том числе и синхронизирующего генератора, установленного на сейсмостанции. А это не всегда удобно, так как часто сейсмопартия продолжает работу, пока один из вибрационных источников обслуживается. Поэтому для контроля, настройки и ремонта вибрационных источников в автономном режиме, без сейсмостанции, специалистами ЗАО "Геосвип" создан VibraTester программно-аппаратный комплекс для проверки качества работы сейсмических вибраторов (Рис. 2).

Применение современной элементной базы и программного обеспечения позволило создать комплекс на качественно новом уровне.

Прибор отличают малые размеры и вес, а программное обеспечение обладает высоким быстродействием. Способ отображения графической информации одновременно сочетает в себе достоинства присущие цифровому и аналоговому способам воспроизведения.

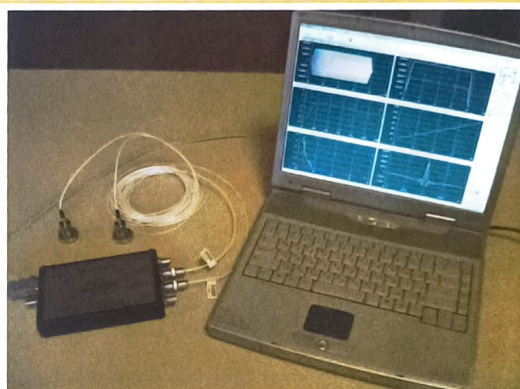


Рис. 2 Программно-аппаратный комплекс VibraTester для проверки качества работы сейсмических вибраторов

VibraTester полезен для поиска и устранения неисправностей электрогидравлических вибраторов независимо от их типа и установленной электронной системы управления.

Аппаратная часть комплекса состоит из четырехканального регистратора подключаемого к компьютеру через интерфейс RS-232 (COM-порт). В функции регистратора входит оцифровка аналоговых сигналов, цифровая антиалайсинговая фильтрация, передача оцифрованных сигналов в компьютер. Основные технические характеристики устройства VibraTester приведены в Таблице 2.

Регистратор работает в режиме реального времени, т. е. оцифрованные сигналы сразу же поступают в компьютер для обработки и воспроизведения. Программное обеспечение может работать в режиме осциллографа и спектрального анализатора. Режим реального времени позволил решить две задачи:

- воспроизводить в реальном времени

Таблица 2 Основные технические характеристики VibraTester

Максимальный входной сигнал: ♦ по каналам REF и VibOut ♦ по каналам BP и RM	± 10 В ± 2 В	Фазовая неидентичность каналов	± 1 град.
Частотный диапазон регистрируемых сигналов	3...450 Гц 0...450 Гц	Амплитудная неидентичность каналов	± 0.1 %
♦ режим акселерометров		Частота дискретизации	1 кГц
♦ режим сверки		Чувствительность акселерометров	2 мВ/г - 50 мВ/г
		Напряжение питания	9-36 В
		Потребляемый ток	200 мА при 12 В
		Габаритные размеры	200x110x40 мм

сигналы на экране компьютера.

- записывать сигналы любой длительности.

В устройстве применен быстродействующий 16-разрядный микропроцессор M16 производства Mitsubishi. Для данного класса процессоров обычно присуща развитая периферия и слабые вычислительные возможности для обработки сигналов, однако наличие в системе команд функции свертки позволило реализовать в дополнение к аналоговой и цифровую антиалайсинговую фильтрацию. Цифровой линейно-фазовый фильтр 100-го порядка работает на частоте 25 КГц и позволяет существенно упростить аналоговую часть, что повышает надежность устройства.

Устройство имеет только одну частоту дискретизации 1000 Гц, в использовании других частот необходимость отсутствует. При скорости передачи 115200 бод устройство вполне успевает пропустить всю информацию в реальном времени, а более высокие скорости не нужны, так как обычно они требуются лишь для устранения эффекта наложения частот. Дело в том, что подобные устройства, как правило, имеют частоту среза аналогового фильтра около 500 Гц (например, NVCA Pelton Company, Inc. фильтр Баттерворта 8-го порядка - 500 Гц) и дискретизация с частотой выше 1000 Гц снижает эффекты наложения, но не дает никакой дополнительной информации. В данном устройстве эффект наложения устраняется цифровым фильтром.

Аналоговая часть устройства выполнена на микросхемах известных производителей: Burr-Brown и Analog Devices. Аналоговый антиалайсинговый фильтр Бесселя 4-го порядка имеет частоту среза 500 Гц. VibraTester в аналоговой части не содержит никаких подстроечных элементов, что также повышает степень надежности. Для устранения влияния разброса параметров аналоговых элементов используется специально разработанная процедура калибровки. Калибровка устройства производится после его окончательной сборки и состоит из следующих этапов:

- на устройство подаются сигналы сформированные приборами на порядок более точными и производится их считывание специальной калибровочной программой;
- считанная информация обрабатывается и формируется файл с поправочными коэффициентами;
- сформированный файл записывается в ПЗУ микропроцессора.

Таким образом, достигается автоматизация и повышение качества настройки после сборки или ремонта прибора.

VibraTester может работать в двух основных режимах.

1. В трехканальном режиме запись сигналов акселерометров устройство записывает сигнал развертки (REFERENCE) и сигналы акселерометров плиты (BASE PLATE) и реактивной массы (REACTION MASS). Прибор может принимать сигналы питательных акселерометров установленных на вибраторе и внешних акселерометров входящих в комплект поставки. Для питания внешних акселерометров предусмотрен встроенный источник тока.

2. В двухканальном режиме свертки устройство записывает сигнал развертки сейсмо-

станции или опорный сигнал вибратора (REFERENCE) и выходной сигнал вибратора (VIBRATOR OUTPUT).

Первый режим предназначен для определения характеристик вибратора, его настройки и ремонта. При работе в трехканальном режиме с внешними акселерометрами прибор может быть полезен для проведения супервизорского контроля работы вибратора независимо от аппаратными средствами никак не связанными с электроникой самого вибратора.

Второй режим также используется для определения характеристик вибратора, для настройки, ремонта и для проведения ежедневных работ по свертке вибраторов по радиоканалу.

VibraTester имеет дополнительный режим работы по интерфейсу Serial Bus (Pelton Company, Inc.). В этом режиме прибор специальным кабелем подключается к блоку управления вибратором или свип-генератору и обеспечивает взаимодействие с программой KOP6 (Pelton Company, Inc.).

Программа VT является управляющей программой для устройства VibraTester. Программа управляет режимами оцифровки данных устройством. Прием данных от устройства через последовательный интерфейс RS-232 и их запись на дисковый носитель в формате SEG-2. Программа VT производит обработку записанных данных, их воспроизведение на экране ЭВМ, а также распечатку на печатающем устройстве. Дополнительной возможностью программы является чтение данных в формате FM16 (Pelton Company, Inc.), это позволяет пользователю сравнить качество обработки.

Программа может работать под управлением операционных систем Windows 98, Windows 2000 или Windows XP.

Цифровая обработка построена на базе пакета Intel Signal Processing. Использование данного пакета, оптимизированного специалистами компании Intel для цифровой обработки сигналов, позволяет достичь максимальной производительности, обеспечиваемой процессорами Intel Pentium, а также повысить надежность самой обработки за счет использования отлаженных процедур. Были также использованы подпрограммы библиотеки SLATEC (Sandia, Los Alamos, Air force weapons laboratory Technical Exchange Committee).

При вычислении основных параметров



Рис. 3 Вычисление основных параметров вибратора

вибратора (рис. 3) таких как: фаза, амплитуды основной гармоники, пиковая и среднеквадратическая, используется свертка с сигналом развертки (REFERENCE). Свертка вычисляется в окне 200 миллисекунд с постоянным шагом и 100 миллисекунд, т.е. первое значение будет вычислено на интервале 0-200 мс, второе 100-300, 200-400 и т.д. Время на графиках соответствует серединам интервалов свертки, например значение 4 с на графике, будет вычислено на интервале 3900-4100 мс. Для свертки используется комплексная модель сигнала развертки, вычисляемая из входного с помощью преобразования Гильберта.

Графика программы основана на графической библиотеке OpenGL (разработка Silicon Graphics Incorporated), позволяющей создавать высокоскоростные приложения с графикой высокого качества, независимые от конкретной операционной системы.

Режим сглаживания линий, а также возможность управления яркостью "луча" позволили создать графику, не уступающую изображению на экране аналогового осциллографа. Воспроизводимые графические зави-

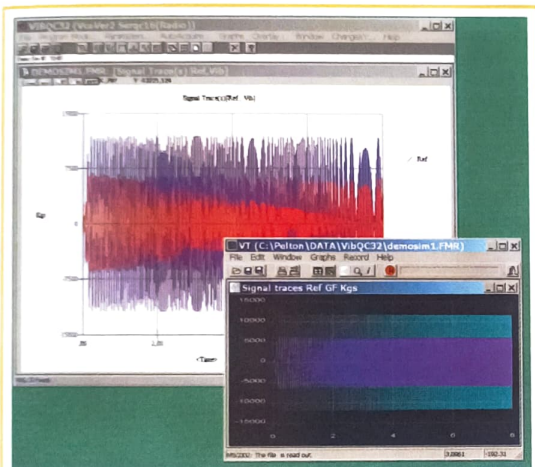


Рис. 4 Сравнение графических возможностей программ VibQC32 (Pelton Company, Inc) и VT

симости обладают большой информативностью даже при небольших размерах окна и большом масштабе по оси времени.

Сравним, например, (рис. 4) кривые Signal traces длительностью 8 секунд одной и той же записи, воспроизведенные программами VibQC32 (Pelton Company, Inc) и VT.

Программа позволяет создавать одновременно любое количество графиков. Новый график создается в отдельном окне и ему назначается какой-либо тип зависимости, например, фазы или амплитуды спектра от частоты. Интересующая область графика может быть выделена мышью, пределы по осям координат могут быть заданы, как вручную так и автоматически. Для сравнения различных записей можно прочитать одновременно несколько файлов и все они отобразятся в соответствующих окнах.

В программе существует возможность наблюдать сигналы, подключенные к входным разъемам, в реальном времени. Пользователь может назначить графику тип "Oscilloscope" или "Spectral Analyzer". В случае если VibraTester не

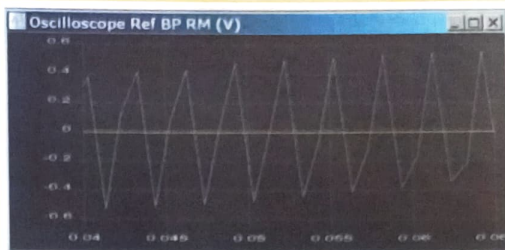


Рис. 5 Режим "Oscilloscope" (без интерполяции)

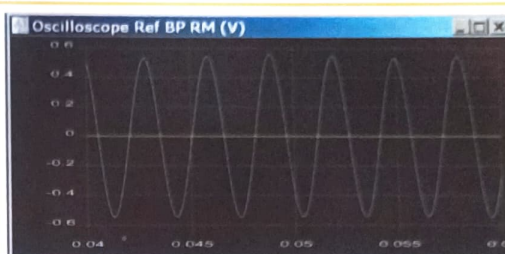


Рис. 6 Режим "Oscilloscope" (с интерполяцией)

готов к работе или устройство отключено в окне появляется сообщение "No signal", при подключении устройства VibraTester к ЭВМ и подаче питания в окне сразу возникает изображение сигнала, т.е. программа "налету" синхронизируется с устройством. Это свойство можно использовать для контроля готовности устройства к записи. Для режима Oscilloscope есть специальный параметр, позволяющий с помощью быстрого преобразования Фурье интерполировать сигнал, увеличивая в 8 раз частоту дискретизации. Данный способ интерполяции хорош для наблюдения за синусоидальными, шумоподобными и близкими к ним сигналами, такими как сигналы развертки, ускорения, усилия на грунт. На рис. 5, 6 показан синусоидальный сигнал с частотой примерно 330 Гц без интерполяции и с ней.

"Spectral Analyzer" позволяет в реальном времени наблюдать спектр сигнала вычисленный по 256 отсчетам.

Существует возможность скопировать в буфер обмена Windows (Clipboard) точечный рисунок, содержащий изображение графика. Рисунок может быть вставлен в файл под управлением различных программ, например Microsoft Word, для составления отчета или каких-либо иных целей.

Печать, осуществляется всегда черным цветом на белом фоне с сохранением полутонов. Сверху выводятся заголовки, отражающий основные свойства записи. Относительные размеры и пропорции окон сохраняются, но общий размер воспроизводимого рисунка масштабируется так, чтобы занять на листе бумаге максимальный размер по высоте или ширине без потери информации.

В заключение можно сказать, что программно-аппаратный комплекс будет полезен как организациям, эксплуатирующим вибрационные источники для их обслуживания, так и супервайзерским службам, для оценки возможностей и технического состояния вибрационных источников.

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

О целесообразности применения комбинированных сигналов в современной вибросейсморазведке

Кострыгин Ю.П., ООО "Институт геолого-экологических технологий и исследований", г. Краснодар
Барулин Д.А., ОАО "Саратовнефтегеофизика", г. Саратов

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Значительные успехи, наметившиеся в последние годы в области геологической интерпретации сейсмических материалов, выдвигают весьма жесткие требования к качеству исходных сейсмограмм и обуславливают необходимость соответствующей коррекции методики вибросейсмических наблюдений. В этой связи следует обратить внимание на ряд требований, сформулированных в "Методических рекомендациях по применению пространственной сейсморазведки 3D" утвержденных в 2002 г. министерствами природных ресурсов и энергетики России [3]. В этом документе отмечается, что при исследованиях 3D методика наблюдений должна обеспечивать спектральную плотность полезных сигналов, превышающую фоновый уровень на суммарных записях, в частотном диапазоне 60-80 Гц. Только при таком условии, по мнению авторов рекомендаций, технология сейсмической инверсии, являющаяся неотъемлемым элементом комплекса работ 3D, отличается высокой эффективностью.

Указанные требования безусловно справедливы и при использовании вибросейсмических способа разведки должны выполняться. Вместе с тем подавляющее большинство вибросейсмических партий России в настоящее время продолжает применять в качестве зондирующих сигналов в основном ЛЧМ-развертки. В таком варианте вибросейсмический метод практически всегда заметно уступает по своим возможностям взрывной сейсморазведке. Так, для отраженных волн, регистрируемых на временах более 2 с, верхняя частота эффективной полосы спектра при использовании широкополосных ЛЧМ-сигналов, как правило, не превышает 40-45 Гц для первичных коррелограмм и 60-70 Гц для окончательных временных разрезов [1].

Физически ограниченные возможности метода при работе с ЛЧМ-сигналами прежде всего связаны с особенностями постановки задачи по созданию сейсмических вибраторов. В настоящее время разработчики вибраторов ставят перед собой задачу создания "широкополосных вибраторов", подразумевая под этим вибраторы, которые в широком диапазоне частот обеспечивают примерно одинаковое усилие на грунт. Однако при проведении сейсморазведочных работ в основном применяются датчики скорости смещения, и уже поэтому, так называемые "широкополосные вибраторы" в случае использования ЛЧМ-разверток позволяют формировать в результате интегрирования широкополосных сигналов ускорения относительно низкочастотные колебания.

Расширить амплитудный спектр регистрируемых сейсмических сигналов возможно путем использования управляющих разверток с нелинейным законом изменения текущей частоты, а также комбинированных разверток, состоящих из нескольких ЛЧМ-сигналов, разделенных промежутками времени. Из нелинейных разверток наибольшее применение получили кусочно-линейные, логарифмические и степенные развертки [1]. При формировании же комбинированных разверток достаточно успешно используются последовательности ЛЧМ-сигналов, состоящие из трех-четырех сегментов одинаковой длительности и амплитуды с равными значениями максимальных частот F_{max} и равными значениями минимальных частот F_{min} [2].

Очевидное преимущество нелинейных разверток по сравнению с комбинированными развертками заключается в возможности более строгого задания формы желаемого амплитудного спектра управляющего сигнала. Поэтому амплитудные спектры и корреляционные импульсы отраженных волн при

работе с нелинейными развертками могут быть достаточно близки по форме к спектрам импульсам ФАК соответствующих ЛЧМ-сигналов. К преимуществам использования нелинейных разверток следует также отнести и то обстоятельство, что каждое последующее воздействие при работе с такими развертками идентично предыдущему воздействию, что повышает эффективность работы системы фазовой коррекции возбуждаемых колебаний.

Вместе с тем, многочисленные исследования показали, что комбинированные развертки в свою очередь имеют ряд весьма серьезных преимуществ по сравнению с нелинейными сигналами. И именно комбинированные развертки в ряде случаев обладают преимуществами комбинированных разверток. К ним следует отнести более низкий уровень корреляционного фона в дальней зоне корреляционной функции.

В качестве примера на рис. 1 сопоставлены графики динамического диапазона корреляционного преобразования, рассчитанные при использовании различных типов вибросейсмических сигналов для условий юго-западной части Прикаспийской впадины. Можно видеть, что в конкретных условиях уровень корреляционного фона в дальней зоне корреляционной функции при работе с комбинированным сигналом, состоящим из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F_1=15-90$ Гц, $\Delta F_2=90-43$ Гц, $\Delta F_3=43-90$ Гц, практически не отличается от интенсивности корреляционного фона, формируемого ЛЧМ-сигналом с частотным диапазоном 15-90 Гц. Для нелинейных же разверток, представляющих непрерывные последовательности 8, 12 и 16 ЛЧМ-сигналов, уровень корреляционных помех превышает уровень корреляционного фона при работе с комбинированными развертками на 5 дБ при $\tau=0,75$ с, на 7 дБ при $\tau=1$ с, на 13 дБ при $\tau=1,5$ с и на 12 дБ при $\tau=2$ с.

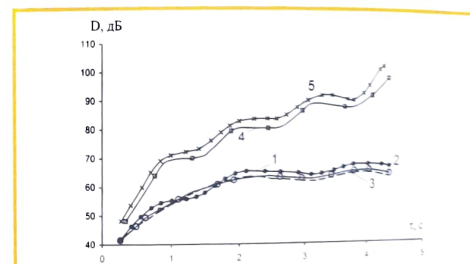


Рис. 1 Графики динамического диапазона корреляционного преобразования, рассчитанные для юго-западной части Прикаспийской впадины. 1,2,3 - кусочно-линейные развертки, число сегментов равно соответственно 8, 12 и 16; 4 - комбинированная развертка; 5 - ЛЧМ-развертка

Достаточно серьезный недостаток нелинейных вибросейсмических сигналов, задаваемых аналитически с использованием, например, логарифмических или степенных разверток и обеспечивающих восстановление высокочастотных гармоник, заключается также в возможности практически полной потери гармонических составляющих в интервале частот 10-20 Гц. При проведении исследования такие прогнозирование геологического разреза такие последствия крайне не желательны. В отличие от нелинейных разверток комбинированные сигналы включают сегменты, представленные широкополосными ЛЧМ-развертками (например, 10-90 Гц) и необходимым образом наполняющие низкочастот-

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕХНОЛОГИЯ

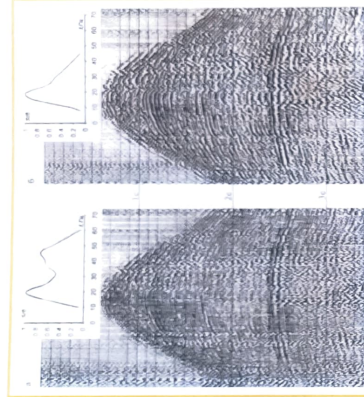


Рис. 2 Корреляграммы и соответствующие им амплитудные спектры, полученные на Западно-Губкинских площадях с использованием комбинационных (а) и ЛЧМ-сигналов (б)

Губкинского нефтегазового района. В качестве зондирующих сигналов в данном случае применялись:

- ЛЧМ-сигнал, $\Delta F = 10-90$ Гц;
- комбинационная разведка, состоящая из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F_1 = 10-90$ Гц, $\Delta F_2 = 34-90$ Гц и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц;
- нелинейная разведка с градиентом 4 дБ/октава;
- нелинейная разведка с градиентом 6 дБ/октава.

Хорошо видно, что в отличие от комбинационных сигналов при использовании нелинейных разведок весьма значительно усиливалось мешающее влияние корреляционного фона. По этой причине отражения, зарегистрированные на аренях от 2,4 с до 3,0 с в интервале пикетов 4981-5005, и достаточно четко выделяемые в случае применения ЛЧМ-сигналов и комбинационных разведок, были практически полностью завуалированы корреляционным фоном, формируемым низкоскоростными помехами при использовании нелинейных разведок. Отражения же, регистрируемые в указанном диапазоне времен в интервале пикетов 4911-4946, были в свою очередь завуалированы при использовании нелинейных разведок корреляционным фоном, формируемым

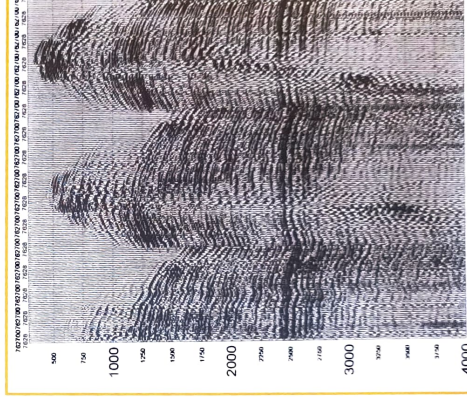


Рис. 3 Корреляграммы, зарегистрированные в условиях Северо-Комсомольской площади с использованием комбинационных разведок

ну, область спектра кодбаний. Значительные объемы вибросейсмических исследований 3D с использованием комбинационных разведок были выполнены в условиях Губкинского нефтегазового района. С применением комбинационных разведок по технологии 3D было обработано около 300 квадратных километров площади в пределах Северо-Комсомольского месторождения и около 150 квадратных километров на Западно-Губкинском месторождении. Работы выполнялись ООО "Новосибирскгазгеофизика" по договору с ОАО "Газгеофизика". Коллекция побуждающей группы, состоящей из трех вибраторов СВБ-24 РС-27, разбросанных ЗАО "Тесис" и разноразличных номиналов усилие на грунт 270 кН. Регистрация осуществлялась с использованием телеметрической системы SX88. В качестве зондирующего использовался комбинационный сигнал, состоящий из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F = 10-90$ Гц, $\Delta F_2 = 34-90$ Гц и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц.

Обработка и интерпретация полученных таким образом материалов осуществлялась в ЦГЭ (Москва). При этом истинными специалистами ЦГЭ была сделан вывод о том, что в условиях Губкинского нефтегазового района комбинационные вибросейсмические сигналы по сравнению с ЛЧМ-сигналами обеспечивают существенно более высокую эффективность исследований 3D. В качестве параметра на рис. 2 составлены корреляграммы, зарегистрированные на Западно-Губкинской площади с использованием комбинационных (а) и ЛЧМ-сигналов (б). Из рис. 2 видно, что в данных сейсмо-геологических условиях применение комбинационных разведок позволяло заметно расширить спектр регистрируемых отраженных волн и существенно повысить общую информативность получаемых сейсмограмм. При этом важно отметить, что вес высокочастотных гармоник удалось существенно повысить не только для относительно мелких отражений, соответствующих, например, границам в сеноманских и неоманских отложениях, но и для отражений, соответствующих базовому геологическому реперу ($\approx 2,4-2,9$ с). Сравнительный количественный анализ корреляграмм, выполненный с использованием программы REZOL для временного интервала 2,2-9 с, свидетельствует о том, что при переходе на комбинационные разведки максимальная частота эффективной полосы амплитудного спектра увеличилась с 45 Гц до 60 Гц, а комплексный коэффициент качества (RPN) в конкретных условиях возросла на 55%.

На рис. 3 приведены типичные корреляграммы, полученные в условиях Северо-Комсомольской площади с использованием комбинационных разведок. Очевидно, что представленные корреляграммы по своему качеству вполне соответствуют сейсмограммам, обычно регистрируемым с применением взрывных скважинных излучателей.

Указывая на возможность существенного повышения эффективности вибросейсмических исследований путем использования комбинационных сигналов, следует вместе с тем, отметить, что наблюдения с применением нелинейных разведок в целом более технологичны. Поэтому, проводя на протяжении многих лет в условиях Западной Сибири вибросейсмические работы, авторы данной статьи делали многочисленные попытки улучшить качество вибросейсмических записей за счет использования именно нелинейных разведок. Однако во всех случаях комбинационные разведки обеспечивали более высокое качество корреляграмм. Как уже отмечалось, физически это связано с более низким уровнем помех корреляционного преобразования в дальней зоне функции взаимной корреляции для комбинационных сигналов и с возможностью практически полной потери гармонических составляющих в интервале частот 10-20 Гц при работе с нелинейными разведками.

Для примера на рис. 4 приведены корреляграммы, зарегистрированные на Дремучей площади

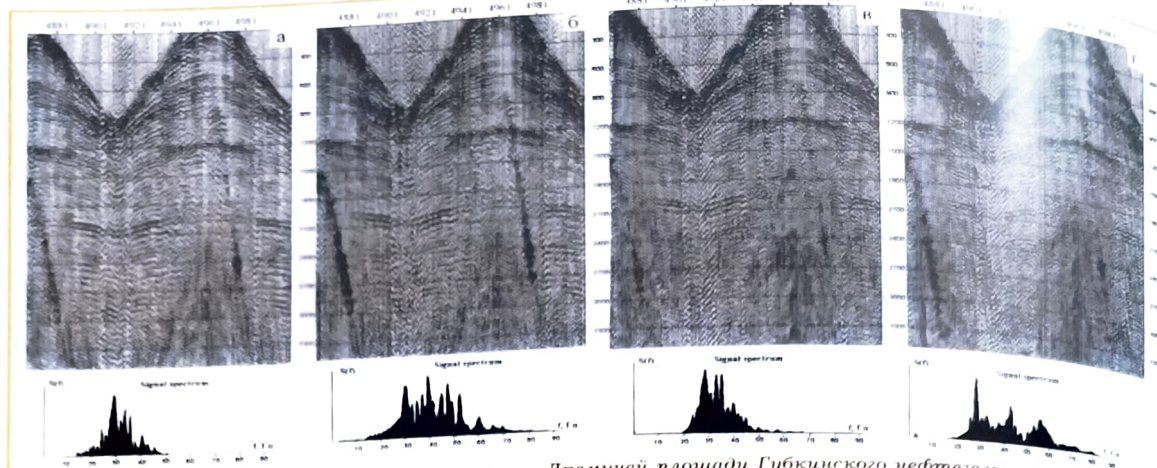


Рис. 4 Коррелограммы, зарегистрированные на Дремучей площади Губкинского нефтегазового района: а - ТЧМ-сигнал, $\Delta F = 10-90$ Гц; б - комбинированная развертка, состоящая из трех сегментов: $\Delta F = 10-90$ Гц, $\Delta F_1 = 34-90$ Гц и $\Delta F_2 = 43-90$ Гц; в, г - нелинейные развертки с градиентами соответственно 4 дБ/октава и 6 дБ/октава. Интервал спектрального анализа $\Delta t = 1,5-3$ с.

высокоамплитудными колебаниями, преломленными от подошвы зоны малых скоростей. Более того, при работе с нелинейными сигналами отмечалась потеря гармонических составляющих в частотном интервале 10-20 Гц, что ухудшало динамические характеристики полезных колебаний.

Интересен первый опыт применения комбинированных сигналов на Кубани при исследованиях 3D. На рис. 5 представлены временные разрезы, рассчитанные по ортогональным направлениям с использованием материалов 3D, полученным на Южно-Варавенской площади Краснодарского края. Процедура миграции в данном случае не применялась. Работы были проведены ОАО "Саратовнефтегеофизика" по заказу ОАО "Краснодарнефтегаз". Колебания возбуждались группой, состоящей из трех вибраторов СВ27/150К, разработанных ЗАО "Геосвип" и развивающих номинальное динамическое усилие на грунт 270 кН. Комбинированный сигнал состоял из трех сегментов с частотными диа-

пазами: $\Delta F_1 = 10-90$ Гц, $\Delta F_2 = 34-90$ Гц и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц. Целевыми являлись отражения, соответствующие отложениям понтического ($t_0 \approx 0,9-1,3$ с) и чокракского ($t_0 \approx 2,2-2,8$ с) ярусов.

Из рис. 5 видно, что в этих условиях применение комбинированных разверток позволило зарегистрировать целевые отражения с эффективной полусой амплитудного спектра 10-83 Гц. Использование таких записей для решения интерпретационных задач обеспечивает принципиальную возможность достижения высокой результативности сейсмических исследований. На временном разрезе в интервале $t_0 = 2,2-2,8$ с достаточно четко выделяются разрывные нарушения, подтверждающие блоковое строение караган-чокракских отложений. Важно также отметить, что формируя в интервале времени до 2,5-3,0 с широкополосные отражения с весьма качественной динамикой, комбинированные развертки сохраняют, в отличие от нелинейных разверток, возможность прослеживания и значительно более глубоких отражений (рис. 5). Так, на представленных временных разрезах весьма качественно прослеживаются отражения от границ в майкопском ярусе, а также высокоамплитудные отражения, соответствующие меловым и юрским отложениям ($t_0 = 3,8-4,8$ с).

Таким образом, при изучении относительно глубоко залегающих горизонтов ($t_0 > 2$ с) комбинированные сигналы, как правило, обеспечивают по сравнению с нелинейными развертками более высокую эффективность исследований. Физически это связано с более низким уровнем помех корреляционного преобразования в дальней зоне функции взаимной корреляции для комбинированных сигналов и возможностью практически полной потери гармонических составляющих в интервале частот 10-20 Гц при работе с нелинейными развертками. При более мелком залегании отражающих горизонтов в основном целесообразнее использовать нелинейные развертки [1].

Литература

1. Кострыгин Ю.П. Сейсморазведка на сложных сигналах. Тверь: Издательство ГЕРС, 2002. - 416 с.
2. Кострыгин Ю.П., Школьников А.Л. Исследование возможности повышения разрешающей способности вибросейсмического метода путем применения комбинированных разверток // Прикладная геофизика. - М.: Недра, 1989. - Вып. 120. - С. 63-73.
3. Методические рекомендации по применению пространственной сейсморазведки 3D на разных этапах геологоразведочных работ на нефть и газ. Мин. природных ресурсов России. Мин. энергет. России. М., 2002.

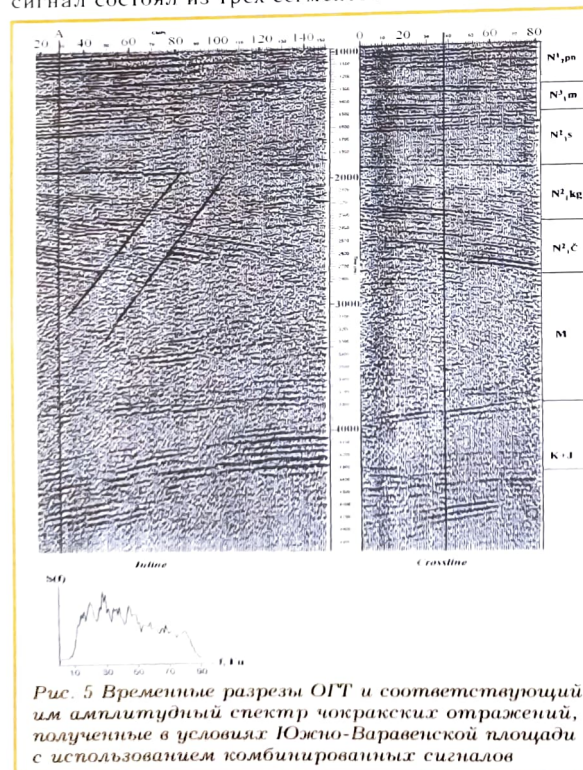


Рис. 5 Временные разрезы ОИТ и соответствующий им амплитудный спектр чокракских отражений, полученные в условиях Южно-Варавенской площади с использованием комбинированных сигналов

Повышение нефтеотдачи сейсмическим воздействием на пласт

Апелюхин Н.П., Асан-Джалалов А.Г., Барабанов В.Л., Лавров В.С., Николаев А.В.
ЗАО "Геосвип", Институт проблем нефти и газа РАН, Институт физики Земли РАН, г. Москва

Развитие современных технологий увеличения нефтеотдачи сильнообводненных пластов происходит в направлении не столько увеличения их фильтрационных характеристик, сколько контроля характеристик межфазных поверхностей с учетом неоднородной многофазной насыщенности. Одним из перспективных вторичных методов нефтедобычи является метод, использующий возбуждение сейсмических колебаний в залежи с земной поверхности. Этот метод своеобразно сочетает управление как фильтрационными характеристиками нефтеводонасыщенных пластов, так и характеристиками их смачиваемости по отношению к пластовым флюидам.

Известно большое количество как косвенных, так и прямых экспериментальных подтверждений эффективности низкочастотного сейсмического воздействия на сильнообводненные нефтяные пласты с точки зрения снижения их остаточной нефтенасыщенности, т.е. увеличения их конечной нефтеотдачи.

Так, неоднократно зафиксированы случаи значимого влияния землетрясений на режим эксплуатации нефтяных скважин. Причем на снижение обводненности добывающих скважин влияли не столько близкие или дальние сильные землетрясения, сколько общее повышение сейсмической активности в прилегающих к месторождениям районах. Из натурных экспериментов с наземными сейсмическими источниками можно выделить следующие:

1. Бориславское нефтяное месторождение в Предкарпатье [1]. Глубина кровли пласта 178-235 м. В качестве источника сейсмических колебаний был использован вибратор ВР-17 мощностью 50 кВт при частоте колебаний 4 Гц. Вибровоздействие производилось в течение 3,5 суток. В результате было получено увеличение дебита нефти приблизительно на 10 % при неизменном дебите воды.

2. Месторождение Чагырташ в Киргизии [2]. Средняя глубина залегания продуктивных коллекторов 410-570 м. Вибровоздействие производилось с помощью двух наземных источников колебаний мощностью по 50 кВт каждый. Анализы газа показали заметное увеличение содержания в нем легких компонентов. В пробах нефти увеличился остаток при разгонке и снизилась температура кипения, что свидетельствовало об обогащении нефти легкими фракциями. В результате вибровоздействия, которое осуществлялось в течение 1 месяца, среднесуточная добыча выросла в 1,6 раза, а обводненность продукции снизилась на 20-25 %.

3. Месторождения Абузы, Убежинское и Зыбза-Глубокий Яр Северного Кавказа [3]. Глубина продуктивных пластов варьировала от 300 до 1200 м. В качестве наземных источников сейсмических колебаний использовались вибраторы СВ-10/100М и СВ-20/60. Наиболее сильный положительный эффект снижения обводненности получен на месторождении Абузы: содержание нефти после месяца вибрационных воздействий в диапазоне частот от 10 до 40 Гц увеличилось с 5-

15% до 10-20 %. На месторождении Убежинское, где средний процент обводненности составлял 50%, зафиксировано резкое увеличение разброса объемного содержания нефти при сохранении его среднего значения. На месторождении Зыбза был зафиксирован эффект увеличения содержания связанной воды в добываемой нефти.

4. Манчаровское нефтяное месторождение, Башкортостан [4]. Ударно-волновое воздействие на залежь осуществлялось мобильным импульсным источником большой мощности, снабженным специальным согласующим скважинным устройством. Излучатель был зацементирован в интервале продуктивного пласта на глубине 1280-1287 м. После каждого цикла воздействий, длительность которых достигала 1 месяца, наблюдалось резкое уменьшение обводненности добываемой продукции (в среднем, с 97,5 до 91,5%). Отмечено также вовлечение в разработку запасов нефти, имеющей повышенное содержание тяжелых фракций, парафинов, т.е. характеризующейся большей вязкостью и плотностью, чем нефть, добываемая традиционной технологией.

5. Мартенья-Тетеревское, Правдинское (Западная Сибирь) и Жирновское (Поволжье) месторождения [5]. В качестве источников сейсмического воздействия использовались мощные вибраторы типа ВРП-30/120 и ЦВ-100 с возмущающей силой до 1000 кН при частотах 6-12 Гц и электромагнитный молот МЭМ-30 с энергией удара 30 кДж и частотой 30-80 уд./мин. Все исследованные месторождения характеризовались высокой обводненностью добывающих скважин. В результате воздействия обводненность отдельных скважин снизилась более чем вдвое, дебит нефти увеличился, изменился качественный состав нефти и попутного газа. Отмечено, что этот эффект сохранялся относительно длительное время - до 4 месяцев после прекращения вибровоздействия.

6. Суторминское месторождение в Западной Сибири [6]. Нефтяной коллектор представлен чередованием песчаников и алевролитов, разделенных глинистыми прослоями. Обводненность добывающих скважин высокая и достигает 99 %. Вибровоздействие производилось в течение 1 месяца двумя источниками колебаний электродинамического типа. Реакция на воздействие обнаружена во многих скважинах в виде снижения обводненности или увеличения дебита жидкости, часто сопровождающегося повышением динамического уровня жидкости в затрубном пространстве скважин. Продолжительность эффекта вибровоздействия составила более 29 месяцев.

Коллектора нефтяных месторождений в большинстве своем характеризуются смешанным типом смачиваемости - крупные поры покрыты пленкой адсорбированной нефти и являются преимущественно гидрофобными, мелкие поры насыщены водой и являются преимущественно гидрофильными. При заводнении коллекторов со смешанной смачиваемостью происходит как бы встречное заполнение пор водой: от мелких пор к

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ИСПЫТАНИЯ

крупным и от крупных к мелким. В результате, несмотря на увеличение общей продолжительности нефтеотдачи, увеличивается ее эффективность [7]. Это подтверждено результатами модельных экспериментов, а именно, максимум нефтеотдачи природных коллекторов достигается при степени гидрофобизации их внутрипоровой поверхности от 30 до 60 %. Эта величина может существенно меняться в зависимости от минерального состава скелета пород-коллекторов, физико-химических свойств насыщающих жидкостей и от других факторов. Для чисто гидрофобных или чисто гидрофильных коллекторов эффективность нефтеотдачи ниже. Таким образом, если искусственно изменить параметры природной смачиваемости коллекторов в сторону их общей нейтральности, то можно увеличить подвижность заземленных макро- и микро-целиков нефти и тем самым увеличить коэффициент конечной нефтеотдачи коллектора.

Параметры смачиваемости природных поверхностей определяются преимущественно их структурой и физико-химическими характеристиками. Граница минерального скелета и жидкости в пористых средах является поверхностью контакта фаз разного химического состава и агрегатного состояния. Вследствие различия подвижностей отдельных молекул и ионов в жидкостях и адсорбционной способности минерального скелета, на этой поверхности возникает поперечная разность электрического и химического потенциала. В макроскопическом масштабе поверхность раздела фаз характеризуется краевым углом смачивания, выражающимся через соотношение коэффициентов поверхностного натяжения в системе твердый скелет - жидкость - жидкость.

Механизм влияния сейсмического воздействия на смачиваемость природных коллекторов нефтяных месторождений представляет собой сложную цепочку взаимосвязанных процессов. Сейсмическое воздействие приводит к возбуждению слабых электромагнитных полей в насыщенных пористых средах. Наиболее интенсивные поля генерируются в поле поперечных волн за счет периодических смещений двойного электрического слоя вдоль поверхности минеральный скелет-жидкость. Это проявляется в виде изменения эффективного краевого угла смачивания (а также и коэффициента растекания). При благоприятных обстоятельствах электромагнитные возмущения могут изменять смачиваемость природного коллектора в сторону ее большей нейтральности [8]. Изменение параметров смачиваемости природных коллекторов под влиянием сейсмического воздействия можно обнаружить и по косвенным признакам. В частности, это может проявляться в виде необратимых изменений естественного электрического потенциала насыщенных пористых сред, необратимых изменений порового (или капиллярного) давления, скачкообразных изменений относительных фазовых проницаемостей и т.д., вплоть до дополнительного выхода вытесняемой фазы, то есть снижения предельной остаточной насыщенности вытесняемой фазы.

Предложенный нами способ разработки обводненного нефтяного месторождения [9] осуществляется следующим образом.

На обводненном нефтяном месторождении, вскрытом, по меньшей мере, одной эксплуатационной и одной нагнетательной скважинами, определяется местонахождение одного и более

обводненных участков с неподвижной нефтяной фазой. Таким участками могут быть, в частности, затронутые системой заводнения, или крупные неоднородности фронтов вытеснения. Проводится построение диаграммы направленности излучения наземного сейсмического источника поперечным волнам. Определяются по ней области максимальных амплитуд поперечных волн. Источник устанавливается таким образом, чтобы граница обводненного участка месторождения с неподвижной нефтяной фазой находилась в области максимальных амплитуд поперечных волн. Кроме того, определяются параметры смачиваемости обводненного участка месторождения с неподвижной нефтяной фазой, а продолжительность сейсмического воздействия выбирается в зависимости от их изменения.

Наиболее выгодным с технологической и экономической точек зрения является возбуждение сейсмических колебаний в пласте мощными вибрационными источниками сейсмических сигналов. Они обеспечивают легкое перемещение по площади при выборе места излучения, простой выбор амплитуды и частоты излучения и возможность группирования с целью создания направленного излучения. Самым простым выбором является применение стандартных источников сейсмических сигналов для сейсморазведки. Однако необходимый режим работы при вибровоздействии на пласт не является для них штатным и существует высокая вероятность выхода их из строя. Особенности работы вибратора в необходимом режиме следующие:

- постоянная работа на моночастоте в низкочастотной области (6-20 Гц)

- непрерывная работа в течение суток и более.

Это приводит к повышенным вибрационным нагрузкам на шасси и все элементы вибратора, а также к тяжелому тепловому режиму возбуждения вибраций, что вызывает его затирание и последующее заклинивание. В ЗАО "Геосвип" разработан и производится вибрационный источник, предназначенный для работы в таком режиме. От серийного источника его отличает повышенная виброизоляция платформы, на которой установлено оборудование, специальная конструкция возбудителя вибраций, допускающая работу на низких моночастотах длительное время. Кроме того, некоторые изменения введены в систему управления вибратором. Вибратор создан на базе шасси МоАЗ-6910, развивает динамическое усилие 30 тс, имеет частотный диапазон от 6 до 150 Гц и предназначен для работы при температуре окружающей среды от минус сорока до плюс пятидесяти градусов Цельсия.

Основой полевых геофизических наблюдений являются скважинные сейсмические наблюдения. Комплекс включает следующее оборудование:

- скважинный зонд на основе ССК-1 с трехкомпонентным геофоном;

- блоки управления, аппаратурно-программные комплексы для многоканальной (до 32 каналов) регистрации и первичной обработки данных;

- программное обеспечение для обработки и исследования полученной информации;

- сейсмокаротажный подъемник с бронированным кабелем длиной не менее 3000 м на шасси ЗИЛ-131;

- автомобиль для размещения измерительной аппаратуры и ежедневного сбора данных и контроля работы аппаратурного комплекса.



Эффективность предложенного способа подтверждена специальным экспериментом, проведенным на Барсуковском нефтяном месторождении в Западной Сибири. Глубина продуктивного пласта составляла 1740 м. Сейсмическое воздействие осуществлялось двумя стандартными сейсмическими вибраторами с максимальной амплитудой нагрузки 27 тс. В результате сейсмического воздействия, общая длительность которого не превысила 150 часов в течение 3 недель, средняя обводненность группы добываемых скважин на рабочем участке месторождения снизилась на 2-2,5 % при сохранении общего дебита добываемой жидкости. Радиус влияния сейсмического воздействия составил 0,6-1,2 км. Эффект сейсмического воздействия сохранялся еще по крайней мере в течение двух месяцев после его окончания [10].

Литература.

1. Снарский А.Н. Влияние инфразвукового поля на текущий дебит скважин // Изв. вузов. Нефть и газ. 1982. № 7. С. 34-35.
2. Симкин Э.М., Погосян А.Б., Лопухов Г.П. Вибросейсмический метод воздействия на обводненные нефтяные пласты. Результаты экспериментальных и промысловых исследований // В сб.: Фундаментальные и поисковые исследования механизма вытеснения нефти различными реагентами и создание технологий разработки трудноизвлекаемых запасов нефти. М.: ВНИИОЗНГ. 1992. С. 105-112.

3. Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Перова Н.В., Славин С.С. Вибрационное сейсмическое воздействие на водо- и нефтенасыщенные среды: результаты полевых экспериментов // В сб. Сейсмическое воздействие на нефтяную залежь. М. 1993. С. 142-165.
4. Назмиев И.М., Андрейцев С.В., Горюнов А.В. Низкочастотное ударно-волновое воздействие: эффективный метод повышения нефтеотдачи пластов // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений 1997 № 12. С. 42-45.
5. Курпеля М.В., Сердюков С.В. Реакция флюидов нефтепродуктивного пласта на вибросейсмическое воздействие малой интенсивности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1999. № 2. С. 11-17.
6. Белоненко В.Н., Павлов М.В., Макуров А.Д. и др. Результаты применения вибросейсмической технологии на Суторминском месторождении // Нефтепромысловое дело. 2000. № 8-9. С. 18-22.
7. Михайлов Н.Н. Остаточное нефтенасыщение разрабатываемых пластов. М. Недра. 1992. 270 с.
8. Барабанов В.Л. Влияние сейсмического воздействия на смачиваемость нефтяных коллекторов и возможности резонансного возбуждения пульсаций тонких пленок и капель нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2002. № 5. С. 67-72.
9. Патент № 2197603. Способ разработки обводненного нефтяного месторождения / Авторы: Асан-Джалалов А.Г., Барабанов В.Л., Звездов А.В., Лавров В.С., Мартос В.Н., Николаев А.В., Севальнев А.В. МКИ Е 21 В 43/16. 27.01.2003. Бюл. № 3.
10. Barabanov V.L., Nikolaev A.V. Seismic action on oil reservoirs // Nonlinear Acoustics at the Beginning of the 21st Century. V. 2. Moscow. 2002. P. 1169-1172.

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

От редакционной коллегии

Редакционная коллегия с пониманием относится к беспокойству Н.А.Савостьянова за судьбу процесса сертификации геофизического оборудования в Российской Федерации, и по его просьбе повторит на страницах журнала в одном из ближайших номеров статью "Системе сертификации геофизической продукции в РФ 10 лет", ускользнувшую от внимания некоторых читателей "Геофизического вестника" № 6 за 2004 год. Более того, мы анонсируем материал В.С. Симанова и А.В. Стакло "Федеральный закон "О техническом регулировании" и вопросы его реализации в геофизике", который для удобства читателей дадим в том же журнале.

Полагаем, вместе с тем, что если молодые, богатые и по-хорошему агрессивные регионы нашей большой Родины выражают готовность пройти на ниве сертификации свой собственный путь, может быть отличный от славного пути ЕАГО, это только усилит интригу и создаст как воздух необходимую конкурентную атмосферу в решении животрепещущей проблемы представительной оценки соответствия, как новых, так и уже работающих образцов геофизической аппаратуры.

Уважаемый главный редактор!

В вашем журнале "Приборы и системы разведочной геофизики" №02/2004 г. была опубликована статья директора ЗапСибНИИГГ (г. Тюмень) Шнурова И.В. и других сотрудников института "Всероссийское совещание по проблемам сертификации геофизического оборудования". В этой статье неправильно освещена роль ЕАГО, как сертификационного центра геофизической продукции. В частности, в ней говорится, что "существующая система сертификации, основанная на стандартах, разработанных на общественных началах Евро-Азиатским геофизическим обществом, не имеет мирового признания". Это неверно. У ЕАГО самые тесные контакты с зарубежными сервисными компаниями, которые ведут свою работу на территории России, и, прежде всего, с наиболее крупной и авторитетной среди них "Шлюмберже". Наша система сертификации, так же как и сертификация "Шлюмберже", добровольная. Специалисты "Шлюмберже", знают о системе сертификации ЕАГО и относятся к ней с должным уважением. Наша задача - сделать российскую систему, по крайней мере, не хуже западной. Далее в статье говорится: "...ни один из видов сертификации ЕАГО не будет официально признан, пока не пройдет проверку на соответствие заявленных характеристик независимой экспертизой на специальных сертификационных центрах". Что означает "официально признанным"? Кем? Министерством? Государством? Но оно в соответствии с законом РФ "О техническом регулировании" не будет этим заниматься. Наша сертификация ЕАГО признана Российскими геофизическими и приборостроительными компаниями, что было доказано 10-летней работой Сертификационного центра ЕАГО. Сертификаты ЕАГО успешно используются ими при производстве товаров на рынке геофизических услуг и признаются заказчиками. Это - главное. В нашей системе уже давно существует несколько испытательных лабораторий и центров по сертификации геофизической продукции, где проводятся независимые экспертизы различных видов геофизической аппаратуры и оборудования.

Публикация в Вашем журнале статьи И.В. Шнурова и уже с ним показывает о незнании ими, и, вполне вероятно, другими геофизическими организациями и компаниями реальной деятельности ЕАГО в сфере сертификации геофизической продукции. В этой связи прошу Вас разместить в Вашем журнале статью "Системе сертификации геофизической продукции в РФ 10 лет", опубликованную ранее в "Геофизическом вестнике" № 6 2004г. с целью ознакомления с реальным состоянием данного вопроса в отечественной геофизике Ваших читателей.

Президент ЕАГО

Н.А. Савостьянов

К вопросу определения уровней воздействия наземных невзрывных источников сейсмических колебаний на наземные и подземные сооружения

Шнеерсон М.Б., г. Москва

Наземная невзрывная сейсморазведка была предложена как альтернатива взрывному возбуждению волн в силу ее большей безопасности для обслуживающего персонала, минимального воздействия на окружающую среду и возможности проведения работ в городах и культурных зонах. Однако, в последнее время, в связи с увеличением объемов работ в населенных пунктах, в пределах месторождений углеводородов и охраняемых зон начали возникать определенные затруднения с применением наземных невзрывных источников, обусловленные отсутствием достоверных данных по размерам наземных и подземных безопасных зон.

Эти вопросы возникают в связи с тем, что при работе невзрывного излучателя к поверхности земли прикладываются значительные импульсные или вибрационные нагрузки, которые выводят среду из положения равновесия и возникающие колебания грунта могут привести к поломке близко расположенных зданий, наземных и подземных коммуникаций. Кроме того, приложение нагрузок к поверхности земли вызывает весьма интенсивные низкочастотные поверхностные волны, которые могут привести к повреждению близко расположенных домов и построек, особенно в сельской местности.

В силу этих причин возникает необходимость оценки безопасных расстояний при проведении работ с наземными невзрывными источниками сейсмических колебаний. Наиболее объективными и достоверными могли бы быть результаты специально проведенных экспериментальных работ, но они отсутствуют. Тем не менее, может быть предложена схема, которая позволяет подойти к решению этого вопроса на основе использования работ по механике грунтов и наземной невзрывной сейсморазведке.

При проведении сейсморазведочных работ невзрывные источники эксплуатируются в двух режимах:

- перемещение по местности, по профилям и от одного пункта возбуждения к другому без возбуждения колебаний;
- возбуждение колебаний, при котором рабочая плита излучателя воздействует на среду, выводя ее из положения равновесия, что и приводит к генерированию волн в среде.

В первом, транспортном - режим нагрузки на среду определяются весом излучателя и площадью поверхности колес или гусениц, контактирующих с поверхностью земли. Как правило, нагрузки эти невелики, лежат в пределах упругих деформаций грунта и не представляют опасности для окружающих объектов.

Во втором, рабочем режиме плита излучателя

оказывает динамическое воздействие на приповерхностные слои земли, что приводит к образованию внешних нагрузок и перемещению точек среды, которые могут представлять определенную опасность для близлежащих подземных и наземных сооружений.

Работы по механике грунтов и наземной невзрывной сейсморазведке [1,2,3] при заданных параметрах излучателей и грунтов позволяют получить следующие величины:

- наибольшие перемещения плиты источника в процессе возбуждения колебаний;
- глубина активной зоны под плитой излучателя;
- распределение напряжений по глубине под плитой;
- относительный уровень поверхностных волн, возбуждаемых источником.

Эти данные с учетом конструктивных особенностей зданий и подземных сооружений, допустимых перемещений оснований стен, фундаментов и подземных коммуникаций позволяют достаточно обоснованно подойти к вопросу определения безопасных условий проведения работ с наземными невзрывными источниками колебаний.

При проведении работ с вибрационными источниками колебаний в промышленных зонах необходимо учитывать возможность появления резонансных явлений, что может привести к нарушению близлежащих зданий и сооружений.

Опасность их возникновения может быть снижена при работе с так называемыми псевдослучайными управляющими сигналами, у которых изменение частот происходит по случайному закону. В этом случае резонанс, как правило, не возникает. Однако при использовании псевдослучайных управляющих сигналов понижается качество материалов за счет ухудшения формы корреляционной функции.

Предложенная схема расчета вышеуказанных параметров была применена при определении безопасных условий работы вибрационных и импульсных ("Геотон") невзрывных источников и позволила получить численные значения расстояний по горизонтали и вертикали, которые необходимо выдерживать при использовании этих установок.

Литература

1. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность и устойчивость грунтов земляного полотна автомобильных дорог. - М.: Транспорт. - 1975.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: Высшая школа. - 1973.
3. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная невзрывная сейсморазведка. - М.: Недра

НОВОСТИ

Семинар по невзрывной технологии



В 18-ти тематических докладах были изложены результаты научно-исследовательских разработок в области невзрывной технологии сейсморазведки и обобщен опыт применения более 300 невзрывных источников "Енисей".

В ближайших номерах журнал планирует опубликовать статьи, которые по просьбе редакции готовят авторы наиболее интересных сообщений, сделанных на этом семинаре.

Во второй декаде августа в самом живописном уголке республики Хакасии курорте Шира, собрался весь геофизический бомонд для того, чтобы ознакомиться вочую с модельным рядом импульсных электромагнитных источников "Енисей". Организаторы семинара ОАО "Енисейгеофизика" и ОАО "Хантымансийскгеофизика" при участии Евро-Азиатского геофизического общества собрали на этот международный форум более ста участников из 32-х организаций России, ближнего и дальнего зарубежья.



Фото Корболеева И.А. (ОАО "Енисейгеофизика")

Опыт применения виброисточников СВ-27/150-362 (ЗАО "ГЕОСВИП") в ОАО "Самаранефтегеофизика"

Силонов С.Ю., ОАО "Самаранефтегеофизика", г.Самара
Алелюхин Н.П., ЗАО "ГЕОСВИП", г.Москва

Сейсмические вибраторы СВ-27/150-362 совместного российско-американского производства, изготавливаемые ЗАО "ГЕОСВИП", эксплуатируются в ОАО "Самаранефтегеофизика" с ноября 1996 года по настоящее время. За этот период с применением данных виброисточников выполнены сейсморазведочные работы на разведочных площадях в Самарской, Саратовской областях, в том числе площадные исследования МОГТ-3D в больших объемах, линейное профилирование МОГТ-2D более 2000 погонных километров.

Сейсмические исследования выполнялись как в зимний, так и в летний периоды, с ежедневной непрерывной работой виброисточников в течение 10-12 часов.

При запуске виброисточников в эксплуатацию были выполнены работы по устранению перетирания нагнетательных шлангов краями колодца возбуждателя вибраций, установлены снегозащитные коврики на контактирующую поверхность опорных плит.

В целом, виброисточники СВ-27/150-362 показали высокие эксплуатационные качества, высокую надежность и стабильность работы всех узлов и агрегатов.

Так, например, слабое место вибраторов СВ-10/180 - насосы РНАС, РМНА, ВПЭГ, при эксплуатации вибраторов СВ-27/150-362 аналогичные им устройства практически не выходили из строя. Простота технического обслуживания и управления вибраторами, удобное рабочее место оператора выгодно отличают СВ-27/150-362 от отечественных аналогов.

Транспортное средство виброустановки, карьерный самосвал МоАЗ-6910, обеспечивает высокую мобильность и проходимость источника в сложных дорожных условиях (пашня, снежный покров, распутица).

Как правило, при возбуждении упругих колебаний применялось группирование 3-х виброисточников из 4-х имеющихся с целью текущего профилактического обслуживания и ремонта каждой из установок по графику.

В благоприятных сейсмогеологических условиях группирование 2-х виброисточников обеспечивало хорошее качество полевых сейсмозаписей.



Рис. 1 Сейсмические вибраторы СВ-27/150-362

Ежесменная производительность сейсмического отряда при обработке площадных (3D) профилей с использованием сейсмосистемы Input/Output System Two на 1152 активных каналов, группированием 3-х виброисточников СВ-27/150-362 на каждом пункте возбуждения с шагом 50 м в зимний период достигала 180-200 физических наблюдений.

При обработке линейных (2D) сеймопрофилей ежесменная производительность составляла 220-240 физических наблюдений.

Высокая производительность сейсмоотряда обеспечивалась, в основном, стабильной, безотказной работой виброустановок, мощностные возможности которых позволяли оперативно корректировать главный времяемкий фактор - количество воздействий, без ущерба качеству полевых сейсмозаписей.

Одним из главных достоинств виброисточников СВ-27/150-362, обеспечивающим высокое качество сейсмического материала, считаем возможность непрерывного визуального контроля фазо-частотных и амплитудных характеристик генерируемых сигналов при каждом воздействии с последующей визуализацией графиков параметров (программа SQC), используемых при приеме и оценке качества полевых сейсмозаписей.

Возбуждение сейсмического волнового поля взрывами в благоприятных сейсмогеологических условиях создает короткий высокочастотный

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ОБМЕН ОПЫТОМ

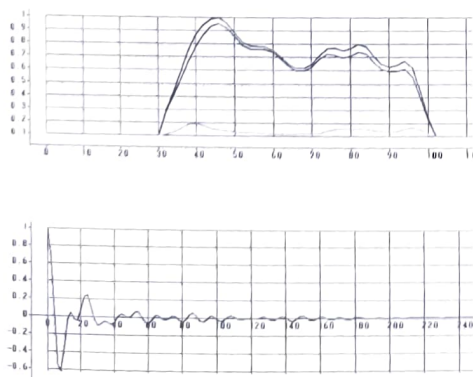


Рис. 2 Спектральный состав сейсмосигналов с виброисточниками СВ-27/150-362

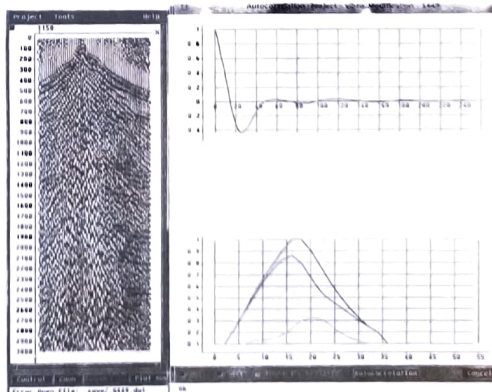


Рис. 3 Спектральный состав сейсмосигналов при взрывном возбуждении

Таблица 1 Результаты сравнения динамических параметров сейсмических сигналов

№№ сейсмограммы	Тип и количество вибраторов, число воздействий	Динамические параметры сейсмозаписи				
		Ширина спектра Гц	Макс. частота Гц	Преобладающая частота сигнала Гц	Разрешающая способность Гц	Сигнал помеха
1	2 СВ-27/150, 8возд	19,5	26	27,5	24,49	
	5 СВ-10/180, 8возд	16,8	26	26,6	22,16	1,55
2	2 СВ-27/150, 8возд	19,97	30	27,7	24,8	1,1
	5 СВ-10/180, 8возд	13,92	24	24,4	18,79	1,78
3	2 СВ-27/150, 8возд	18,4	30	28,4	24,1	1,01
	5 СВ-10/180, 8возд	14,84	24	25,6	20,1	1,59
4	2 СВ-27/150, 8возд	17,16	28	27,2	22,21	1,37
	5 СВ-10/180, 8возд	15,02	26	26	20	1,42
5	2 СВ-27/150, 8возд	17,69	26	26,9	22,55	1,06
	5 СВ-10/180, 8возд	14,93	26	25,8	19,89	1,3
6	2 СВ-27/150, 8возд	16,43	24	25,8	22,19	0,9
	5 СВ-10/180, 8возд	14,94	26	25,9	19,93	1,54
7	2 СВ-27/150, 8возд	16,94	24	26,1	22,16	0,87
	5 СВ-10/180, 8возд	16,26	24	26,1	21,85	1,68
8	2 СВ-27/150, 8возд	17,04	24	26,2	22,33	1,12
	5 СВ-10/180, 8возд	13,88	24	24,4	18,69	1,77
						1,09

импульс. Сейсмические источники поверхностного типа по качеству возбуждаемых сигналов могут только приближаться к взрывному, а вибраторы СВ-27/150-362 выгодно отличаются по этому параметру от всех ранее применявшихся.

Сравнительный анализ динамических параметров сейсмозаписей, полученных при возбуждении колебаний виброисточниками СВ-27/150-362, СВ-10/180, взрывным источником выполнен по результатам сейсморазведочных работ МОГТ-2D на нескольких разведочных площадях.

На прилагаемых иллюстрациях приведены примеры спектральных характеристик отраженных сигналов, зарегистрированных при возбуждении колебаний вибраторами СВ-27/150-362 с нелинейной (логарифмической) разверткой управляющего сигнала (Рис.2).

Спектр отраженных сигналов характеризуется широкой (до 70 Гц) полосой, располагающейся в

области высоких частот от 30 до 100 Гц, что свидетельствует о высокой разрешающей способности сейсмозаписей, возможности разделения близко регистрируемых отражений от тонких пластов.

На рис. 3 представлены полевая сейсмограмма и спектральная характеристика сигналов при возбуждении колебаний взрывным источником - группированием взрывов из 11-ти мелких ($H=2м$) скважин с общей массой заряда 2,2 кг. Ширина спектра сейсмозаписей составляет не более 35 Гц в области низких (6-32 Гц) частот, что ограничивает разрешающую способность сигналов.

Деконволюция и последующие процедуры цифровой обработки выравнивают спектры отраженных волн, возбуждаемых вибро- и взрывным источниками. Фрагменты временных разрезов (Рис.4.5) свидетельствуют о высокой прослеживаемости и разрешенности целевых отражений временного разреза, полученного с использо-

Таблица 2 Результаты сравнения динамических параметров сейсмических сигналов

№№ сейсмограммы	Виброисточники СВ-27/150 Взрывной источник (группа 11*0,2кг)	Динамические параметры сейсмозаписи				
		Ширина спектра Гц	Макс.-ая частота Гц	Преобладающая частота сигнала Гц	Разрешающая способность Гц	Сигнал помеха
1	3 СВ-27/150 4возд.	13,8	22	22,6	18,59	0,85
	Взрывной источник	21,8	14	18,8	28,8	1,51
2	3 СВ-27/150 4возд.	12,9	22	21,8	17,21	0,91
	Взрывной источник	20,8	12	19,4	30,57	1,46
3	3 СВ-27/150 4возд.	13,1	22	21,9	17,3	0,97
	Взрывной источник	15,62	12	17	24,4	1,08
4	3 СВ-27/150 4возд.	13,6	22	22,4	18,4	0,94
	Взрывной источник	11,6	12	12,8	15,5	0,82
5	3 СВ-27/150 4возд.	13,1	23	21,8	17,3	1,36
	Взрывной источник	16,7	14	16,6	23,9	0,61
6	3 СВ-27/150 4возд.	13,1	22	21,9	17,3	0,94
	Взрывной источник	22,8	14	20,9	32,7	0,87
7	3 СВ-27/150 4возд.	13,8	22	22,6	18,6	1,26
	Взрывной источник	15,5	20	18,6	20,4	1,33
8	3 СВ-27/150 4возд.	15	22	23,5	20,2	1,22
	Взрывной источник	15,5	22	20,4	20,6	0,69
9	3 СВ-27/150 4возд.	15,6	22	24,1	21,5	1,06
	Взрывной источник	15,2	22	20,7	20,3	1,13

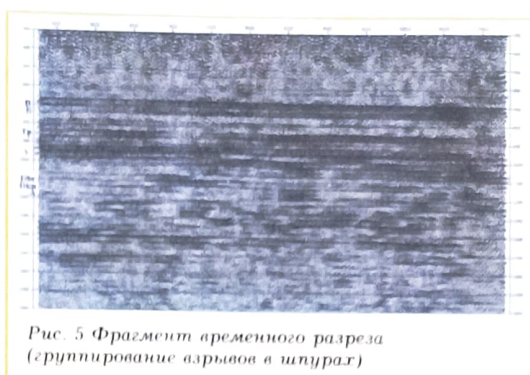
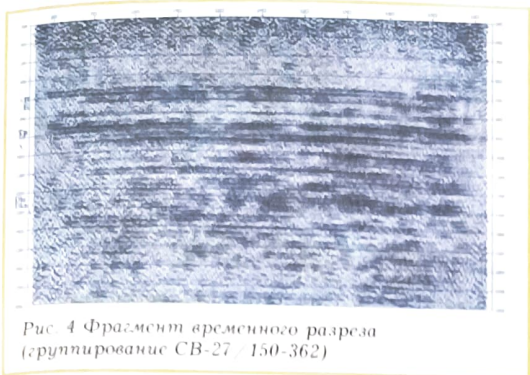


Рис. 4 Фрагмент временного разреза (группирование СВ-27/150-362)

Рис. 5 Фрагмент временного разреза (группирование взрывов в шпуре)

нием виброисточников СВ-27/150-362 (Рис.4).

Результаты сравнения динамических параметров сейсмозаписей, получаемых при возбуждении упругих колебаний двумя виброустановками СВ-27/150-362 и пятью вибраторами СВ-10/180 на близкорасположенных сейсмопрофилях с идентичными сейсмогеологическими условиями, приведены в таблице 1.

Данные таблицы подтверждают преимущество вибраторов СВ-27/150-362 по всем основным параметрам, характеризующим качество сейсмического материала.

Таблица 2 содержит количественные оценки основных динамических параметров сейсмозаписей, зарегистрированных в идентичных сейсмогеологических условиях при возбуждении упругих колебаний тремя виброустановками СВ-27/150-362 с линейным свип-сигналом (16-80 Гц), накоплением 4-х воздействий на ПВ и взрывным источником - группированием взрывов из 11-ти шпуров глубиной 2 м общей массой одновременно

иницируемых зарядов 2,2 кг.

Количественные показатели частотного состава сейсмозаписей при вибровозбуждении выше аналогичных при взрывном источнике, энергетические показатели (соотношение сигнал/помеха) примерно одинаковы.

Опыт применения источников СВ-27/150-362 показал, что последние, помимо традиционных технологико-экологических преимуществ вибраторов, обладают лучшими характеристиками возбуждаемого сигнала, высокой надежностью, стабильностью выходных параметров, непрерывным и полным их контролем и по совокупности эксплуатационных качеств вполне соответствуют лучшим мировым аналогам.

В результате сейсморазведочных работ по методике ВСП МОГТ-2D, 3D с использованием виброисточников СВ-27/150-362 на исследованных площадях выявлено 36 перспективных объектов с извлекаемыми (категории С3) запасами углеводородов - 12,3 млн. тонн.

НОВОСТИ

Научно-техническая конференция



Техтех - 2004

В Саратове 7 - 8 сентября 2004 г. проходила научно-техническая конференция "Современные технологии регистрации геолого-геофизических данных при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ", посвященная рассмотрению актуальных вопросов аппаратного обеспечения современных технологий нефтяной сейсморазведки и электроразведки средствами возбуждения, приема и регистрации

Это традиционная ежегодная встреча профессионалов, связанных по роду деятельности с регистрацией полевых данных нефтяной геофизики.

Организаторами очередной "Встречи на Волге" выступили, как и всегда, ОАО "Саратовнефтегеофизика" и Саратовское отделение ЕАГО.

В работе конференции приняли участие 70 специалистов, представлявших геофизические и приборостроительные организации из 21 города России и ближнего зарубежья: Астрахани, Бугульмы, Волгограда, Жигулевска Самарской обл., Зеленограда, Киева, Миасса, Москвы, Новомосковска (Украина), Новосибирска, Нового Уренгоя (ЯНАО), Оренбурга, Перми, Самары, Саратова, Ставрополя, Тольятти, Тюмени, Уфы, Ухты, Эмауса Тверской обл.

Спектр общения оказался исключительно широк. Было прочитано 28 докладов, сделано 11 стендовых сообщений на организованной там же выставке аппаратуры, проведено несколько дискуссий и множество кулуарных переговоров.

Предметами оживленного обсуждения стали: анализ перспективных направлений развития приемно-регистрирующих систем для сейсморазведки (Ю.П. Бевзенко, Б.В. Запорожец); оценка перспективы развития технологии многоуровневых сейсмических исследований на основе источников "ГЕОТОН" (В.В. Анкушев, С.В. Гурьев, В.И. Резвов); взгляды на структуру упругого поля, возбужденного продолжительными во времени вибрационными сигналами ([В.А. Живодров], И.И. Хараз, В.П. Лепешкин) и мысли о разработках импульсных магнитных источников (В.В. Ивашин). Большое количество сообщений сделано разработчиками новой аппаратуры Саратовского СКБ СП (Н.В. Тарасов, А.И. Гнатюк, Н.В. Одинокоев, В.Л. Бескоровайный, В.Л. Беляев, Б.А. Вейхт, И.Г. Ливеровский), Новосибирского НПК "СибГеофизПрибор" (В.П. Черепанов, А.А. Будченко, А.Б. Ревунов, С.А. Шпильман, В.Н. Золотарев), Московского ВНИИГеофизики и фирмы "Велко" (С.А. Федотов, А.Г. Небрат, А.С. Федотов, В.В. Тимофеев, А.И. Безрук), Саратовского ООО "Специальные геофизические системы" (В.А. Мокроусов, Д.А. Пятницкий), а также Уфимского ОАО ГЕО Импульс Интернэшнл (А.А. Качагин, Д.А. Бондаренко).

Широко использовали трибуну конференции пользователи аппаратуры, отметившие высокий технический уровень отечественных разработок, приемлемые цены, высокую эксплуатационную надежность аппаратуры, гарантированное сервисное обслуживание: Астраханская геофизическая экспедиция (В.И. Кулаков, В.В. Пыхалов), геофизическая экспедиция №2 "Центргеофизики", Эммаус, (А.Н. Устинов), Волгоградское "Запприкаспийгеофизика" (Б.М. Колосов), "Саратовнефтегеофизика" (В.Г. Соколов), Оренбургская ГЭ (В.А. Забурный).

В ближайших номерах журнала редакция планирует поместить статьи, которые готовят авторы наиболее интересных сообщений, сделанных на этой конференции.



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ОБМЕНИ ОПЫТОМ

Пути повышения качества в изготовлении вибрационных источников сейсмических сигналов

Алелюхин Н.П., Насыбулин Е.Х., Базылев А.А., ЗАО "Геосвип", г. Москва

Вибрационные источники сейсмических сигналов являются оборудованием, условия работы которого предъявляют повышенные требования к качеству и надежности этой продукции. В свою очередь качество продукции зависит от:

- качества конструкторской документации;
- качества комплектующих покупных изделий;
- качества узлов и деталей, изготовленных по кооперации;
- качества изготовления и сборки продукции на заводе-изготовителе;
- уровня оснащенности производства современным оборудованием и технологической оснасткой;
- квалификации инженерно-технического и рабочего персонала.

В соответствии с этими составляющими в ЗАО "Геосвип" и проводится постоянная работа по обеспечению высокого технического уровня и качества выпускаемых источников.

Качество проекта и конструкторской документации оценивается и корректируется на заседаниях Ученого совета и постоянно действующих совещаниях по качеству выпускаемой продукции.

Для предотвращения запуска в производство комплектующих изделий, не соответствующих требованиям конструкторской и нормативно-технической документации проводится входной контроль по параметрам, определяющим правильное и безаварийное функционирование выпускаемой продукции. Входному контролю подвергаются все изделия из перечня комплектующих, согласованного с отделом технического контроля (ОТК), конструкторской и технологической службами предприятия. На предприятии имеется необходимый набор средств измерений и испытательного оборудования. Входной контроль проводится на специально оборудованном участке.

Работоспособность узлов и агрегатов гидравлической системы проверяется на специально спроектированном для этих целей гидравлическом стенде СИ-1.

Для проверки пневмоаппаратуры используется цеховая пневмосистема с набором запорной, регулирующей и присоединительной аппаратуры.

Электрооборудование проверяется на электро-монтажном участке, оборудованном необходимыми средствами измерений для настройки и проверки. Для повышения качества плат электронного оборудования их изготовление производится по кооперации на специализированном предприятии, занимающемся выпуском электроники.

Мероприятия по входному контролю позволяют свести к минимуму вероятность использования некачественных изделий при изготовлении конечной продукции.

Технические службы предприятия работают в тесном контакте с предприятиями смежниками по повышению качества поставляемых по кооперации узлов и деталей. Их продукция так же проходит входной контроль. Качество поверхности (чистота) проверяется прибором по измерению шероховатости поверхности **TR 100**. Проверяется твердость поверхности деталей интегральным тестером **ТН 130** и толщина хромового покрытия прибором **ТТ 220**.

Оснащение специализированных участков на производстве современным оборудованием и применением новых технологических процессов позволило повысить качество изделий.

Так, на сварочном участке сборка и сварка узлов ведется на специальных стендах сварочными полуавтоматами с применением защитных газобразных

смесей, улучшающих качество и прочность сварных швов.

На малярном участке кроме традиционных технологических процессов применяется порошковая окраска в электростатическом поле с последующей сушкой.

На стадии изготовления деталей изделия резервом повышения качества продукции является оснащение механообрабатывающего участка современным металлообрабатывающим оборудованием и инструментом.

На участке сборки продукции работают сборщики и испытатели, высокий профессиональный уровень которых поддерживается за счет постоянного повышения квалификации. Обучение работников проводится опытным преподавательским составом Учебного центра предприятия с использованием компьютерных технологий.

Особое внимание повышению качества продукции уделяется при полигонных испытаниях, где вибраторы по разработанной методике проходят полный объем испытаний, и в реальных условиях проверяется работоспособность транспортной базы и всех основных узлов вибратора. В случае возникновения каких либо неполадок, техника возвращается на завод, где неполадки устраняются, а потом вибраторы повторно выходят на испытание.

Приемка готовой продукции проходит в два этапа: на первом приемку продукции осуществляет ведомственная комиссия ЗАО "ГЕОСВИП", на втором - приемка осуществляется специалистами заказчика. Так, например, в приемке источников СВ 14/150 для ФГУ ГНПП "Спецгеофизика" принимал участие известный ученый, доктор технических наук Шнейерсон М.Б., в приемке источников СВС24/РС27 принял участие кандидат технических наук, супервайзер по вибрационным источникам Циммерман В.В.

У предприятия имеется постоянный контакт с потребителями продукции. Представители предприятия периодически выезжают в организации, использующие вибраторы, для проверки правильности эксплуатации и осмотра выпущенной продукции. Замечания потребителей рассматриваются и учитываются при корректировке конструкторской документации, изменении технологических процессов, приобретении и использовании новых средств контроля. Тесная взаимосвязь с потребителями позволяет значительно увеличить надежность работы как отдельных узлов, так и вибратора в целом. Яркими примерами являются конструкции опорной плиты и возбудителя вибраций, в ходе эксплуатации которых были выявлены серьезные недостатки. В настоящее время в итоге проведенных мероприятий по изменению их конструкции и переходу на современные технологии производства мы можем с уверенностью гарантировать их надежную и долговечную работу.

Все перечисленные мероприятия в комплексе позволяют постоянно улучшать качество выпускаемой продукции, увеличивать срок ее службы.

ЗАО "ГЕОСВИП" имеет Сертификат соответствия, выданный Госстандартом России на вибраторные источники сейсмических сигналов, состав которых входят электронные системы управления для различных геолого-климатических условий, а также на запасные части и комплектующие к вибрационным источникам сейсмических сигналов, что соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001 (ИСО 9001:2000).

Страницы истории отечественного геофизического приборостроения

Зайченко В.Ю., ВНИИгеосистем, г. Москва

*"Отыщи всему начало и
ты многое поймешь"*

К. Прутков

(Окончание, начало см. в №02(04)2003 г.)

По аналогии с аэромагнитометрической аппаратурой в 60-х годах в СССР была начата разработка морских магнитометров буксируемых за судном, а также донных и буйковых станций (таблица 6). Они выпускались небольшими опытными партиями и эксплуатировались в составе геофизических экспедиционных судов, что позволяло проводить магнитометрические съемки различного масштаба на акваториях морей и океанов. Последние модели протонных и квантовых морских магнитометров по своим характеристикам не уступали лучшим мировым образцам. Для измерения параметров магнитного поля во внутренних точках геологической среды начиная со середины 50-х годов в СССР начали разрабатываться скважинные магнитометры, номенклатура которых росла из года в год по мере расширения круга решаемых задач (таблица 7).

Первый скважинный магнитометр начал разрабатываться в 1956 году в институте геофизики АН УССР совместно с ВИРГом и Киевским ОКБ ГИ коллективом в составе: А.А. Преображенский, Ю.П. Гречин, В.П. Кальварская, П.А. Зельцман, Л.Г. Филиппычева, который создал скважинный прибор для измерения полного вектора магнитного поля DT и вертикальной его составляющей DZ при помощи отдельной приставки. Опытный образец прибора прошел испытания в 1962 году и показал хорошие результаты. Несколько позже в 1966 году Ю.П. Гречин (Институт геофизики АН УССР) и П.А. Зельцман (Киевское ОКБ ГИ) создали высокочувствительный скважинный магнитометр для измерения вертикальной составляющей магнитного поля (DZ) в нефтяных и газовых скважинах. Была показана возможность расчленения осадочных отложений по магнитным свойствам, что стало совершенно новым направлением в сфере литологического изучения осадочных пород.

Опытные образцы прибора выпускались в Киевском ОКБ ГП.

В 1969 году в Институте геофизики Уральского научного центра АН СССР под руководством В.Н. Пономарева был разработан скважинный Z -магнитометр с дополнительным каналом, который позволял измерять и магнитную восприимчивость пород в разрезах скважин, что существенно повысило эффективность магнитного каротажа независимо от вскрываемых разрезов. В дальнейшем усилия специалистов УНЦ АН СССР под руководством В.Н. Пономарева были сосредоточены на разработке термостойких скважинных магнитометров в связи с бурением в СССР сверхглубоких скважин. Так, в 1980 году Э.Г. Мироновым и А.Г. Гритчиным был создан скважинный магнитометр, работающий при температуре окружающей среды до $200^{\circ}C$ [3]. В 1981 году был разработан совместно с ВНИИГИС (Ю.Г. Астраханцев, В.Н. Пономарев и С.Д. Сазонов) прибор для работы в сверх-

глубоких скважинах при температуре $180 - 200^{\circ}C$ в диапазоне ± 100000 нТл. Прибор испытывался в Кольской сверхглубокой скважине (СГ-3) до глубины 12200 метров при температуре до $205^{\circ}C$ и показал хорошие результаты.

В начале 60-х годов были начаты теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию создания измерительных приборов для каротажа магнитной восприимчивости: Ю.И. Кудрявцев и В.П. Кальварская (ЛГУ), А.В. Лонский (Ленфилиал ВНИИгеофизика), Ю.Г. Кочнев (АЭТИ), результаты которых были использованы для конструирования скважинных магнитометров типа КМВ-1 и КМВ-2А в Киевском ОКБ ГП (Ю.П. Гречин, П.А. Зельцман). Их серийный выпуск был организован на Киевском заводе геофизического приборостроения с 1963 года и с 1968 года соответственно (таблица 7).

На базе аппаратуры типа КМВ в середине 70-х годов Ленинградским государственным университетом (Ю.И. Кудрявцев) совместно с Б.И. Тихоновым и А.И. Терехиным (НПО "Геофизика") была разработана аппаратура для определения содержания магнетитового железа в скважинах подземного бурения и на стенках горных выработок РИМВ-1. В 1987 году создан и более совершенный ее вариант РИМВ-2, которые выпускались на Уфимском приборостроительном заводе (К.Н. Казаков и В.П. Сысоев - ОКР).

Для наземных скважин с целью определения содержания железа в магнетитовых рудах по величине их магнитной восприимчивости в институте геофизики УНЦ АН СССР ранее (1963 - 1973 г.г.) были разработаны магнитные феррометры МФ-1, МФ-2 и др., которые выпускались в мастерских Уральского научного центра АН СССР опытными партиями. Авторами разработок являлись: В.Н. Пономарев, И.И. Глухих, Ю.Г. Астраханцев и др. (таблица 7).

Новым шагом в развитии скважинной магнитометрии явилась разработка трехкомпонентных скважинных магнитометров ТСМК-30 и ТСМК-40, которые были предназначены для измерения трех компонент магнитного поля и магнитной восприимчивости. Они были разработаны в ВИТРе; авторы: А.А. Попов, Е.А. Баринков, П.М. Мухин, А.И. Богданович и др., и выпускались на заводе "Геологоразведка" с 1976 по 1980 год по 30-60 штук ежегодно (таблица 7).

Для выполнения электромагнитного каротажа в скважинах в 1978 году была создана аппаратура, предназначенная для одновременного измерения электропроводности и магнитной восприимчивости горных пород, что существенно повышало эффективность литологического расчленения разрезов железорудных формаций. Теоретическое обоснование было разработано Ю.И. Кудрявцевым (ЛГУ), В.П. Кальварской, В.В. Мартюшевым, Г.В. Тереховым и Е.С. Екимовым (ВИРГ), а конструкторская разработка была осуществлена А.И. Кличуком, Б.А. Приворотским (ОКБ ГП Миннео УССР) и Е.С. Екимовым (ВИРГ). В 1978 - 1982 г.г. аппаратура под маркой ЭМК-1 выпускалась на Уфимском заводе геофи-

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Таблица 6 Перечень морской измерительной магнитометрической аппаратуры, разработанной и выпускаемой в СССР

№ п/п	Уровни измерений параметров магнитного поля	Название аппаратуры	Марка	Год создания	Организация-разработчик	Принцип действия	Изготовитель	Страна
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	море	2х компонентный буксируемый морской магнитометр	2КМБ	1963	Ленинградское отделение ИЗМИРАН	феррозондовый	мастерские ИЗМИРАН	СССР
2		3х компонентный буксируемый морской магнитометр	3КМБМ	1967	Черноморское отделение гидрофизического института АН УССР	феррозондовый	мастерские	СССР
3		Буксируемый Т-магнитометр квантовый	БТМ	1968	СКБ ИЗМИРАН	оптическая накачка	мастерские ИЗМИРАН	СССР
4		Морской буксируемый протонный магнитометр	МПМ-2 МПП-3 МПМ-4	1965 1967 1968	ВНИИгеофизика	Ядерно-прецессионный	мастерские ВНИИгеофизики, Севморгео и СахКНИИ	СССР
5		Морской буксируемый протонный магнитометр	АМП-3	1972	Гидрофизический институт АН СССР	Ядерно-прецессионный	мастерские геофизического института АНУССР	СССР
6		Морской буксируемый квантовый магнитометр	КМ-2 КМ-2М	1973- 1975	СКБ геофизического приборостроения АН СССР	оптическая накачка	мастерские ИЗМИРАН	СССР
7		Морской буксируемый протонный магнитометр	МБМ-1	1979	НПО "Рудгеофизика"	Ядерно-прецессионный	з-д "Геологоразведка"	СССР
8		Морской буксируемый протонный магнитометр	ММП-2	1980	ПО "Южмор-геология"	Ядерно-прецессионный	мастерские объединения	
9		Морской буксируемый протонный магнитометр	МАМП-01	1982	ПГО "Севмор-геология"	Ядерно-прецессионный	мастерские объединения	СССР
10		Морской буксируемый протонный магнитометр	МПМ-5	1981	Институт океанологии АН СССР	Ядерно-прецессионный	мастерские института	СССР
11		Морские автономные буйковые магнитовариационные станции	МВС-Т	1969	ИЗМИРАН, СКБ ФП АН СССР	ядерно-прецессионный	СКБ ФП АН СССР	СССР
			АСМ-02	1970	ПО "Южмор-геология"	Ядерно-прецессионный	мастерские объединения	СССР
			АМПВГ	1971	ИЗМИРАН, СКБ ФП АН СССР	Ядерно-прецессионный	СКБ ФП АН СССР	СССР
			КВ-Т	1972	ИЗМИРАН, СКБ ФП АН СССР	оптическая накачка	СКБ ФП АН СССР	СССР
			КМ-5	1973	ИЗМИРАН, СКБ ФП АН СССР	оптическая накачка	СКБ ФП АН СССР	СССР
12		Донные магнитовариационные станции	АМДМВС	1968	ИЗМИРАН, СКБ ФП АН СССР СахНИИ	оптическая накачка	СКБ ФП АН СССР	СССР

зического приборостроения, а в 1989 - 1992 г.г. под маркой ЭМК-2 на Киевском заводе геофизического приборостроения Мингео УССР (таблица 7).

В целях повышения разрешающей способности скважинной магнитометрии для выделения магнитных аномалий интенсивностью менее 300 нТл в 1982 году ВИРГОм совместно с НПО "Рудгеофизика" впервые в мировой и отечественной практике был создан скважинный протонный магнитометр МСП-2 авторы: А.А. Попов, Е.А. Брызгалов, В.Ш. Тенишев и Л.Т. Филиппычева, который в 1983 году прошел приемочные испытания, а в 1984 году на заводе "Геологоразведка" совместно с ВПО "Союзгеотехника" была выпущена первая установочная партия аппаратуры [10]. Появление этих приборов на производстве имело революционное значение, так как для

изучения магнитометрической стали доступны слабо-магнитные разрезы, где ранее продуктивные породы не выделялись.

Новым этапом развития скважинной магнитометрии следует считать период перехода на комплексные скважинные приборы с цифровой записью МСКЦ-1 включающие: магнитную обработку стенок скважины, пройденной по рудному телу, переменным магнитным полем плавно убывающей амплитуды; выделение рудных интервалов в разрезе и определение качества руд в них; измерение трех составляющих вектора магнитной индукции (ВМИ) в осевой системе координат; измерение вертикальной составляющей ВМИ. Теоретическое обоснование использования комплексного магнитометра разработали: А.Н. Авдонин, Н.И. Начапкин и Н.Л. Шилко НПО "Рудгеофизика", а конструкторская

Таблица 7 Классификация скважинной магнитометрической аппаратуры, разработанной и выпускаемой промышленностью в СССР

№ п/п	Уровни измерений параметров магнитного поля	Название аппаратуры	Марка	Год создания	Организация-разработчик	Принцип действия	Изготовитель	Страна	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Скважина	Скважинный ΔT магнитометр с приставкой ΔZ	СМ-DT	1956-1962	Институт геофизики, АН УССР, ВИРГ, Киевское ОКБ ГП	феррозондовый	ОКБ ГП	СССР	
2		Скважинный высокочувствительный ΔZ магнитометр	СМ-D Z	1966-1968	Институт геофизики, АН УССР, ОКБ ГП	феррозондовый	ОКБ ГП	СССР	
3		Скважинный Z - магнитометр с дополнительным χ - каналом	СМ- χ	1969	Институт геофизики, УНЦ АН СССР	феррозондовый	мастерские УНЦ АН СССР	СССР	
4		Приборы для каротажа магнитной восприимчивости и электромагнитного каротажа		КМВ-1	1963-1965	ЛГУ, Ленфилиал ВНИИ геофизика, Киевское ОКБ ГП	индукционный	Киевский 3-д геофизического приборостроения (КОЭЗГП)	СССР
				КМВ-4	1981-1982	ВИРГ, Киевское ОКБ ГП	индукционный	(КОЭЗГП)	СССР
				ЭМК-1	1978-1982	ВИРГ, Киевское ОКБ ГП	индукционный	Уфимский 3-д геофизического приборостроения	СССР
				ЭМК-2	1989	ВИРГ и КОЭЗГП	индукционный	КОЭЗГП	СССР
				ЭМК-3	1988-1992	ВИРГ Рудгеофизика	индукционный	ВИРГ	СССР
				РИМВ-1	1974	ЛГУ, ВИРГ, ОКБ ГП	индукционный	Уфимский завод ГП	СССР
				РИМВ-2	1989	ВИРГ, окб ГП и УЗГП	индукционный	УЗГП	СССР
				5	Магнитные скважинные феррометры		МФ-1	1963	Институт геофизики УНЦ АН СССР
МФ-2		1965	Институт геофизики УНЦ АН СССР				индукционный	Мастерские УНЦ АН СССР	СССР
МФ-3		1966	Институт геофизики УНЦ АН СССР				индукционный	Мастерские УНЦ АН СССР	СССР
МФ-Т		1973	Институт геофизики УНЦ АН СССР				индукционный	Мастерские УНЦ АН СССР	СССР
6		Комплексные скважинные магнитометры		КСМ-38	1968	Институт геофизики УНЦ АН СССР	индукционный	Мастерские УНЦ АН СССР	СССР
				КШСМ-38	1970-1972	Институт геофизики УНЦ АН СССР	индукционный	Мастерские УНЦ АН СССР	СССР
7		Магнитометр-инклинометр	КСМ-65СГ	1976	Институт геофизики УНЦ АН СССР	индукционный	Мастерские УНЦ АН СССР	СССР	
8		Трехкомпонентные скважинные магнитометры		ТСМК-30	1965	ВИТР	частотный	3-д "Геолого-разведка"	СССР
				ТСМК-40	1971	ВИТР	частотный	3-д "Геолого-разведка"	СССР
9		Скважинные протонные магнитометры		МСП-2	1982	ВИТР и НПО "Рудгеофизика"	ядерно-прецессионный	опытно-экспериментальный 3-д ВИТРа	СССР
				МСП-2А	1987	ВИТР и НПО "Рудгеофизика"	ядерно-прецессионный	опытно-экспериментальный 3-д ВИТРа	СССР
10		Магнитометр скважинный комплексный цифровой	МСКЦ-1	1987	НПО "Рудгеофизика"	феррозондовый	3-д "Геолого-разведка"	СССР	



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

разработка была выполнена совместно с заводом "Геологоразведка", на котором этот прибор и выпускался опытными партиями в начале 80-х годов. МСКЦ-1 был предназначен для работы с серийной каротажной станцией, оснащенной трехжильным кабелем длиной до 2000 м и многоканальным аналоговым или цифровым регистратором.

Скважинная магниторазведка нашла широкое применение на всех стадиях геологоразведочных работ на железорудных месторождениях. При поисках глубокозалегающих железорудных месторождений, которые часто не отмечались аномалиями на земной поверхности, скважинная магнитометрия являлась основным методом, позволяющим обнаруживать залежи полезного ископаемого.

При предварительной разведке скважинная магнитометрия позволяла минимальным количеством скважин оконтурить рудную залежь по линиям основным магнитных масс.

На стадии детальной разведки скважинная магниторазведка эффективно использовалась как для определения контуров рудных тел, так и определения в них магнетитового железа [8].

На стадии эксплуатации железорудных месторождений магнитные измерения в скважинах подземного бурения и в горных выработках широко использовались для обнаружения рудных тел в окоскважинном и околовыработочном пространстве; уточнения контуров рудных тел; определения расстояния до ближайшей кромки рудного тела; опробования магнитных руд (определение содержания железа). Таким образом, упомянутые в настоящем очерке создатели измерительной аппаратуры для магнитометрии одной из старейшей геофизической дисциплины,

внесли неоценимый вклад в развитие разведочной геофизики в нашей стране. Многие из ее творцов остались в качестве авторов на листах конструкторской документации и в отчетах научно-исследовательских и технологических работ и должны ждать новых исследований работ и отечественного геофизического приборостроения, которые отдали бы дань их творческому вкладу в научно-технический прогресс. Нет сомнения в том, что их наследие еще долго будет использоваться как в нашей стране, так и за рубежом.

Литература

1. Геофизическая аппаратура, Л., Недра, 1967, № 39
2. Геофизическая аппаратура, Л., Недра, 1979, № 67
3. Геофизическая аппаратура, Л., Недра, 1981, № 74
4. Геофизическая аппаратура, Л., Недра, 1982, № 75
5. Гречин П.Ю. Прибор для каротажа магнитной восприимчивости. Автоматика и приборостроение. 1964, № 4 геофизики. М., изд. Наука, 1983
6. Ильина Т.Д. Формирование советской школы разведочной геофизики. М., изд. Наука, 1983
7. Кальварская В.И., Лонский А.В. Усовершенствованная аппаратура магнитной восприимчивости (КМА). Прикладная геофизика. М., Недра, 1962, вып. 33
8. Кальварская В.И., Яговкина Т.А., Вейнберг А.К., Мерзликин В.К., Штольцер Г.Э. Методические указания по магнитному опробованию при разведке и подсчете запасов железных руд преимущественно магнитного состава. Л., НПО "Рудгеофизика", 1987
9. Магниторазведка. Справочник геофизика. М., Недра, 1980
10. Магниторазведка. Справочник геофизика. М., Недра, 1990
11. Справочник геофизика том VI. Магниторазведка. М., Недра, 1969
12. Филимонов В.В. Комплексные аэрогеофизические исследования. ЕАГО, "Геофизика", 1999, № 2
13. Цирель В.С. Аэромагнитометрия от А.А. Логачева до наших дней. ЕАГО, "Геофизика", 1999, № 2

10 сентября 2004 г. в автомобильной катастрофе погиб начальник Саратовской геофизической экспедиции НВНИИГ

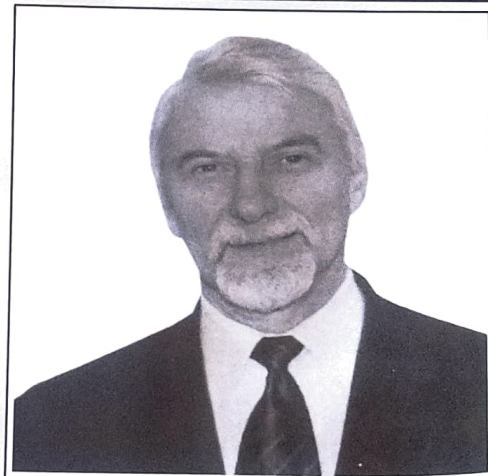
Владимир Александрович Живодров

Он родился в Саратове 16 июля 1944 года в семье рабочего. Окончил среднюю школу, а затем геологический факультет Саратовского университета, получив специальность геофизика. Начал работать Володя еще будучи студентом - был лаборантом, слесарем по ремонту, электро-радиомехаником, техником-оператором сейсмокаротажной партии промыслово-геофизической конторы. С 1968 года он работал в Саратовской геофизической экспедиции сначала в должности инженера-геофизика, а затем, в период с 1975 по 1981 год, - начальника полевой партии. Далее три года контракта за рубежом в Эфиопии в должности старшего геофизика объединения "Зарубежгеология" Министерства геологии СССР. Он был лидером заграничного экспедиционного коллектива, неутомимым и энергичным, находившим выход из любой трудной ситуации. По возвращении из зарубежной командировки Владимир Александрович возглавил специальный экспедиционный отряд по освоению вибростейса.

В 1991 году В.А. Живодров принял нелегкую ношу начальника Саратовской геофизической экспедиции из рук первого руководителя СГЭ, известного послевоенного геофизика А.М. Иванчука. Благодаря умелым и продуманным действиям нового начальника, экспедиция удержалась "на плаву" в смутные 90-е годы, а затем прочно встала на ноги, достигнув высоких производственных и финансово-экономических показателей.

На счету экспедиции многие месторождения нефти и газа, открытые в последние годы. Большая заслуга в этом персонально Владимира Александровича. Он был отличным администратором, прекрасным высококвалифицированным специалистом, замечательным человеком с доброй и открытой душой и пользовался огромным уважением и любовью коллективов экспедиции и НВНИИГ. Смерть его невосполнимая потеря для всей саратовской и нижеволжской геологии и геофизики, для его коллег, его друзей, его семьи.

Светлый образ Владимира Александровича Живодрова навсегда останется в сердцах всех, кто его знал, кто с ним работал и общался!





НОВЫЙ 90 000 фунтовый гусеничный вибратор

ПОЗНАЙТЕ для себя ...

- МОЩНОСТЬ
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ
- ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ



discover the advantage

XZone®

Bottom Fish

морская

Marsh Line

для переходных зон

Fly Lander

проект 2004

суша

СИ Технолоджи, 353461, Россия, Краснодарский край,
г. Геленджик, ул. Красногвардейская, д. 38,
т.: (86141) 5-44-33, 2-36-85, факс: (86141) 5-23-18
www.intromarin.ru, si@intromarin.ru